

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Кафедра авіоніки

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Павлова С.В.
“ _____ ” _____ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

**ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
“МАГІСТР”**

Тема: Ультразвуковий витратомір палива літака

Виконавець: Ємець Данило Валерійович

Керівник: Слободян Олександр Петрович

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

Охорона праці - Козлітін Олексій Олександрович

Охорона навколишнього середовища - Фролов Валерій Федорович

Нормоконтролер: Левківський Василь Васильович

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аеронавігації електроніки та телекомунікацій

Кафедра авіоніки

Напрямок (спеціальність) 173 «Авіоніка»

(шифр, найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Павлова С.В.

« _____ » _____ 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Ємця Данила Валерійовича

(прізвище, ім'я, по батькові випускника в родовому відмінку)

1. Тема дипломної роботи: Ультразвуковий витратомір палива літака затверджена наказом ректора від _____ 2020 р. № ___/___
2. Термін виконання роботи : з 06.10.2020 р. по 25.12.2020 р.
3. Вихідні дані до роботи: Ультразвуковий принцип вимірювання витрати палива. Діаметр умовного проходу: накладні ПЕА - будь-який з діапазону 50-4200, врізані ПЕА - будь-який з діапазону 10-4200. Вимірювана середня об'ємна витрата рідини, м³/год визначається залежно від D_y (мм): найменший $Q_{V \text{ MAX}} (0,0002 D_y^2)$, перехідний $Q_{V \text{ П}} (0,001 D_y^2)$, найбільший $Q_{V \text{ MIN}} (0,028 D_y^2)$.
4. Зміст пояснювальної записки: 1) Аналіз конструктивних особливостей та принципи побудови ультразвукового витратоміра. 2) Дослідження схем та вузлів, розрахунок похибок вимірювання ультразвукового витратоміра. 3) Моделювання електронної схеми ультразвукового витратоміра.
5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: принципіві, структурні, функціональні та електричні схеми, блок схеми, діаграми.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1.	Провести аналіз характеристик та будови ультразвукових витратомірів	з 09.10 по 17.10	
2.	Провести дослідження схем та вузлів ультразвукового витратоміра	з 17.10 по 26.10	
3.	Провести розрахунок похибок показань витратоміра	з 26.10 по 03.11	
4.	Провести моделювання електронної схеми ультразвукового витратоміра	з 03.11 по 01.12	

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
4. Охорона праці	Козлітін Олексій Олександрович		
5. Охорона навколишнього середовища	Фролов Валерій Федорович		

8. Дата видачі завдання: «06» жовтня 2020 р.

Керівник дипломної роботи (проекту) _____ Слободян О.П.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

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

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи “Ультразвуковий витратомір палива літака”: сторінок 113, рисунків 74, таблиць 8, використаних джерел 10.

ЛІТАК, ПАЛИВО, ВИТРАТА, ВИТРАТОМІР, УЛЬТРАЗВУК, ДАТЧИК, ВІДБИТИЙ СИГНАЛ.

Об'єкт дослідження – ультразвуковий витратомір палива в трубопроводі, предмет дослідження – дослідження похибки вимірювання при зміні температури.

Мета дипломного проекту – обґрунтування вибору ультразвукового способу вимірювання витрати палива; оцінка похибок вимірювання витрати палива в трубопроводі; моделювання електронної схеми ультразвукового витратоміра.

Метод дослідження – комп'ютерне програмування в детермінованій постановці.

Встановлено, що залежно від конструктивних особливостей існуючих витратомірів для виміру витрати палива, ультразвукові витратоміри, мають переваги, а саме через відсутність рухливих елементів, простоти забезпечення умов вибухобезпеки, збереження практично повного перерізу трубопроводу і тому мають мале падіння тиску на ділянці розташування датчика.

Матеріали дипломного проекту рекомендуються використовувати для проведення наукових досліджень в області акустики і для технічних працівників авіаційних компаній що займаються комерційним обліком витрати нафтопродуктів.

Можна припустити, що результати аналізу проведеного в цьому дипломній роботі рекомендується використовувати для подальшої дослідницької і конструкторської роботи, спрямованої на поліпшення характеристик ультразвукових витратомірів та у навчальному процесі.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1. Аналіз конструктивних особливостей принципи роботи ультразвукових витратомірів.....	8
1.1. Основні теоретичні відомості та принцип дії ультразвукових витратомірів.....	9
1.2. Аналіз конструктивних особливостей побудови ультразвукових витратомірів.....	15
1.3. Функціональна та структурна схеми ультразвукового витратоміру.....	22
Розділ 2. Розробка структурних схем та вузлів ультразвукового витратоміра палива.....	28
2.1. Імпульсний ультразвуковий витратомір з індикацією без виділення інформації про напрям потоку.....	29
2.2. Синхронний квадратурний детектор і блок виділення інформації про напрям потоку.....	33
2.3. Формувач квадратурного сигналу.....	36
2.4. Функціональна схема ультразвукового витратоміру палива.....	39
2.5. Розрахунок похибок показань витратоміра.....	50
Розділ 3. Моделювання електронних схем ультразвукового витратоміра.....	55
3.1. Вхідний перетворювач сигналів.....	56
3.2. Елементи електронних схем витратоміра.....	56
Розділ 4. Охорона праці.....	86
4.1. Перелік небезпечних та шкідливих виробничих факторів при технічній експлуатації.....	87
4.2. Розрахунок природного освітлення робочого місця інженера з ТО ПС.....	89
4.3. Технічні заходи при експлуатації обладнання систем авіоніки.....	93
Розділ 5. Вплив виробництва і роботи ультразвукового витратоміра на навколишнє середовище.....	99
5.1. Вплив ультразвукових технологій на навколишнє середовище.....	100
Висновки.....	107
Список використаної літератури.....	108
Додатки.....	109

ВСТУП

Сучасний стан авіаційної техніки, впровадження обчислювальних засобів в авіаційне устаткування, а також підвищені вимоги до економічності виконання рейсів вимагають перегляду структури авіаційного устаткування і підвищення вимог до найбільш важливих параметрів авіаційних систем. Це стосується передусім паливовимірювальних (ПВС) систем.

У документах ІСАО приведені рекомендації відносно подальшого удосконалення ПВС сучасних повітряних судів і їх розробки для перспективних літаків. Результати короткого аналізу досвіду експлуатації паливовимірювальних систем показують, що рівень надійності, похибки, витрати на технічне обслуговування наявного паливовимірювального устаткування вимагають подальшого поліпшення.

Важливе значення в ПВС має значення виміру витрати палива. Стрімкий розвиток електроніки і обчислювальної техніки виявився передумовою для широкої автоматизації процесів в ПВС, проте реалізація цієї передумови значною мірою визначається можливостями пристроїв для отримання інформації про реєстрований параметр або процес.

Однією з умов ефективного використання системи ПВС є підвищення точності контрольно-вимірювальних приладів, що входять в них, у тому числі витратомірів. Метрологічні вимоги до останніх стають жорсткішими також у зв'язку з тим, що зростає ціною на нафтопродукти.

Для задоволення цих вимог потрібне дослідження, вивчення і практичне використання апаратурних і методичних шляхів підвищення точності виміру витрати.

В даний час відомо велика кількість засобів вимірювання, побудованих на різних фізичних принципах, що забезпечують вимірювання витрати палива на повітряному судні. Найбільш поширеними і добре освоєними донедавна були засоби вимірювання, основані на методі змінного перепаду тиску на звужуючому

пристрої, тахометричні і електромагнітні. У меншій мірі були поширені інші, в тому числі ультразвукові витратоміри.

Ультразвукові витратоміри отримали поки незначне поширення, але є досить перспективними для застосування їх в авіаційній техніці.

До числа переваг ультразвукових витратомірів можна віднести:

- безконтактність вимірів;
- високу точність вимірів;
- не порушується герметичність трубопроводу при необхідності ремонту або діагностики витратоміру;
- немає втрат тиску потоку;
- відсутність рухливих частин, що різко підвищує термін служби приладу та надійність;
- іскро- і вибухобезпечне виконання ультразвукових витратомірів, що робить можливим їх застосування в авіаційній промисловості;
- з економічної точки зору ультразвукові витратоміри є рентабельними для замовника вже після нетривалої експлуатації.

Слід також відзначити, що ультразвуковий метод вимірювання витрати палива, є більш точніший. Середня похибка ультразвукових витратомірів у межах 0,5-1%, в той час як у інших – 2%).

У розділах дипломної роботи проаналізовані конструктивні особливості та принципи побудови ультразвукових витратомірів, проведено дослідження окремих вузлів схеми витратоміра, складені алгоритми та програма розрахунку похибок витратоміра, проведено моделювання електричних вузлів схем витратоміра у віртуальному середовищі.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИТРАТОМІРІВ

Вступ до розділу

Ультразвуковими називають витратоміри, метод вимірювання яких заснований на залежності від витрати того чи іншого параметра (фази, частоти, довжини хвилі і деяких інших), що виникає при проході акустичних коливань через потік рідини або газу [10]. Практично всі ультразвукові витратоміри працюють в ультразвуковому діапазоні частот [6]:

- 0,1-10 МГц (високі частоти) - при вимірюванні витрати чистих рідин (наприклад, авіаційне паливо);

- <0,1 МГц (низькі частоти) - при вимірюванні витрати газу або забруднених рідин.

Тобто, для вимірювання витрати авіаційного палива застосовуються високочастотні витратоміри.

Так як ефекти, що виникають при проходженні ультразвукових коливань через потік рідини, пов'язані з його швидкістю, тому ультразвукові витратоміри зазвичай служать для вимірювання об'ємної витрати. Але, при додаванні акустичного перетворювача, що реагує на щільність рідини, можливо виміряти масову витрату.

Середня приведена похибка ультразвукових витратомірів знаходиться в межах 0,5-1%. Ультразвукові витратоміри встановлюються в трубопроводах діаметром від 10 мм і більше.

Кафедра авіоніки					НАУ 20 04 02 000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Арк.	Аркушів
Виконав		Ємець Д.В.			АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИТРАТОМІРІВ	8	173 Авіоніка
Керівник		Слободян О.П.					
Консульт.		Слободян О.П.					
Н. Контр.		Левківський					
Заф.каф..		Павлова С.В.					

1.1. Основні теоретичні відомості та принцип дії ультразвукових витратомірів

Для введення акустичних коливань в потік рідини і для прийому їх на виході з потоку необхідні випромінювачі і приймачі коливань, які є головними елементами первинних перетворювачів ультразвукових витратомірів [4].

Робота приймачів акустичних коливань заснована на ефекті прямого п'єзоефекту, а робота випромінювачів – на основі зворотного п'єзоефекту [1].

Прямий п'єзоефект полягає в появі електричних зарядів на поверхні деяких кристалів (п'єзоелементів) і характеризується п'єзоконстантою по деформації:

$$h = \frac{E}{S} (B/M) \quad (1.1)$$

де E - напруга на п'єзоелементі, S - величина пружної деформації. Під впливом акустичних коливань п'єзоелемент генерує змінну напругу. Зворотній п'єзоефект полягає в деформації (розтягу або стиску) п'єзоелемента під дією змінного струму і, генерації таким чином, акустичних коливань тієї ж частоти. Зворотній п'єзоефект характеризується п'єзоелектричним модулем:

$$d = \frac{S}{E} (M/B) \quad (1.2)$$

П'єзоелектричний модуль і п'єзоконстанта пов'язані ставленням:

$$h = \frac{E_{\mu}}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} d, \quad (1.3)$$

де E_{μ} - модуль пружності Юнга, ε - діелектрична проникність п'єзоелемента, ε_0 - діелектрична проникність вакууму. Як матеріал для п'єзоелементів найчастіше використовується п'єзокераміка - титанат барію ($BaTiO_3$) і цирконат титанату свинцю - твердий розчин цирконату свинцю ($PbZrO_3$) і титанату свинцю ($PbTiO_3$), які мають великий п'єзомодуль d і високу (1100-1500) діелектричну проникність, що забезпечує високу ефективність як приймачів, так і випромінювачів.

Найбільша ефективність випромінювача (інтенсивність акустичних хвиль) досягається при подачі на п'єзоелемент змінної напруги з частотою, рівній резонансній частоті п'єзоелемента:

$$f_p = \sqrt{\frac{E_\mu}{\rho}} \cdot \frac{1}{2\sigma} = \frac{c_n}{2\sigma}, \quad (1.4)$$

де $c_n = \sqrt{\frac{E_\mu}{\rho}}$ - швидкість ультразвуку в п'єзоелементі, σ - товщина п'єзоелемента.

Принципи дії витратомірів залежно від напрямку коливань

Найбільш часто площини випромінюючих і прийомних п'єзоелементів розташовуються під деяким кутом ϑ до осі трубопроводу. Тоді шлях, який проходять акустичні коливання під кутом $\alpha = 90^\circ - \vartheta$ до осі труби проходять в рідині шлях довжиною L , з середньою швидкістю v_L (рис. 1.1).

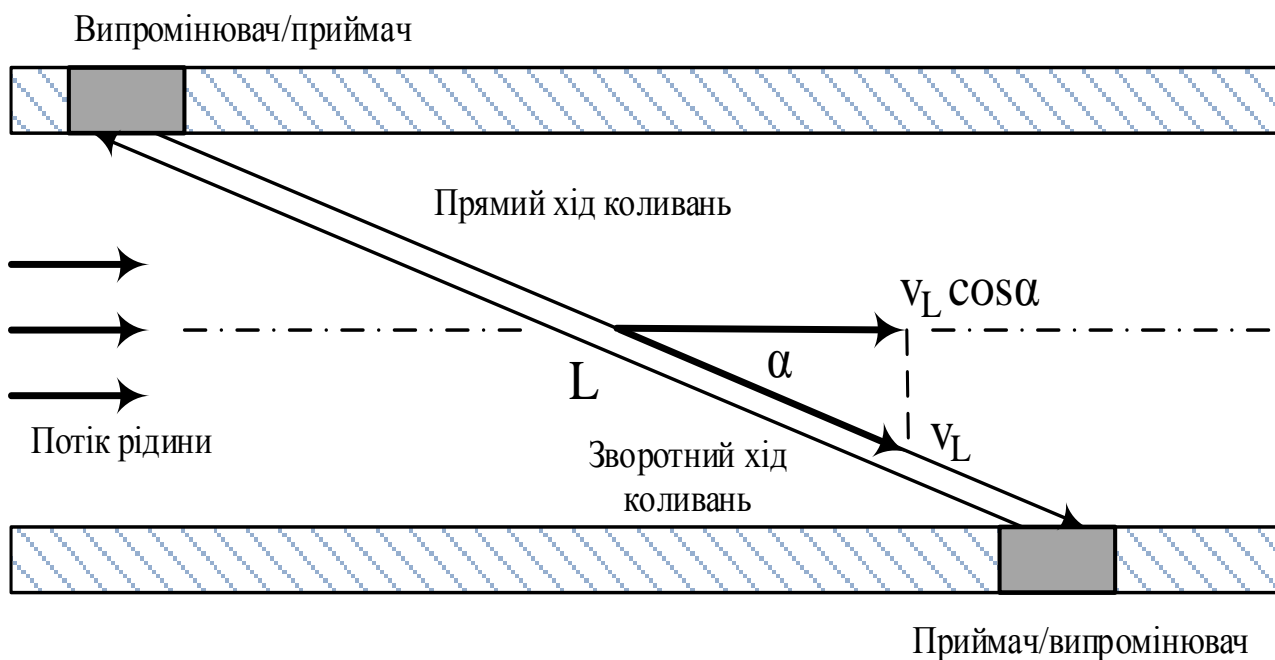


Рис. 1.1. Схема дії ультразвукового витратоміра

Якщо звуковий промінь спрямований в бік руху потоку, то час проходження шляху L :

$$\tau_1 = \frac{L}{c_n + v_L \cos \alpha} = \frac{L}{c_n} \cdot \left[1 + \frac{v_L \cos \alpha}{c_n} \right]^{-1} \quad (1.5)$$

При зворотному русі звукового променя, час проходження шляху L :

$$\tau_2 = \frac{L}{c_n - v_L \cos \alpha} = \frac{L}{c_n} \cdot \left[1 - \frac{v_L \cos \alpha}{c_n} \right]^{-1} \quad (1.6)$$

$$\text{Тоді: } \Delta\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{2L}{c_n^2} \cdot \frac{v_L \cos \alpha}{1 - (v_L \cos \alpha)^2} \quad (1.7)$$

З урахуванням того, що $\frac{v_L \cos \alpha}{c_n} \ll 10^{-3}$, отримаємо:

$$\Delta\tau = \frac{2L \cdot v_L \cos \alpha}{c_n^2}, \quad (1.8)$$

тобто, різниця часу $\Delta\tau$ пропорційна швидкості v_L .

Можливі такі способи вимірювання дуже малих значень $\Delta\tau$:

- фазовий;
- часо-імпульсний;
- частотний.

При фазовому методі (фазові витратоміри) вимірюється різниця фазових зрушень акустичних коливань, спрямованих по потоку і проти нього [2].

Часо-імпульсний метод (часо-імпульсні витратоміри) заснований на безпосередньому вимірі різниці часу проходження коротких імпульсів по потоку і проти нього [5].

Частотний метод (частотні витратоміри), при якому вимірюється різниця частот повторення коротких імпульсів або пакетів акустичних коливань, які направляються по потоку і проти нього. Цей метод є найбільш поширеним [7].

За кількістю акустичних каналів витратоміри підрозділяються:

- однопроменеві (одноканальні);
- двопроменеві (двоканальні);
- багатопроменеві (багатоканальні).

Однопроменеві мають тільки два п'єзоелемента, по черзі виконують функції випромінювача і приймача. Їх істотне гідність - відсутність просторової асиметрії акустичних каналів, які залежать від відмінності в їх геометричних розмірах, а також відмінності температур і концентрації потоку в них.

Двоканальні мають два випромінювача і два приймача, що утворюють два незалежні канали, розташованих паралельно або перехрещуються один з одним.

Багатоканальні використовуються при необхідності вимірювання витрати в деформованих потоках або для досягнення підвищеної точності вимірювання.

Також є окремий вид витратомірів, робота яких заснована на доплерівському ефекті.

Вплив профілю швидкості потоку

На показання ультразвукових витратомірів і їх похибка істотно впливає режим течії рідини в трубопроводі, тобто профіль швидкостей. Найбільш поширеними є витратоміри з кутовим введенням акустичних коливань в одній точці [5]. При цьому ультразвуковий промінь буде реагувати на швидкість, усереднену по діаметру:

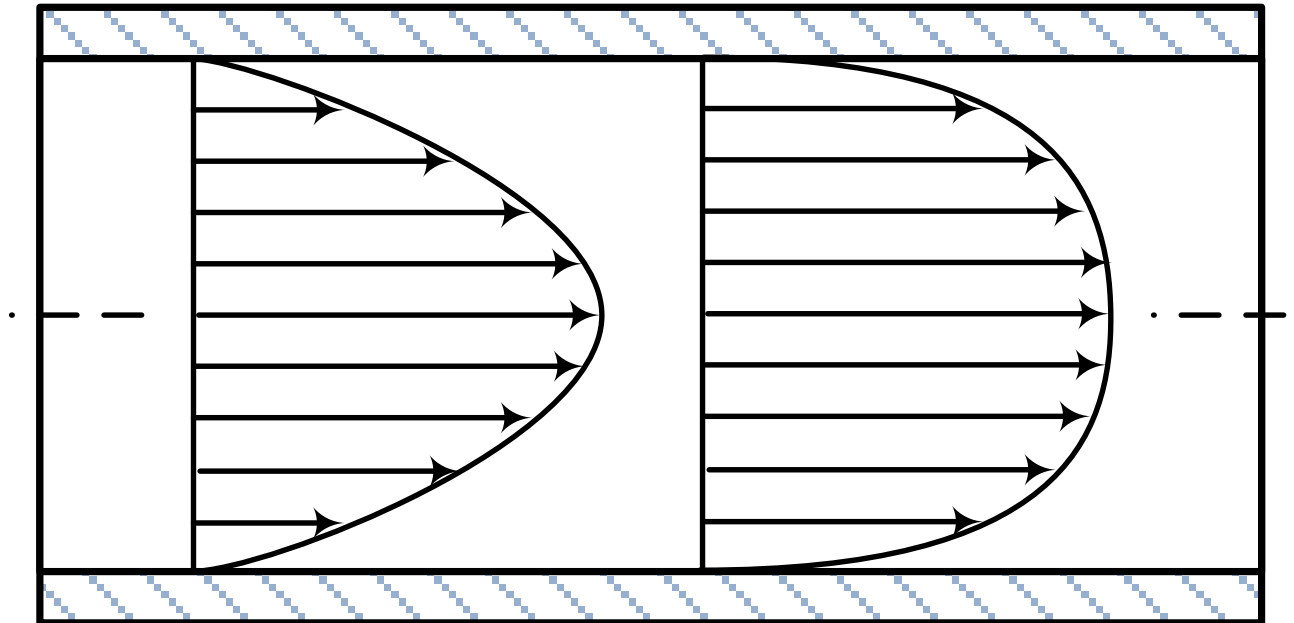
$$v_D = \frac{1}{R} \int_0^R v_r dr, \quad (1.9)$$

де v_r - швидкість в вісесиметричному потоці на відстані r від осі.

При цьому швидкість, усереднена по діаметру, завжди буде більше швидкості, усередненої по площі трубопроводу:

$$v_C = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R 2\pi r \cdot v_r dr \quad (1.10)$$

Тобто, можна записати $v_C = k \cdot v_D$, де $k < 1$ і залежить від виду функції $v_r = f(r)$, тобто від режиму течії. Розрізняють два основні режими течії – ламінарний і турбулентний, які характеризуються таким критерієм, як число Рейнольдса (Re) [2].



а. Ламінарна течія

б. Турбулентна течія

Рис. 1.2. Профілі швидкостей потоку при різних режимах течії в трубопроводі

При вісесиметричному перебігу, в залежності від режиму, функція $v_r = f(r)$ має вигляд:

$$- v_r = v_m \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{-n} \text{ - при турбулентній течії,}$$

$$- v_r = v_m \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \text{ - при ламінарній течії.}$$

Тут: v_m - швидкість потоку по осі труби; $n = 11,269 - 3,019 \lg Re + 0,432 \lg^2 Re$ - показник, що залежить від числа Рейнольдса.

Коригуючий коефіцієнт k залежить від n : $k = \frac{2n}{2n+1}$. При ламінарному режимі, для $Re = 1500 \div 3000$, $k = 0,75$, а у випадку турбулентної течії, при $Re = 4000$, $k = 0,923 \div 0,89$ - для гладких і шорстких труб.

Однак, якщо ультразвуковий промінь посилати не в діаметральній площині труби, а в площині, що проходить через будь-яку з хорд, то можна отримати $k = 1$ і тим самим усунути вплив профілю швидкостей на показники витратоміра, тобто гідродинамічну похибку.

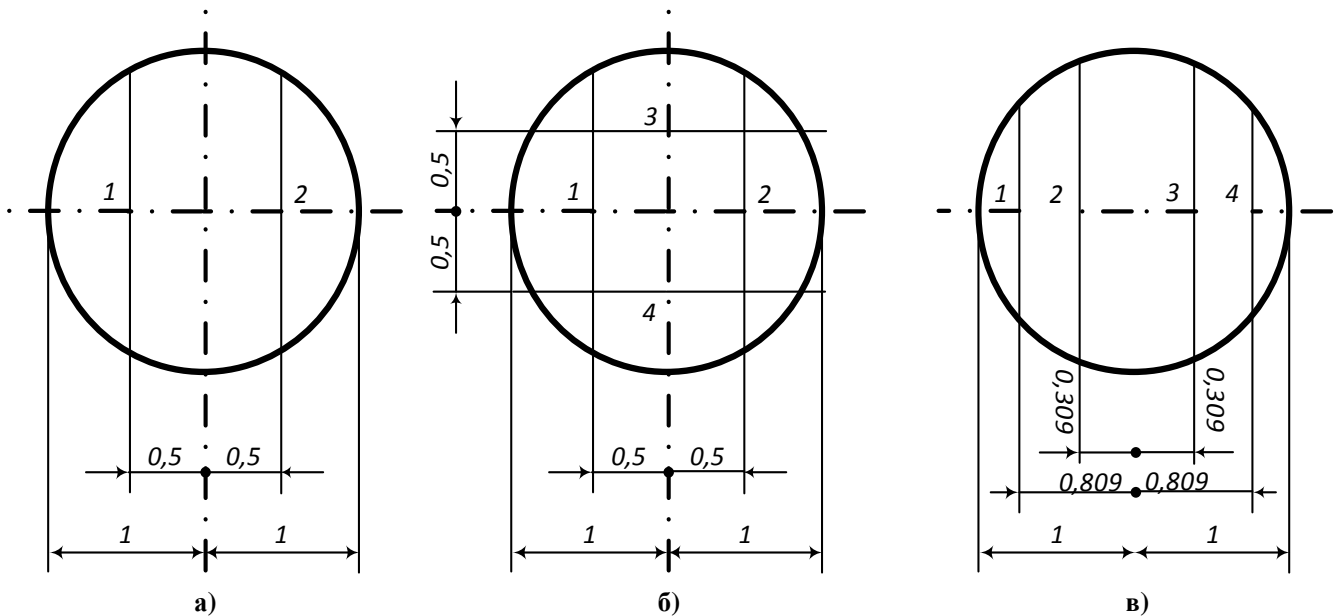


Рис. 1.3. Схеми розміщення випромінювачів для усунення впливу профілю потоку: а) за двома хордам; б) за чотирма хордам (перпендикулярно); в) по чотирьох паралельних хордам

Види перетворювачів ультразвукових витратомірів

Конструкція перетворювача ультразвукового витратоміра складається з відрізка труби на якому встановлені два або більше п'єзоелемента. Найбільш поширені види перетворювачів наведені на рис. 1.4 [3].

За кількістю каналів вимірювання перетворювачі поділяються на одноканальні і двоканальні. По розташуванню п'єзоелементів перетворювачі розрізняють:

- кільцеві (рис. 1.4 а, б);
- спрямовані по осі труби (рис. 1.4 в, г);
- з кутовим введенням (рис. 1.4 д-ж).

Кільцеві перетворювачі створюють ненаправлені випромінювання сферичної форми і застосовуються в трубопроводах дуже малого діаметру, що не характерно для авіаційних паливних магістралей.

Останні два види перетворювачів мають п'єзоелементи плоскої форми і дозволяють сформувати спрямований пучок циліндричної форми, що забезпечує меншу похибка вимірювання.

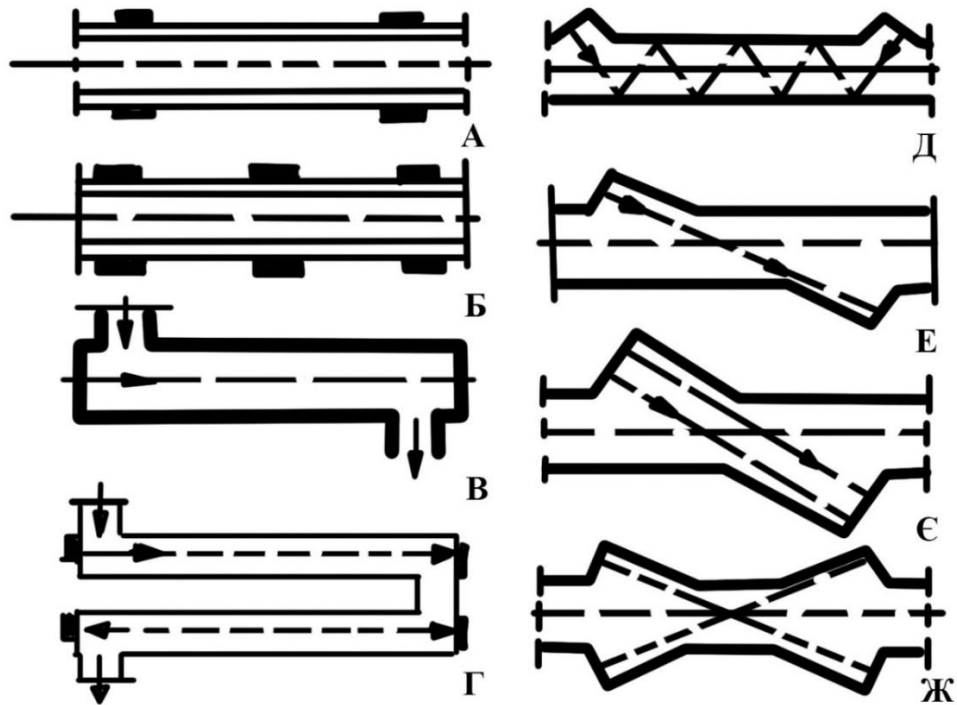


Рис. 1.4. Схеми перетворювачів ультразвукових витратомірів: а, в, д, е - одноканальні; б, г, є, ж – двоканальні

1.2. Аналіз конструктивних особливостей побудови ультразвукових витратомірів

Фазові ультразвукові витратоміри

Робота фазового ультразвукового витратоміра ґрунтується на залежності фазових зрушень ультразвукових коливань $\Delta\varphi$, що виникають на прийомних п'єзоелементах, від різниці часів $\Delta\tau$ проходження цими коливаннями одного і того ж відстані L по потоку рідини, що рухається і проти нього [8]:

$$\Delta\varphi = 2\pi\Delta\tau/T = 2\pi f \Delta\tau \quad (1.11)$$

чи, з урахуванням (1.8):

$$\Delta\varphi = 2L\omega v_L \cos\alpha / c^2 \quad (1.12)$$

де $\omega = 2\pi f$ - колова частота коливань.

На рис. 1.5 наведена принципова схема фазового ультразвукового витратоміра. Генератор за допомогою узгоджуючих трансформаторів пов'язаний з випромінювачами (В1 і В2), ультразвукові коливання, які вони випромінюють

проходять через вимірювану рідину і надходять на приймальні п'єзоелементи (П1 і П2) і перетворюються в електричні сигнали і надходять на фазометричну схему, що складається з фазорегулятора (ФО), двох однакових підсилювачів (ПС1 і ПС2), які управляються вузлами автоматичного регулювання посилення (АРП1 і АРП2), фазового детектора (фазорегулятора), що перетворює різницю фаз $\Delta\varphi$ в різницю часу ходу коливань $\Delta\tau$ і вимірювального приладу (ВП). Фазорегулятор призначений для регулювання початкової точки фазового детектора і встановлення нуля. Наведена похибка приладу $\pm 2,5\%$.

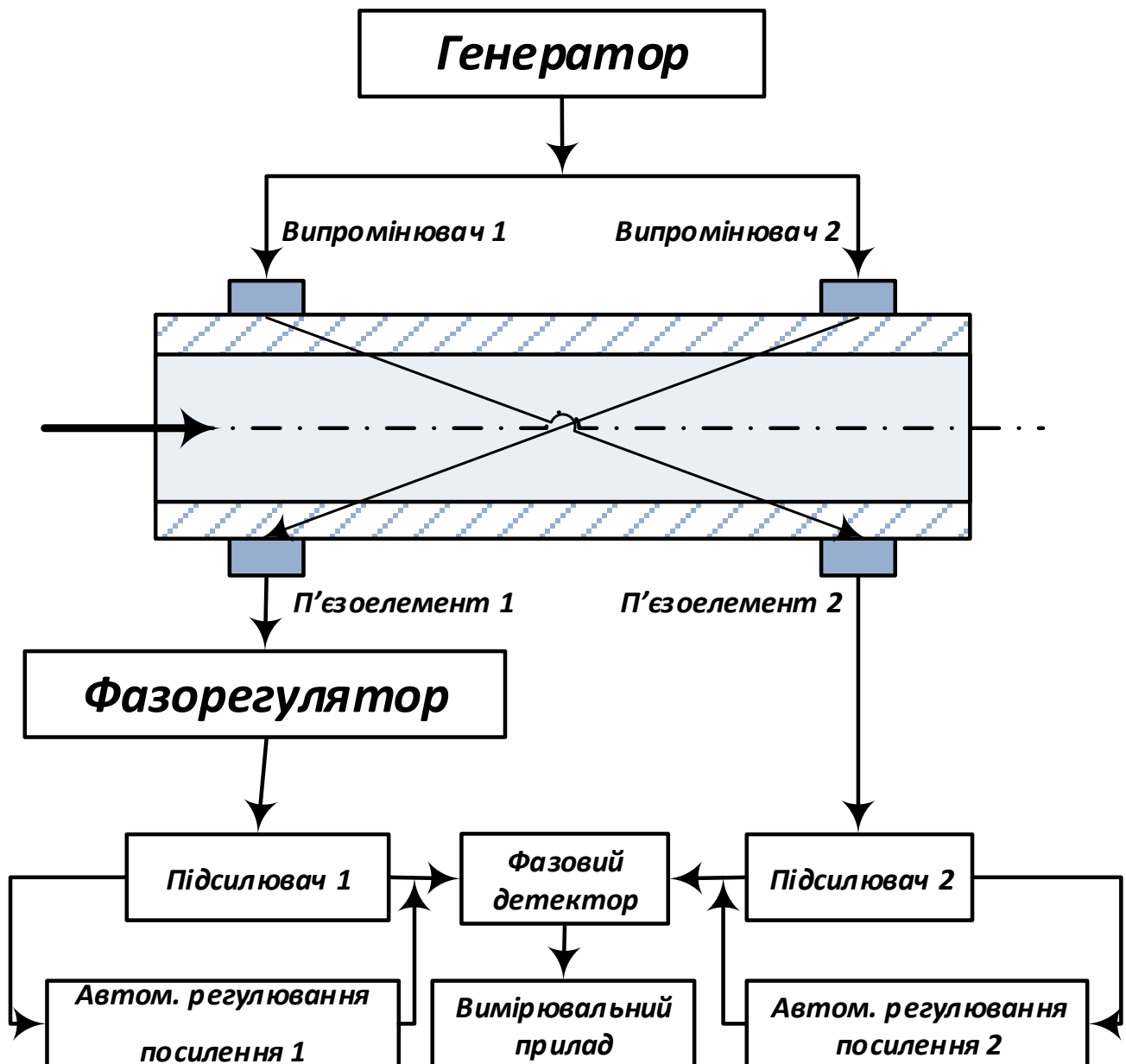


Рис. 1.5. Принципова схема витратоміра

Частотні ультразвукові витратоміри

Принцип роботи частотних ультразвукових витратомірів заснований на вимірюванні залежності різниці частот повторення коротких імпульсів (частотно-імпульсні витратоміри) або пакетів (частотно-пакетні) ультразвукових коливань від різниці часу $\Delta\tau$ проходження цими коливаннями одного і того ж відстані L по потоку рідини, що рухається і проти нього [7].

На рис. 1.6 наведена принципова схема двоканального частотно-пакетного витратоміра.

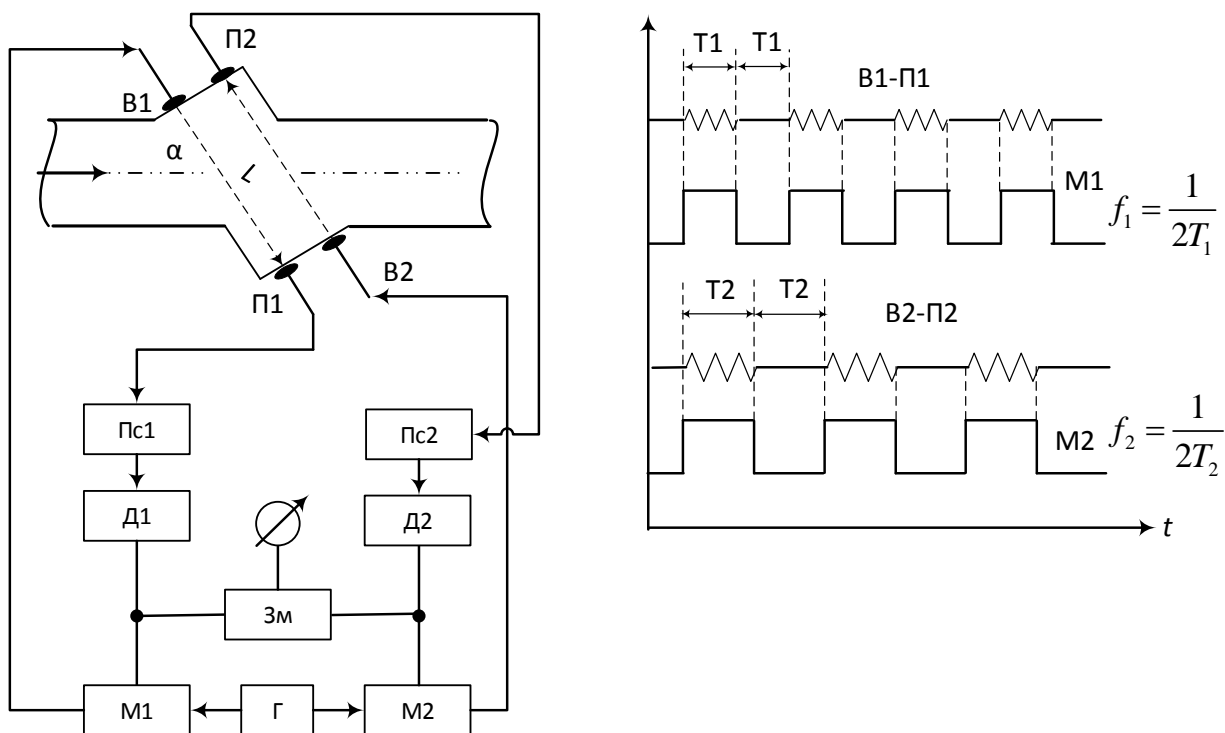


Рис. 1.6. Принципова схема та робота частотно-пакетного витратоміра

Наведена схема працює наступним чином: генератор (Γ) виробляє коливання високої частоти, які через модулятори $M1$ і $M2$ надходять на випромінювачі $V1$ і $V2$. Час проходження акустичних коливань між п'єзоелементами $V1$ і $\Pi1$ дорівнює:

$$T_1 = \frac{L}{c + v \cos \alpha}, \quad (1.13)$$

а час проходження між п'єзоелементами $V1$ і $\Pi2$:

$$T_2 = \frac{L}{c - v \cos \alpha} \quad (1.14)$$

Як тільки перші коливання, що створюються п'єзоелементами П1 і П2, пройшовши через підсилювачі Пс1 і Пс2 і детектори Д1 і Д2 досягають модуляторів М1 і М2, а останні, що працюють в тригерному режимі замикають прохід коливань від генератора Г до п'єзоелементів В1 і В2. При проходженні останніх коливань від П1 і П2 модулятори відкриваються знову. Тому імпульси між п'єзоелементами В1 і П1 будуть проходити пакетами з періодом $2T_1$, а між В2 і П2 - з періодом $2T_2$. Відповідно, частота слідування перших буде $f_1 = 1/2T_1$, а частота проходження других - $f_2 = 1/2T_2$. Прилад, підключений до змішувача (Зм) буде вимірювати різницю частот $f_1 - f_2 = 1/2T_1 - 1/2T_2$.

$$\text{Тоді: } \Delta f = f_1 - f_2 = \frac{v_D \sin \alpha}{D} \quad (1.15)$$

де D – діаметр трубопроводу.

Істотним недоліком частотних витратомірів розглянутого типу є незначна різниця $\Delta f = f_1 - f_2$, яка ускладнює точне вимірювання.

Для збільшення різниці $f_1 - f_2$ запропоновані способи, реалізовані в одноканальних частотомірах, а саме, виділення з частот f_1 і f_2 n -ої гармоніки, вимір різницевої частоти $n \cdot (f_1 - f_2)$ і, множення різниці $f_1 - f_2$ в k раз перед надходженням на вимірювальний пристрій.

На рис. 1.7 приведена схема одноканального витратоміра, в якій вимірюється різниця частот двох керованих генераторів (4 і 8), періоди яких за допомогою автоматичного підстроювання частоти встановлюються в k разів менше часу поширення акустичних коливань в напрямку швидкості потоку і проти неї.

На п'єзоелементи 1 і 2 по черзі надходять імпульси: до першого від генератора 4 з періодом T_1 , а до другого - від генератора 8 з періодом T_2 . Час проходження акустичних імпульсів в трубопроводі: τ_1 - по потоку і τ_2 проти нього, в k разів більше періодів T_1 і T_2 відповідно. Отже, одночасно в потоці буде знаходитися K імпульсів.

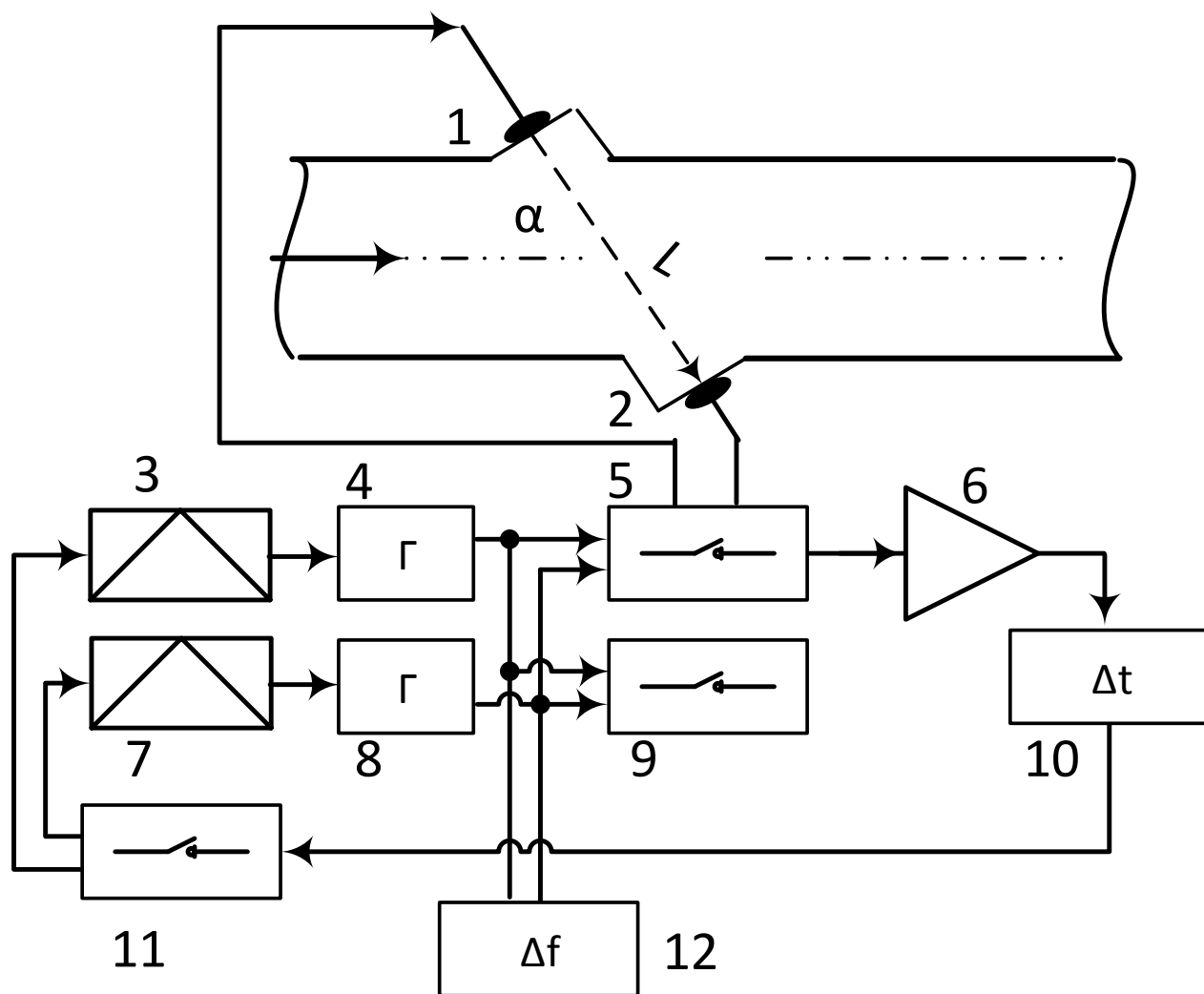


Рис. 1.7. Схема одноканального частотно-пакетного витратоміра: 1, 2 – п'єзоелементи, 3, 7 – реверсивні двигуни, 4, 8 – генератори імпульсів, 5, 9, 11 – комутатори, 6 – підсилювач, 10 – дискриміратор часу, 12 – частотомір

Схема працює таким чином:

- при посилці імпульсів по потоку комутатор 5 одночасно підключає п'єзоелемент 1 до генератора 4, а п'єзоелемент 2 до підсилювача 6;
- при зворотному посилці імпульсів п'єзоелемент 2 підключається до генератора 8, а п'єзоелемент 1 - до підсилювача 6;
- з виходу підсилювача імпульси надходять на вхід дискримінатора часу 10 і, одночасно з ними на нього через комутатор 9 подаються імпульси від генератора 4 або 8, що створюють на дискримінаторі опорна напруга. Якщо імпульси на вході синхронні, (тобто, $\tau_1 = kT_1$ та $\tau_2 = kT_2$), то напруга на виході дискримінатора одно 0. В іншому випадку на виході дискримінатора

виникає напруга, полярність якого залежить від того, випереджають або відстають від опорних імпульси від підсилювача.

- напруга з виходу дискримінатора через комутатор 9 подається на реверсивні двигуни 3 і 7, які змінюють частоту генераторів до тих пір, поки напруга на виході дискримінатора стане рівним нулю;

- різниця частот імпульсів $F_1 - F_2$, що виробляються генераторами, вимірюється частотоміром 12. Так як $F_1 - F_2 = k(f_1 - f_2) = k\left(\frac{1}{\tau_1} - \frac{1}{\tau_2}\right)$, то є вимірюється різниця частот зростає зі збільшенням k , що дозволяє збільшити точність вимірювання.

На описаному принципі розроблений витратомір УРФЗ-70, призначений для динамічних вимірювань витрати палива в авіаційних двигунах.

Часо-імпульсні ультразвукові частотоміри

Часо-імпульсними називаються витратоміри, засновані на вимірі різниці часу $\Delta\tau$ переміщення коротких акустичних імпульсів по потоку і проти нього. При цьому, різниця часу $\Delta\tau$ пов'язана із середньою швидкістю v_L рівнянням:

$$\Delta\tau = 2Lv_L \cos\alpha / c^2 \quad (1.16)$$

Так як $L = D/\sin\alpha$, то $\Delta\tau = 2Dv_D \operatorname{ctg}\alpha / c^2 \quad (1.17)$

Тут: L - довжина ходу акустичних коливань, D - діаметр трубопроводу, v_D - середня (по діаметру) швидкість, α - кут нахилу ходу променю коливань до осі потоку, c - швидкість звуку в вимірюваному речовині.

На рис. 1.8 наведено схему одноканального імпульсного витратоміра і діаграми роботи вібраторів.

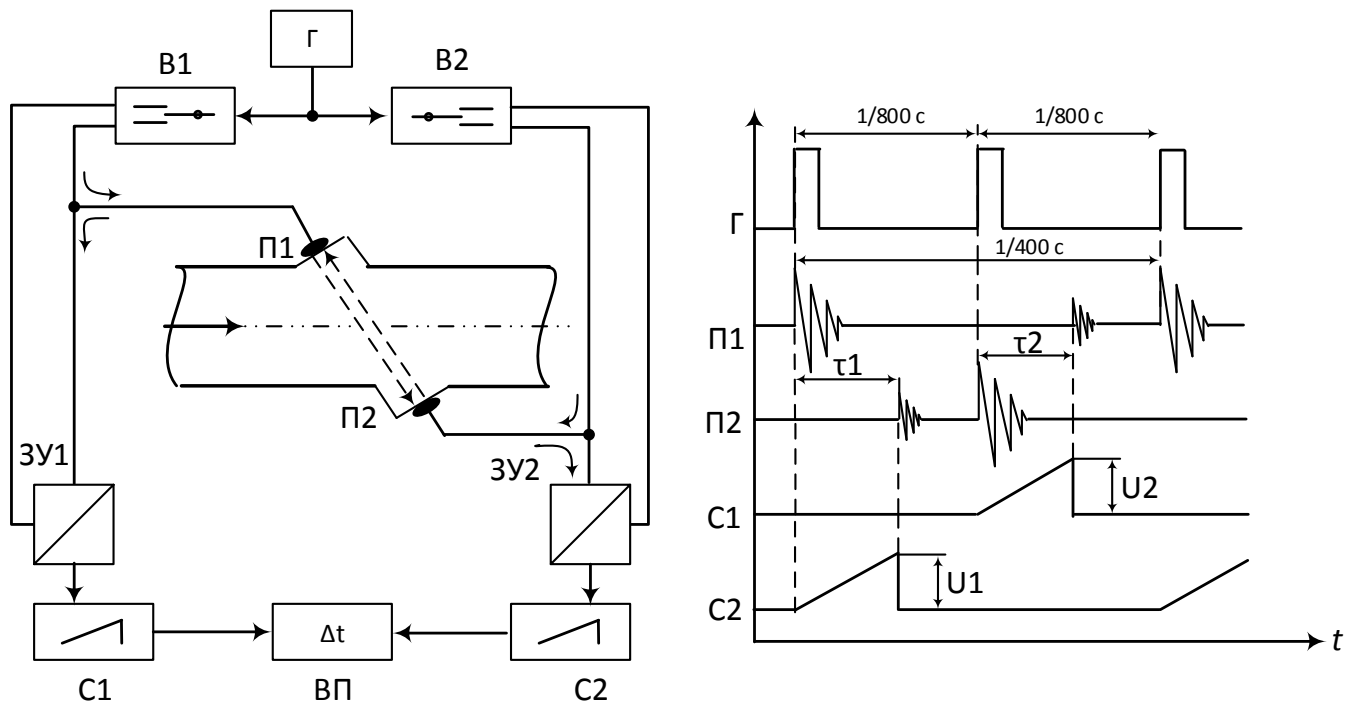


Рис. 1.8. Схема одноканального часоімпульсного витратоміра і тимчасові діаграми його елементів: Г - генератор, В1, В2 - вібратори, ЗУ1, ЗУ2 - зарядні пристрої, С1, С2 - генератори пилкоподібної напруги, ВП - вимірювальний пристрій

Наведена схема працює наступним чином:

- генератор створює імпульси частотою проходження 800 Гц і тривалістю 0,2 мкс, які за допомогою вібраторів В1 і В2, що працюють на частоті 400 Гц по черзі подаються на п'єзоелементи П1 і П2, що випромінюють в потік швидкозатухаючі імпульси;

- вібратори включають через тригери зарядні пристрої ЗУ1 і ЗУ2: імпульси від генератора одночасно надходять на елемент П1 і зарядний пристрій ЗУ2, встановлюючи його в стан активної провідності, що включає генератор С2, що виробляє пилкоподібну напругу, максимальна амплітуда якого пропорційна часу проходження коливань від П1 до П2 ($U_1 \sim \tau_1$);

- в момент приходу імпульсу до П2 генератор С2 відключається;

- аналогічно за час проходження від П2 до П1, тобто проти потоку, генератор С1 виробляє напругу $U_2 \sim \tau_2$;

- вимірювальний пристрій ВП вимірює різницю напруги $\Delta U = U_2 - U_1$, пропорційну різниці часу $\Delta \tau$.

Значення $\Delta\tau \approx 10^{-6} - 10^{-8} \text{ c}$, отже, похибка вимірювання не повинна перевищувати $\Delta\tau \approx 10^{-8} - 10^{-10} \text{ c}$.

Допплерівські витратоміри

Витратоміри даного типу засновані на вимірі доплерівської різниці частот $\Delta f = f_1 - f_2$, пов'язаної з витратою і виникає при відображенні акустичних коливань від неоднорідностей потоку [5]. Даний тип вимірювання в авіації не застосовується і отримав більше розповсюдження в медицині.

Похибки ультразвукових витратомірів

Основними джерелами похибок ультразвукових витратомірів є:

- неправильний облік профілю швидкостей: ця похибка виникає від нерівності між середньою швидкістю потоку речовини і середньою швидкістю по шляху переміщення акустичних коливань. Особливо сильно ця похибка проявляється при переході від ламінарного режиму течії до турбулентного і навпаки, а також при викривленні потоку, пов'язаних з конструкцією трубопроводу (вигини, зміна перерізу);

- зміна швидкості ультразвуку: ця похибка пов'язана зі зміною щільності палива, яка змінюється в залежності від температури;

- паразитні акустичні сигнали: виникають від поверхні розділу труба-рідина (при розташуванні перетворювачів зовні труби), ревербераційні хвилі, що виникають при відображенні ультразвуку від кордонів рідини зі звукопроводу або п'єзоелементами;

- асиметрія електронно-акустичних каналів – в основному немінуча в двопробневих витратомірах внаслідок відмінності геометричних розмірів каналів.

Витратомір являє собою відрізок труби з нержавіючої сталі чи кислотостійкої сталі, до торців якої приварені два фланці за ГОСТ 12815-80 [9]. У середній зоні труби навпроти один одного під кутом 45° приварені два тримача. Тримачі слугують для установки випромінювача/приймача (ВП) і

приймача/випромінювача (ПВ). ВП і ПВ встановлюються з паронітовими прокладками і фіксуються в тримачах гайками.

Вторинний перетворювач являє собою приладовий корпус для монтажу. Знизу корпусу розміщені роз'єми для підключення живлення, ВП, ПВ за допомогою високочастотних кабелів і входів для прийому аналогових та частотних сигналів електронного блоку для інших пристроїв і приладів. Лицьова панель електронного блоку захищає кришка з прозорого матеріалу і кріпиться до корпусу чотирма гвинтами через ущільнення.

Функціональна схема двоканального ультразвукового витратоміру наведена на рис. 1.9.

Функціональні вузли електронного блоку всередині корпусу розміщуються по платно-модульному принципу. З'єднання між платами, які виконані як функціонально закінчені вузли електронного блоку, здійснюється через крос-плату.

На крос-платі за допомогою роз'ємних з'єднань встановлюються: аналогові плати та мікропроцесорна плата.

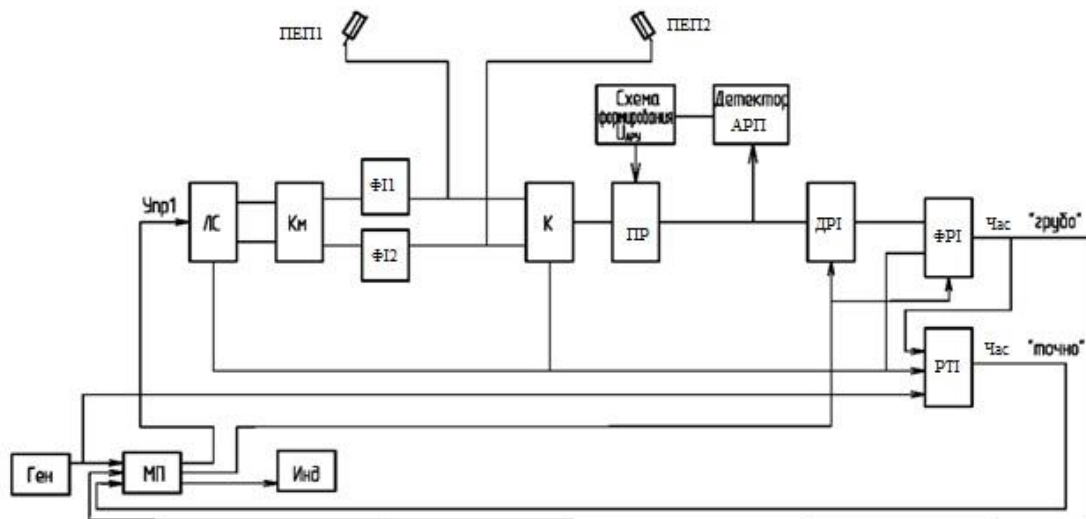


Рис. 1.9. Структурна схема аналогової плати

Плата аналогова складається з:

- логічної схеми, що управляє (ЛС);
- комутатора КМ;
- формувачів імпульсів ФІ1, ФІ2;
- ключів К;

– підсилювача регульованого ПР;
– схеми формування напруги автоматичного регулювання посилення СФ АРП;

- детектора АРП;
- детектора робочого імпульсу ДРІ;
- формувача робочого імпульсу ФРІ;
- розширювача часових інтервалів РТІ.

Аналогові плати забезпечують:

- гальванічну розв'язку датчиків ВП і ПВ від вимірювальної частини каналу вимірювання;
- посилення потужних імпульсів через кабельну лінію з хвильовим опором 50 Ом на ВП і ПВ;
- приймання (посилення і детектування) слабких сигналів від ПВ;
- логічне узгодження часових процесів посилання та прийому імпульсів;
- автоматичне регулювання коефіцієнту посилення приймача в залежності від рівня сигналу, що надходить на його вхід;
- збільшення роздільної здатності для точного вимірювання часових інтервалів.

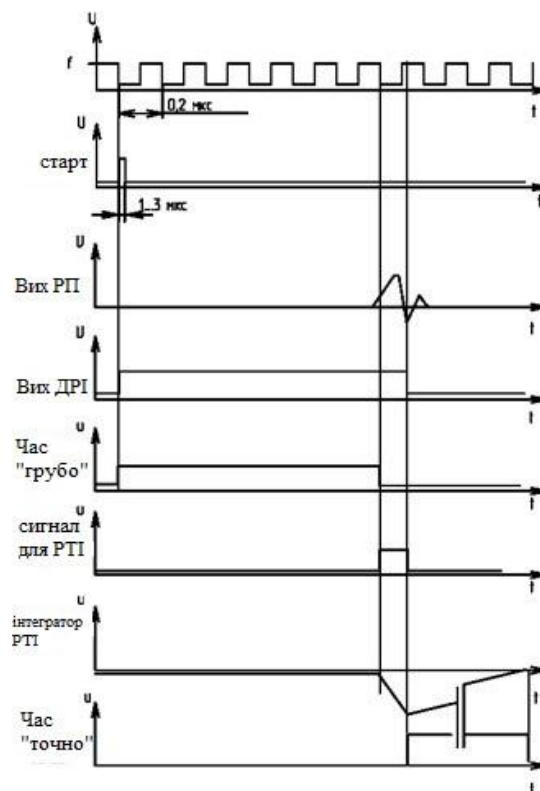


Рис. 1.10. Часова діаграма роботи аналогової плати

Плата мікропроцесорна складається з:

- генератора Г;
- мікропроцесора ПРЦ;
- постійного запам'ятовуючого пристрою ПЗП;
- програмованого таймера ПТ;
- порту введення-виводу ПВВ;
- дешифратора Дш;
- індикатора І;
- перетворювача двійково-десятькового коду в семисегментний Х/У;
- електричного перепрограмованого постійного запам'ятовуючого пристрою ЕППЗП.

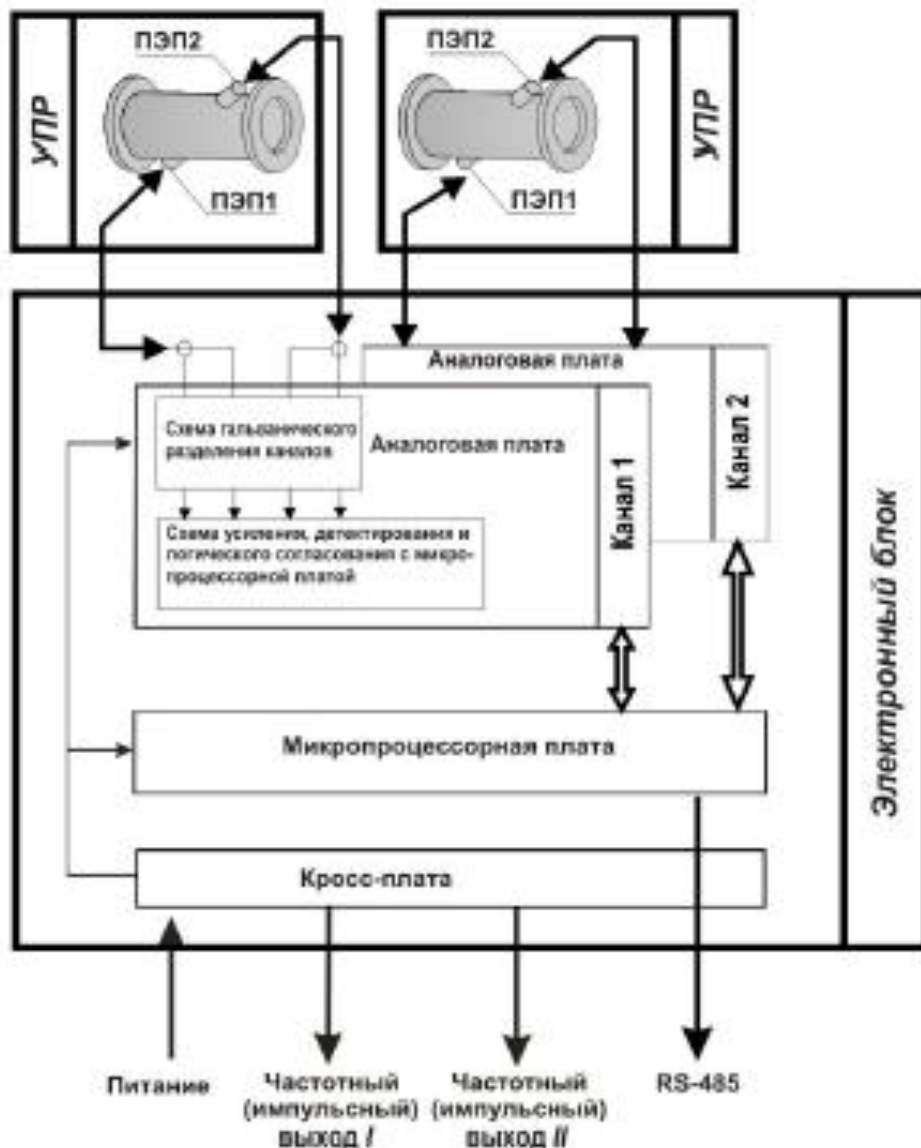


Рис. 1.11. Функціональна схема двоканального ультразвукового витратоміру

Мікропроцесорна плата (рис. 1.12) забезпечує:

- керує процесом змінного зондування потоку рідини імпульсами ультразвуку;
- обчислює значення параметрів, що вимірюються;
- забезпечує ввід параметрів, що програмуються з клавіатури та вивід інформації на індикатор;
- забезпечує зв'язок у мережі за стандартом RS-485;
- формує вихідні аналогові сигнали, що пропорційні витратам у кожному каналі вимірювання;
- проводить періодичну самодіагностику.

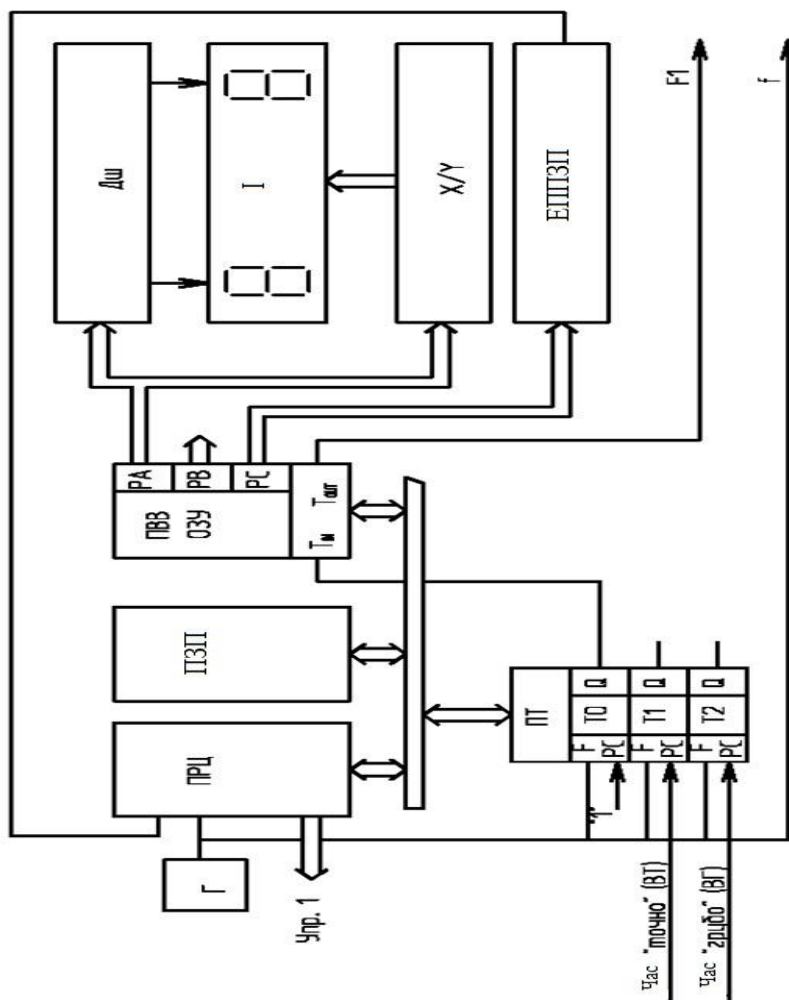


Рис. 1.12. Структурна схема мікропроцесорної плати УЗ витратоміра

Крос-плата забезпечує:

- необхідні напруги живлення;

- формування вихідних частотно-імпульсних сигналів.

Висновок до розділу

В наш час автоматизація в приладах для виміру витрати, маси і об'єму палива задовольняються в основному існуючими приладами і пристроями. Існує також велика номенклатура приладів і пристроїв, призначених для виміру витрати палива, в конструкціях яких враховуються специфічні властивості. Зокрема, широке застосування знаходять автоматичні системи виміру витрати палива, принцип дії яких заснований на доплерівських методах, ультразвукових, вихроакустичних і лазерних.

Вже є спеціальні прилади для виміру витрати, маси і об'єму палива, які повністю автоматизовані і мають вбудований контроль перевірки, налагоджування, тощо.

Належна експлуатація усіх типів приладів можлива лише при дотриманні правил експлуатації, основними з яких є: відсутність значних пульсацій тисків в трубопроводах, сильних вібрацій і ударів; підтримка температури і тиску вимірюваного середовища в допустимих межах; плавне включення потоків при пуску приладів щоб уникнути динамічних ударів потоку; відповідність щільності і в'язкості вимірюваного середовища з градуювальним.

З появою широкого спектру електронної бази, ведеться модернізація і заміна старої елементної бази на інтегральну мікроелектронну, яка набагато підвищує надійність, зменшує похибку і час виміру процесу виміру.

Основна проблема, яка є завжди основною, – це застосування тих принципів виміру і способів перетворення, які були найбільш сумісні з реальним процесом виміру в реальних умовах роботи при найменшому значенням похибки виміру.

Для вирішення завдання по удосконаленню і автоматизації процесу виміру витрати палива, в розділі детально розглянуті сучасні методи та конструктивні особливості принципів побудови ультразвукових витратомірів та визначені шляхи подальшого аналізу та дослідження на структурних схем УЗ витратомірів, а також обчислення їх похибок вимірювання.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ ТА ВУЗЛІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРА ПАЛИВА

Вступ до розділу

Для аналізу структурних схем ультразвукових витратомірів розглянемо схемотехніку найбільш поширених варіантів УЗ витратомірів.

За принципом дії УЗ витратоміри можуть бути умовно розділені на три групи. Робота першої групи заснована на вимірі швидкості поширення УЗ в середовищі, що рухається, яке дорівнює векторній сумі швидкості звуку c у нерухомому середовищі і швидкості v руху середовища. Для дослідження похибок, обумовлених зміною c під дією різних чинників, швидкість v визначають шляхом виміру швидкості поширення УЗ у напрямі потоку і проти нього, причому ці виміри проводять або одночасно в різних акустичних каналах, або по черзі в одному і тому ж акустичному каналі.

При використанні одного каналу також можна одночасно вимірювати суму і різницю швидкостей, якщо використовувати дві різні робочі частоти, проте еквівалентні акустичні бази в цьому випадку будуть однаковими, і їх необхідно вирівнювати в електричних каналах шляхом введення регульованих елементів затримки. Вимір результуючої швидкості поширення УЗ хвиль може бути виконаний будь-яким з відомих способів виміру швидкості УЗ, наприклад фазовим, імпульсним або їх комбінацією.

Робота другої групи витратомірів заснована на вимірі величини "зношення" ультразвукового пучка потоком контрольованого середовища.

Кафедра авіоніки					НАУ 20 04 02 000 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДОСЛІДЖЕННЯ СХЕМ ТА ВУЗЛІВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРА ПАЛИВА			Літ.	Арк.	Аркуші	
Виконав	Ємець Д.В.									28	
Керівник	Слободян О.П.										
Консульт.	Слободян О.П.										
Н. Контр.	Левківський В.В.										
Заф.каф..	Павлова С.В.				173 Авіоніка						

Третя група витратомірів застосовується для виміру швидкості потоку при контролі руху гетерогенних середовищ. Принцип дії цих витратомірів заснований на використанні ефекту Доплера. УЗ коливання, що посиляються по напрямку потоку, розсіюються частками середовища і частково відбиваються частками середовища і частково відбиваються назад до випромінюючого перетворювача, поряд з яким поміщається другий, приймальний. Прийнятий сигнал відрізняється від посланого по частоті, а величина від посланого по частоті, а величина частотного зрушення F пропорційна швидкості руху середовища v , тобто $F = 2fv/c$, де f – частота, а c – швидкість поширення УЗ в середовищі.

Для обчислення істинного значення швидкості необхідно враховувати величину цього кута, так як частотне зрушення визначається проекцією вектору швидкості на напрями ультразвукового променя. Слід зазначити, що при вимірі швидкості потоку доплерівським методом виникає цілий спектр частот, походження якого обумовлене складним характером розподілу швидкостей в зоні прозвучування. Інформація про розподіли швидкостей і про шукану середню швидкість потоку може бути отримана з результатів спектрального аналізу вихідного сигналу доплерівського витратоміру.

2.1. Імпульсний ультразвуковий витратомір з індикацією без виділення інформації про напрям потоку

Для побудови доплерівських індикаторів швидкості потоку використовується ряд відомих радіотехнічних вузлів і блоків, що застосовуються в короткохвильових приймально-передаючих пристроях і допрацьованих з урахуванням специфіки взаємодії з електроакустичним елементом доплерівського приладу - ультразвуковим датчиком [5].

Блок схема простого безперервно-хвильового УЗ приладу із звуковою індикацією без виділення інформації про напрям потоку показана на рис. 2.1.

Розглянемо роботу цього витратоміру. Що виробляється генератором що задає 4 (частота якого стабілізується кварцовим резонатором 6 сигнал подається на вхід підсилювача потужності (ПП) 2, посилюється останнім і випромінюється у вигляді акустичної хвилі, сфокусованої УЗ перетворювачем 1 по напрямку досліджуваної посудини. Відбитий сигнал, що несе інформацію про рух формених елементів палива в цьому трубопроводі, перетвориться приймальним елементом УЗ датчика, посилюється попереднім підсилювачем з малим рівнем шумів 3 і детектується синхронним детектором 5, керованим генератором що задає 4.

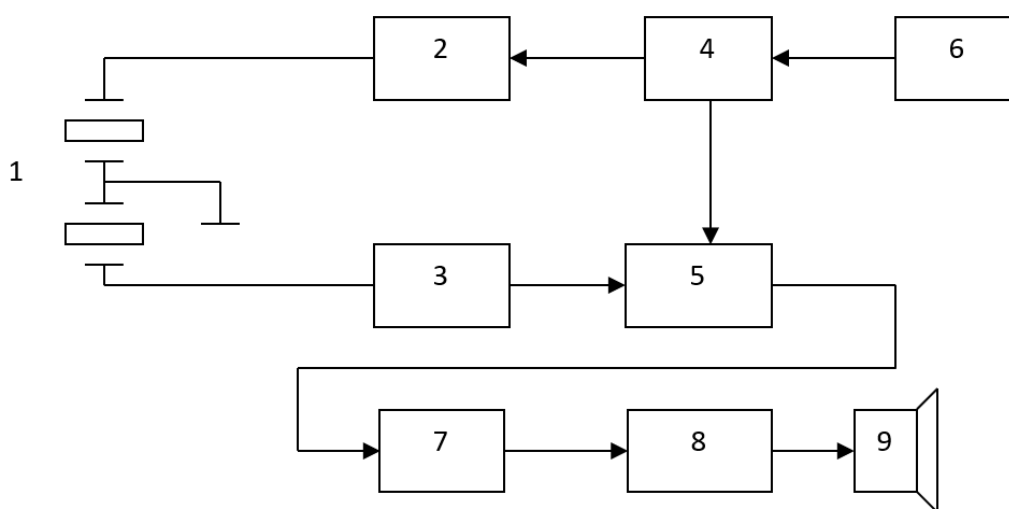


Рис. 2.1. Блок схема безперервно-хвильового доплерівського витратоміру
 1 – УЗ датчик, 2 – ПП, 3 – попередній підсилювач, 4 – генератор що задає, 5 – синхронний детектор, 6 – кварцовий резонатор, 7 – смуговий фільтр, 8 – УНЧ, 9 – індикатор

Сигнал-відлуння містить спектр доплерівських частот, обумовлений рухом окремих елементів потоку в аналізованому об'ємі. Цей сигнал можна представити у вигляді суперпозиції сигналів, що привносяться усіма лініями струму, що проходять через вимірювальний об'єм. Вклад кожної компоненти в цей сигнал пропорційний потужності ультразвуку, розсіяній елементами потоку уздовж цієї лінії, тобто інтегралу по лінії струму від чутливості в пучку (залежності величини сигналу, прийнятого від точкового розсіювача, від координат цього розсіювача) [2].

Для спрощення наступних викладень, розглянемо сигнал на виході блоку 3, якщо складається з трьох компонентів: частоти, що несе, і сигналів, відбитих від прямого і зворотного потоків. Такий сигнал може бути представлений у вигляді:

$$S(t) = A_0 \cdot \cos(w_0 t + \phi_0) + A_f \cdot \cos(w_0 t + w_f t + \phi_f) + A_r \cdot \cos(w_0 t - w_r t + \phi_r), \quad (2.1)$$

де A , w и ϕ - відповідно амплітуда, кутова частота і фаза кожного сигналу, а індекси 0 , f та r означають ту, що несе, прямий і зворотний потік.

Цей сигнал поступає на детектор 5. З математичної точки зору детектор є перемножувач двох сигналів. Помноживши це вираження на $\cos w_0 t$ - сигнал з виходу опорного генератора, отримуємо сигнал на виході синхронного детектора 5:

$$D(t) = \frac{1}{2} A_0 \cdot [\cos(2w_0 t + \phi_0) + \cos(\phi_0)] + \frac{1}{2} A_f \cdot [\cos(w_f t + \phi_f) + \cos(2w_0 t + w_f t + \phi_f)] + \frac{1}{2} A_r \cdot [\cos(w_r t - \phi_r) \cos(2w_0 t + w_r t + \phi_r)] \quad (2.2)$$

Цей сигнал далі фільтрується смуговим фільтром 7 для усунення низькочастотних перешкод, що виникають внаслідок віддзеркалення УЗ сигналу від стінок посудини (амплітуда сигналу від яких на декілька порядків вище за амплітуду корисного доплерівського сигналу), що повільно рухаються, постійної складової $\frac{1}{2} A_0 \cdot \cos(\phi_0)$ і ВЧ шуму (включаючи $\frac{1}{2} A_0 \cdot \cos(2w_0 t + \phi_0)$, $\frac{1}{2} A_f \cdot \cos(2w_0 t + w_f t + \phi_f)$ та $\frac{1}{2} A_r \cdot \cos(2w_0 t + w_r t + \phi_r)$).

Вираження для відфільтрованого сигналу має вигляд:

$$\tilde{D}(t) = \frac{1}{2} A_f \cdot \cos(w_f t + \phi_f) + \frac{1}{2} A_r \cdot \cos(w_r t - \phi_r) \quad (2.3)$$

Цей сигнал потім подається на підсилювач низької частоти (УНЧ) 8 для відтворення системою індикації 9.

Блок-схема імпульсного УЗ витратоміра з індикацією без виділення інформації про напрям потоку показана на рис. 2.2 [10].

Як видно, імпульсний прилад відрізняється від безперервно-хвильового наявністю формувача імпульсів дозволу передачі і прийому, а також селекторів передачі і прийому, керованих цими імпульсами. Що виробляється опорним генератором 8 сигнал детектується селектором передачі 5 в строго певні проміжки часу, що задаються формувачем імпульсів дозволу передачі 4. Прийнятий сигнал також детектується за часом селектором прийому 6, а продетектований синхронним детектором 9 сигнал запам'ятовується в пристрої вибірки і зберігання (УВХ) 10 до приходу наступного імпульсу. Положення "об'єму вибірки" на осі УЗ датчика або глибина розташування досліджуваної посудини визначається часовою затримкою між імпульсом випромінювання і стробом прийому, що відкриває селектор прийому 6. Ця затримка задається формувачем імпульсів дозволу прийому 7.

Оскільки амплітуда прийнятого продетектованого сигналу визначається потужністю ультразвуку, що випромінює, а із-за імпульсного характеру випромінювання при однаковій амплітуді випромінюваних сигналів безперервно-хвильового і імпульсного приладів середня випромінювана потужність останнього буде менше, то на УМ імпульсного тракту подається більша напруга живлення, в порівнянні з безперервно-хвильовим режимом для забезпечення підтримки рівня середньої інтенсивності випромінюваного сигналу в імпульсному режимі. УЗ датчик імпульсного приладу є одним п'єзоелектричним елементом, що поєднує функції прийому і передачі, рознесені в часі. Приймальний тракт повинен забезпечувати захист вхідного каскаду від перевантажень під час випромінювання.

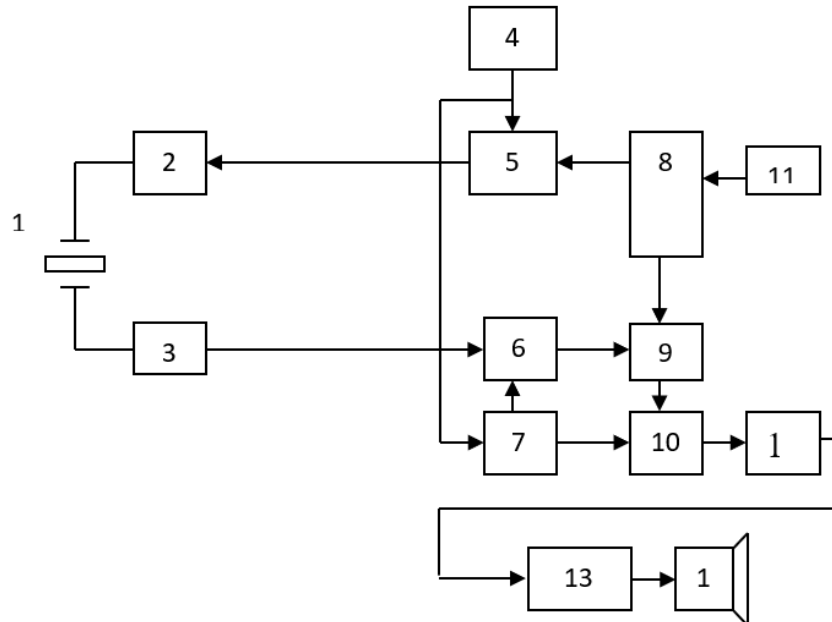


Рис. 2.2. Блок-схема імпульсного УЗ витратоміру з індикацією без виділення інформації про напрям потоку: 1 – УЗ датчик, 2 – УМ, 3 – попередній підсилювач, 4 - формувач імпульсів дозволу передачі, 5 - селектор передачі, 6 - селектор прийому, 7 - формувач імпульсів дозволу прийому (лінія затримки), 8 - генератор що задає, 9 - синхронний детектор, 10 - УВХ, 11 - кварцовий резонатор, 12 - смуговий фільтр, 13 - УНЧ, 14 – індикатор

2.2. Синхронний квадратурний детектор і блок виділення інформації про напрям потоку

Описані вище прилади не зберігають інформацію про напрям потоку, а дає лише величину зрушення частоти. Інформація про напрям потрібна, щоб стежити за зміною швидкості потоку в течії, де виникає зворотний потік, або якщо напрям потоку несе інформацію, наприклад, при дослідженні складу палива.

Для того, щоб розділити сигнали, що несуть інформацію про прямий і зворотний потік, найширше в сучасних приладах застосовується квадратурна демодуляція (рис. 2.3) [10].

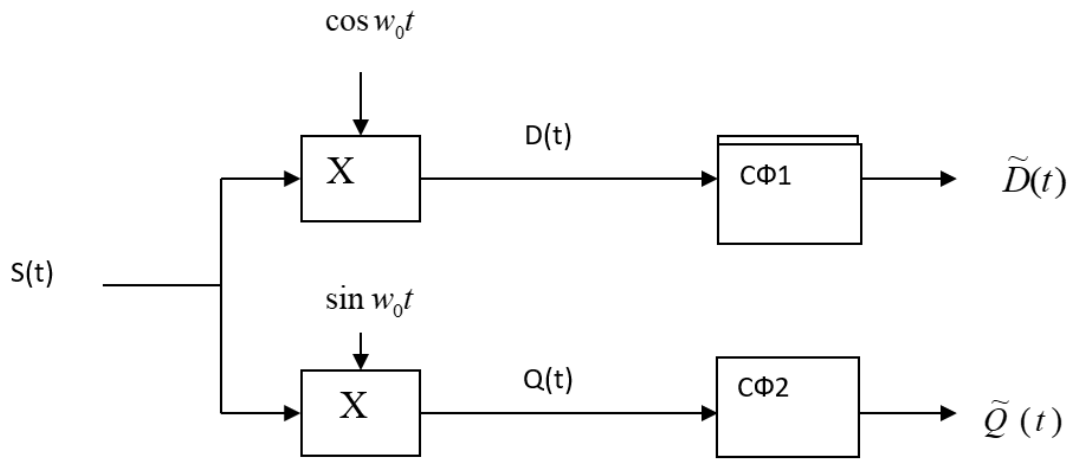


Рис. 2.3. Блок схема квадратурного демодулятора
 X - перемножувач, СФ - смугові фільтри

Посилений сигнал з виходу попереднього підсилювача 3 (рис. 2.1, 2.2) подається на два перемножувача X, детекторів, що виконують роль, на вхід одного з яких, що управляє, подається сигнал з виходу опорного генератора $\cos(w_0 t)$, на вхід, що управляє, іншого - сигнал, зрушений відносно першого на $\frac{\pi}{2}$, тобто $\sin(w_0 t)$. Таким чином, на виході одного з каналів є присутнім синфазний сигнал $\tilde{D}(t)$, на виході другого - квадратурний сигнал $\tilde{Q}(t)$, вид, що має:

$$\tilde{Q}(t) = \frac{1}{2} A_f \cdot \sin(w_f t + \phi_f) + \frac{1}{2} A_r \cdot \sin(w_r t - \phi_r) \text{ або}$$

$$\tilde{Q}(t) = \frac{1}{2} A_f \cdot \cos\left(w_f t + \phi_f + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{1}{2} A_r \cdot \cos\left(w_r t - \phi_r - \frac{\pi}{2}\right)$$

(2.4)

Знак доплерівського зрушення, а значить, і напрям потоку визначається по співвідношенню фаз прямого (синфазного) і квадратурного каналів. Якщо це зрушення позитивне, то квадратурний сигнал відстає на $\frac{\pi}{2}$ від синфазного, і випереджає інакше.

Для розподілу сигналів необхідно "зрушити" один з каналів відносно іншого на $\frac{\pi}{2}$, а потім зробити сумарно-різницеву операцію над отриманими сигналами.

Із запропонованих досі методів розподілу сигналів прямого і зворотного потоку найбільший розвиток отримали 2 методи:

- обробка прямого і квадратурного каналу у фазовій області;
- застосування цифрової обробки сигналів і, зокрема, фільтру Гілберта.

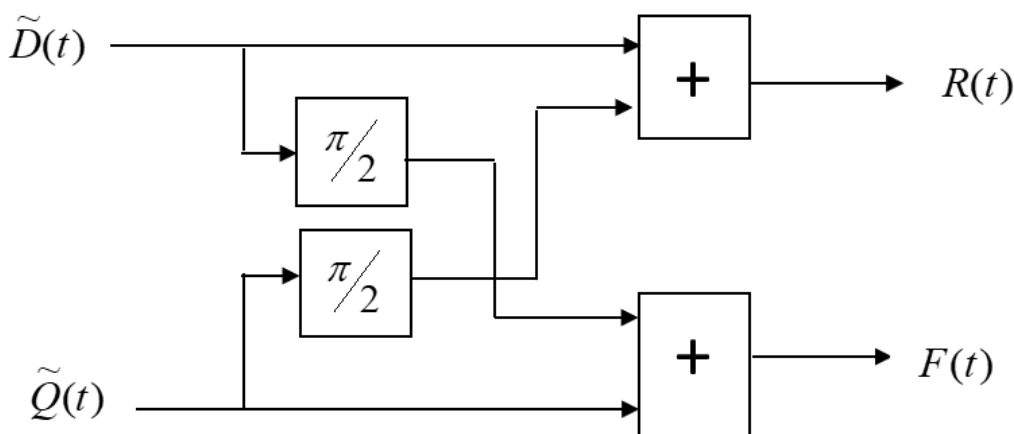


Рис. 2.4. Виділення сигналів прямого і зворотного потоку у фазовій області

Обидва сигнали, прямий і квадратурний, зрушуються на $\frac{\pi}{2}$ і підсумовуються з іншим, незрушеним, сигналом. В результаті виходять два повністю розділених каналу.

Так, зрушуючи прямий сигнал $\tilde{D}(t)$, описуваний (3.3), отримуємо:

$$\tilde{D}^+(t) = \frac{1}{2} A_f \cdot \cos\left(w_f t + \phi_f + \frac{\pi}{2}\right) + \frac{1}{2} A_r \cdot \cos\left(w_r t - \phi_r + \frac{\pi}{2}\right)$$

(2.5)

Підсумовування з квадратурним сигналом $\tilde{Q}(t)$ призводить до видалення компонента, що відноситься до зворотного потоку:

$$F(t) = A_f \cdot \cos\left(w_f t + \phi_f + \frac{\pi}{2}\right)$$

(2.6)

Точно також, зрушуючи квадратурний канал $\tilde{Q}(t)$ і підсумовуючи з прямим каналом $\tilde{D}(t)$, отримаємо компоненту зворотного потоку:

$$R(t) = A_r \cdot \cos(\omega_r t + \phi_r)$$

(2.7)

Другий підхід ґрунтується на застосуванні фільтру Гілберта. ФГ є звичайним, не рекурсивним фільтром. Саме із-за своєї властивості зрушувати фазу 90° , він застосовується в модемах як детектор тієї, що огинає. Коефіцієнти ФГ розраховуються по формулі:

$$h(n) = \frac{2}{n \cdot \pi} \cdot \sin^2\left(\frac{n \cdot \pi}{2}\right)$$

(2.8)

для $n = \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \frac{N}{2}$, де $\frac{N}{2}$ - порядок ФГ, та $h(n) = 0$ для $n = 0$.

Оскільки ФГ реалізується в цифровому виді, оброблюваний сигнал має бути цифрований за допомогою АЦП. В цьому випадку тракт обробки прямого і квадратурного каналу має вигляд, показаний на рис. 2.5:

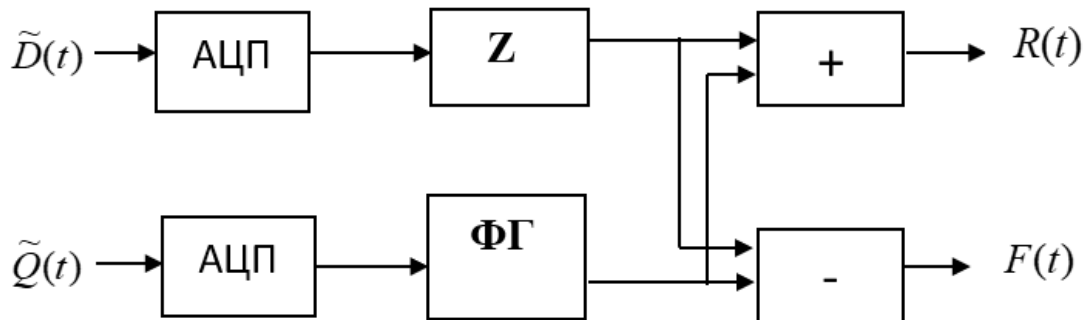


Рис. 2.5. Виділення сигналів прямого і зворотного потоку в частотній області

Тут Z – лінія затримки на половину довжини ФГ. Таким чином, структурна схема безперервно-хвильового УЗ доплерівського приладу із звуковою індикацією і виділенням інформації про напрям потоку виглядає як показано на рис. 2.6.

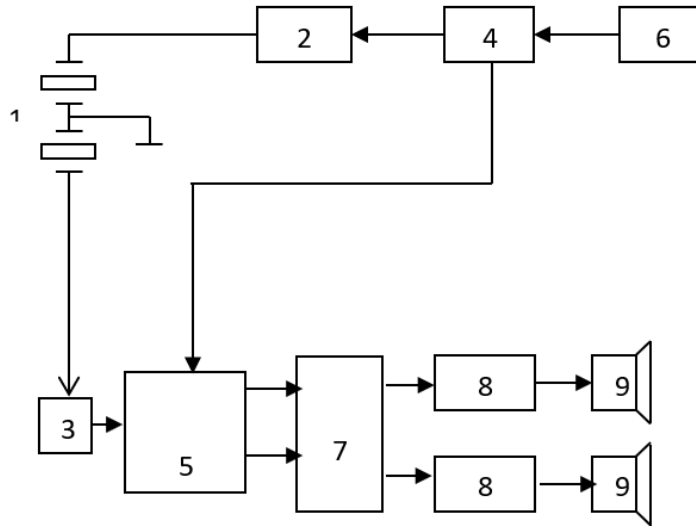


Рис. 2.6. Блок схема безперервно-хвильового доплерівського приладу з виділенням інформації про напрям швидкості потоку: 1 – УЗ датчик, 2 – УМ, 3 – попередній підсилювач, 4 – генератор що задає, 5 - синхронний детектор і схема формування квадратурних сигналів, 6 - кварцовий резонатор, 7 - смуговий фільтр і схема виділення сигналів прямого і зворотного потоку, 8 - УНЧ, 9 – індикатори

Відмінність від раніше розглянутої схеми - у блоках 5 і 7. Блок синхронного детектора 5 включає схему формування квадратурного сигналу. Блок 7 містить два смугові фільтри і схему виділення інформації про напрям потоку - сигнали з виходів яких посилюються за допомогою УНЧ і подаються на індикатори 9.

2.3. Формувач квадратурного сигналу

Як було вказано вище для розподілу каналів прямого і зворотного потоків, необхідно сформувати два сигнали, зрушені один відносно іншого на $\frac{\pi}{2}$. На практиці замість того, щоб множити сигнал $x(t)$ на $\cos(w_0t)$ і $\sin(w_0t)$, цей сигнал множать на сигнал прямокутної форми (меандр) з частотою, кратною w_0 . Аналітичне представлення такого сигналу:

$$Z(w_0t) = \frac{4}{\pi} \cdot \left(\cos(w_0t) + \frac{(-1)}{3} \cdot \cos 3w_0t + \dots + \frac{(-1)^n}{2n+1} \cdot \cos(1n+1)w_0t + \dots \right)$$

(2.9)

Як видно з приведенного вираження, синхронна демодуляція в цьому випадку зводиться до синхронного детектування за допомогою набору синхронних демодуляторів з коефіцієнтами посилення $\frac{4}{\pi} \cdot \frac{(-1)^n}{2n+1}$ і частотами, що несуть $(2n+1)\omega_0$. Вхідним виборчим підсилювачем, що нівелює прослизання в низькочастотну область спектру вихідного сигналу компонент з частотами $(2n+1)\omega_0$ являється сам ультразвуковий датчик, працюючий в області свого резонансу.

Таким чином, завдання демодуляції вхідного сигналу зводиться до завдання детектування цього сигналу за допомогою простого аналогового ключа, керованого сигналами, що мають форму меандру [10].

Це завдання найпростіше вирішується в цифровому виді за допомогою трьох D тригерів (рис. 2.7).

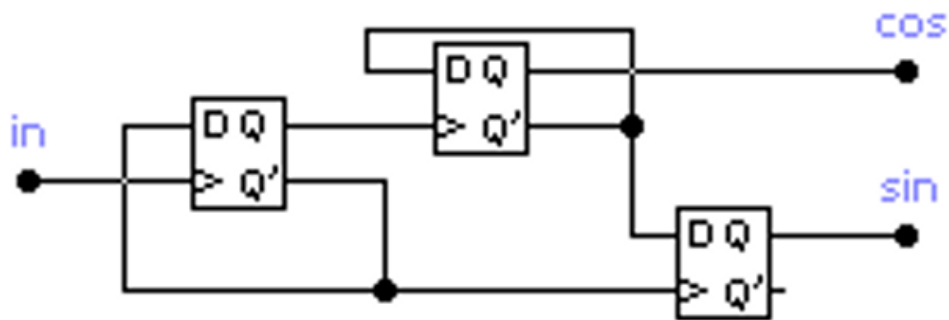


Рис. 2.7. Блок схема формувача квадратурного сигналу

Перевагою цієї схеми в порівнянні з аналоговою є відсутність дискретних компонентів і, як наслідок, набагато менші частотні, часові і температурні погрішності зрушення фаз.

Часова діаграма для цієї схеми приведена на рис. 2.8.

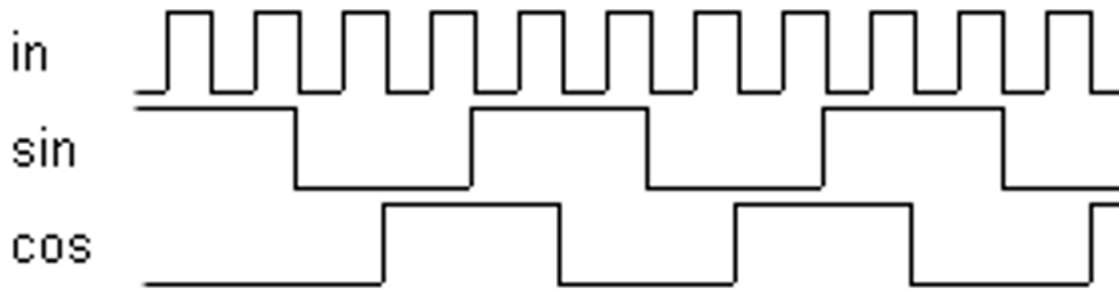


Рис. 2.8. Часова діаграма роботи формувача квадратурного сигналу

Як видно з цієї діаграми, частота опорного сигналу має бути вище за частоту результуючих сигналів в чотири рази. Таким чином, для роботи доплерівського приладу в діапазоні 2 МГц частота на виході опорного генератора повинна складати 8 МГц, для 4 МГц – 16 МГц, і для 8 МГц – 32 МГц.

При побудові приладів, працюючих на частотах зверху 20 МГц, частота опорного генератора стає вище 80 МГц. При проектуванні блоків генератора, формувача квадратурного сигналу і змішувача, працюючих на таких частотах, пред'являються підвищені вимоги до розводки друкованої плати, її екранування, які важко забезпечити. Тому виникає відхилення різниці фаз сигналів, що подаються на квадратурний детектор від $\frac{\pi}{2}$, що призводить до проникнення цього відхилення у вихідний сигнал, і, як наслідок, до спотворень результатів обробки доплерівського сигналу.

Так, якщо сигнал, що подається на детектор прямого каналу, має вигляд $\cos w_0 t$, а сигнал, що подається на детектор квадратурного - $\sin(w_0 t + \varphi_{err})$, тобто є помилка зрушення опорного сигналу від величини $\frac{\pi}{2}$, тобто в цьому випадку вираження для відфільтрованого квадратурного сигналу придбаває вид:

$$\begin{aligned} \tilde{Q}(t) = & \frac{1}{2} A_f \cdot \cos \varphi_{err} \cdot \sin(w_f t + \phi_f) + \frac{1}{2} A_f \cdot \sin \varphi_{err} \cdot \cos(w_f t + \phi_f) + \\ & + \frac{1}{2} A_r \cdot \cos \varphi_{err} \cdot \sin(w_r t - \phi_r) + \frac{1}{2} A_r \cdot \sin \varphi_{err} \cdot \cos(w_r t - \phi_r) \end{aligned} \quad (2.10)$$

Як неважко помітити, отримане вираження легко перетвориться в наступне:

$$\tilde{Q}(t) = \cos \varphi_{err} \tilde{Q}(t) + \sin \varphi_{err} \tilde{D}(t)$$

(2.11)

Тобто квадратурний сигнал в цьому випадку містить частину прямого сигналу. Це - випадок так званого "прослизання" або відсутності розподілу каналів. Зрушення цього сигналу на $\pi/2$ аналоговим або цифровим способом і проведення над отриманим результатом сумарно-різницевої операції вже не приведе до повного розподілу сигналів прямого і зворотного потоку, і результати розрахунків спектрограми і індексів будуть спотворені.

2.4. Функціональна схема ультразвукового витратоміру палива

Ультразвукові витратоміри при їх використанні на трубопроводах середніх і великих діаметрів виявляються значно дешевше за механічних, електромагнітних, коріолісових і інших витратомірів. Крім того, ультразвукові витратоміри можуть використовуватися для виміру витрати рідин-діелектриків, наприклад нафтопродуктів [4].

Особливістю ультразвукових витратомірів, являється те, що за замовленням вони можуть бути укомплектовані або врізаними датчиками, що контактують безпосередньо з рідиною в трубопроводі, або накладними (безконтактними), що монтуються на зовнішній поверхні трубопроводу.

До недавнього часу на трубах середнього і великого діаметру найбільш широке поширення мали вузли обліку на звужуючих пристроях [8]. Проте через різні недоліки: засмічення імпульсних трубок, необхідності регулярного технічного обслуговування, незручності проведення періодичної перевірки, сточування кромки, вузького динамічного діапазону і, нарешті, втрат тиску, виникає бажання перейти на застосування сучасніших витратомірів. Прямолінійні ділянки трубопроводу, необхідні для правильної експлуатації ультразвукових витратомірів, як правило менше, ніж для звужуючих пристроїв, тому найчастіше монтаж датчиків може бути здійснений в наявній камері для звужуючого пристрою.

Ультразвукові прилади використовують сучасну мікропроцесорну техніку для обробки сигналів та є конкурентно спроможними в області ультразвукової витратометрії. У їх алгоритмах роботи передбачені автоматична корекція швидкості ультразвуку і гідродинамічного коефіцієнта, залежно від середньої швидкості потоку. Похибка виміру безконтактними датчиками із заломленням променя не перевищує похибки для врізаних датчиків прямого випромінювання. У широкому діапазоні швидкостей потоку і температур відносна похибка виміру витрати не перевищує $\pm 1,5\%$ і лише при швидкостях менш $0,3\text{ м/с}$ не перевищує $\pm 4\%$. У разі використання спеціально виготовленої вимірювальної ділянки, у вказаному діапазоні швидкостей потоку, відносна похибка виміру не перевищує 1% та 2% відповідно. В процесі експлуатації, в результаті корозії і утворення на стінках трубопроводу відкладень, можливе збільшення похибки виміру витрати, пов'язане зі зміною внутрішнього діаметру і шорсткості. Щоб цього уникнути, для установки як накладних, так і врізаних датчиків необхідно використовувати труби або ділянки труб, що спеціально виготовляються, з нержавіючого металу, з полімерних матеріалів або металеві труби з полімерним покриттям.

Найважливішою умовою, що найбільш сильно впливає на точність виміру усіх типів витратомірів, працюючих за принципом швидкість-площа, у тому числі для ультразвукових витратомірів являється симетричність епюри швидкостей потоку, що забезпечується дотриманням довжин прямолінійних ділянок. Скорочення необхідних довжин прямолінійних ділянок для таких витратомірів без збитку для точності вимірів, тобто проведення вимірів при викривленій епюрі швидкостей, - завдання, що вирішується виключно за допомогою багатоканальних вимірників, незалежно від методу виміру.

Для виміру об'ємної витрати і об'єму різних рідин в широкому діапазоні температур, в напірних металевих і пластмасових трубопроводах в різних умовах експлуатації, у тому числі у вибухонебезпечних зонах, – витратомір виконує виміру при постійному і змінному (реверсивному) напрямі потоку рідини в трубопроводі для кожного напрямку окремо, з індикацією знаку напрямку потоку, архівація вимірних значень, а також забезпечує можливість виведення вимірних значень на зовнішні пристрої.

УЗ витратомір забезпечує можливість виміру в одному трубопроводі однією парою перетворювачів електроакустичних (ПЕА). ПЕА, що входять до складу витратоміру, виготовляються врізані (встановлюються в монтажні патрубки, наварені на отвори, що протилежать, в стінках трубопроводу) герметичні.

УЗ витратоміри застосовують для установки на трубопроводи діаметром DY від 10 до 4200 мм.

Витратомір дозволяє виміряти значення середнього об'єму витрат рідини, об'єму рідини наростаючим підсумком, як суми результатів виміру в обох напрямках, упізнати швидкості потоку рідини. Витратомір робить індикацію поточної дати і часу, часу роботи в штатних/нештатних режимах.

За допомогою пристрою індикації витратомір забезпечує виведення значень вимірних об'ємів. Архівація робиться в незалежній пам'яті витратоміру за останні 728 годин, 64 доби, 64 місяці.

Витратомір виконує виведення вимірних значень середньої об'ємної витрати рідини у вигляді струмового вихідного сигналу і об'єму рідини у вигляді імпульсів з нормованою вагою.

Витратомір виконує:

- автоматичний контроль аварійних і нештатних ситуацій і архівацію виду аварії або нештатної ситуації, із занесенням в журнал аварійних (нештатних) ситуацій;

- виведення вимірювальної, діагностичної, довідкової і архівної інформації за допомогою комунікаційного зв'язку через послідовний інтерфейс RS 232 або RS 485.

Інтерфейс RS 232 забезпечує безпосередній зв'язок витратоміру тільки з одним персональним комп'ютером (ПК) при довжині лінії зв'язку не більше 15 м. Інтерфейс RS 485 дозволяє забезпечувати безпосередній зв'язок в мережі з 32 абонентів (одним з яких являється ПК) на відстань до 1200 м.

Комунікаційний зв'язок через інтерфейс RS 232 (RS 485) дозволяє за допомогою ПК отримати і задокументувати інформацію поточним значенні вимірюваних параметрів і результатів автодіагностики витратоміру з прив'язкою до дати і часу знімання параметрів, а також архівні значення вимірюваних

параметрів і результатів автодіагностики, що зберігаються у вартовому, добовому або місячному архіві (по вибору) і журналі аварій за увесь період накопичення або за необхідний період по вибору споживача.

При переході в аварійний режим або при виникненні нештатної ситуації витратомір забезпечує комутацію ланцюга сигналізації постійного струму.

Технічні характеристики витратоміру

Таблиця 2.1

Технічні характеристики витратоміру

Найменування параметра	Значення параметра
1	2
Діаметр умовного проходу, D_y , мм: - накладні ПЕА - врізані ПЕА	будь-який з діапазону 50-4200 будь-який з діапазону 10-4200
Вимірювана середня об'ємна витрата рідини, $m^3/год$ - найменший $Q_{V MAX}$ - перехідний $Q_{V П}$ - найбільший $Q_{V MIN}$	Визначається залежно від D_y (мм) $0,0002 D_y^2$ $0,001 D_y^2$ $0,028 D_y^2$
Температура вимірюваної рідини, $^{\circ}C$	мінус 70-плюс 220
Найбільший тиск в трубопроводі, МПа	2,5
Найбільша довжина сигнального кабелю між ВП и ПЕА, м	100
Швидкість передачі інформації по RS зв'язку, кБіт	1,2; 2,4; 4,8; 9,6; 19,2
Середній термін експлуатації, років	12

Витратомір забезпечує видачу вимірних значень об'єму у вигляді імпульсів з нормованою вагою.

У витратомірі реалізована можливість підключення до двох імпульсних виходів [10]. У одного з них вихідний каскад виконаний на фототранзисторі з відкритими колектором (виведення РК2) і емітером (виведення РЕ2) транзисторної оптопари, що забезпечує гальванічну розв'язку виходу від основної

схеми. При цьому, найбільші допустимі значення напруги 15 В, а навантаження струму - 10 мА. Цей вихід використовується для підключення до теплообчислювача СПТ 960 фірм "Логіка". Інший імпульсний вихід (маркування виводів ROOUT, ROGND) реалізований на гальванічному розв'язаному емітерному повторювачі. При цьому амплітуда вихідного імпульсу складає не менше 4 В на навантаженні не менше 1 кОм. Працюють обидва виходи одночасно.

Передбачена можливість установки з клавіатури витратоміру двох режимів роботи:

- з періодом дотримання імпульсів 10 мс (при шпаруватості 2);
- з періодом дотримання імпульсів 200 мс (при шпаруватості 2).

Період дотримання імпульсів 200 мс встановлюється при роботі витратоміру з теплообчислювача СПТ960.

Номінальна статична характеристика витратоміру по імпульсному виходу:

$$V = N \cdot K,$$

(2.12)

де V - об'єм води, виміряний за інтервал часу T , м³;

N - кількість імпульсів, що пройшли за інтервал часу T ;

K - вага імпульсу, м³/імп.

Вага імпульсу K розраховується у витратомірі автоматично після визначення D_y трубопроводу по формулі:

$$K = Q_{\max} \cdot T_u / 3600,$$

(2.13)

де T_u - встановлений період дотримання імпульсів, с.

Розраховане значення округляється у витратомірі і виводиться на дисплей. Це значення використовується в якості ваги імпульсу K . При роботі по імпульсному виходу обов'язково переконатися у відповідності ваги імпульсу, встановленого на пристрої реєстрації і підключеного до імпульсного виходу витратоміру, вазі імпульсу на імпульсному виході витратоміру, ліченому з індикатора.

Вихід активний в діапазоні витрат:

$$QV_{\min} < QV < QV_{\max},$$

(2.14)

де QV - значення середньої об'ємної витрати рідини, м³/год;

QV_{\max} - найбільша вимірювана середня об'ємна витрата рідини для цього типорозміру витратоміру, м³/год;

QV_{\min} - мінімальне значення вимірюваної витрати, що встановлюється користувачем, м³/год.

Витратомір забезпечує видачу вимірних значень витрати у вигляді сигналу постійного струму з межами:

- від 0 до 5 мА при навантаженні не більше 1,5 кОм;
- від 0 до 20 мА при навантаженні не більше 250 Ом;
- від 4 до 20 мА при навантаженні не більше 250 Ом.

Витратомір забезпечує комутацію зовнішнього ланцюга (релейний ланцюг, виводи якого позначені на схемі підключення і крос-платі РК1 і РЕ1) фототранзистором n -р-п типу з відкритим колектором (виведення РК1) і емітером (виведення РЕ1) транзисторної оптопари, що забезпечує гальванічну розв'язку приладу. Комутована напруга і струм при цьому не повинні перевищувати 15 В і 10 мА відповідно.

Витратомір забезпечує можливість перегляду даних при контролі їх значень, введенні або зміні (при введенні витратоміру в експлуатацію, експлуатації, перевірці і так далі) за допомогою системи функціональних меню, доступ до яких забезпечується клавіатурою витратоміру.

Відносні погрішності при виведенні вимірних значень на індикатор, при реєстрації в архіві, при видачі даних по RS зв'язку, імпульсному і струмовому виходам не перевищують значень, вказаних в таблиці 2.

Таблиця 2.2

Відносні погрішності при виведенні вимірних значень

Вимірюваний параметр	Відносна погрішність виміру, %
Середня об'ємна витрата, об'єм, рідини в діапазоні витрат: $Q_{V \min} - Q_{V \max}$	$\pm 4,0$

$Q_V П - Q_V МАХ$	$\pm 1,5$
-------------------	-----------

Принцип роботи вибраного витратоміру

За принципом роботи витратомір відноситься до час-імпульсним ультразвукових витратомірів, робота яких заснована на вимірі різниці часів проходження коротких імпульсів (що зондують) ультразвукових коливань (УЗК) по напрямку швидкості потоку рідини в трубопроводі і проти нього. Збудження зондуючих імпульсів робиться первинними електроакустичними перетворювачами, що встановлюються на трубопровід з вимірюваною витратою.

За способом організації зондування потоку рідини ультразвуковими імпульсами витратомір відноситься до автоциркуляційних витратомірів з поперемінною комутацією.

Особливістю ультразвукового витратоміра (УЗВ) являється поперемінне функціонування двох синхрокільць. Синхрокільця утворені приймально-підсилювальним трактом, охопленим зворотним зв'язком, що запізнюється, через електроакустичний тракт ПЕА1 - стінка трубопроводу - рідина - стінка трубопроводу - ПЕА2.

Первинний перетворювач витрати включає відрізок труби і закріплені на ньому два електроакустичні перетворювачі - ПЕА1 та ПЕА2, що забезпечують випромінювання ультразвукових сигналів (УЗС) в рідину під кутом до осі трубопроводу. При русі рідини спостерігається знос ультразвукової хвилі, який призводить до зміни повного часу поширення УЗС між ПЕА : по потоку рідини (від ПЕА1 до ПЕА2) час поширення зменшується, а проти потоку (від ПЕА2 до ПЕА1) - зростає.

Вторинний вимірювальний перетворювач за допомогою поперемінного випромінювання в рідину УЗС і їх прийому, що рухається, здійснює вимір різниці часів поширення УЗС по потоку і проти потоку рідини dT . Ця величина dT , пропорційна швидкості, а отже, і витраті рідини, визначається вираженням (2.15):

$$dT = T_1 - T_2 = \frac{2 \cdot n \cdot v \cdot D \cdot \operatorname{tg} \theta}{c_2 + t_3}$$

(2.15)

$$\text{де: } T_1 - T_2 = \frac{D}{c \cdot \cos \theta} \cdot \left(1 \pm \frac{v \cdot \sin \theta}{c} \right) + t_{CT1,2} + t_{ЗВ1,2}, \quad (2.16)$$

T_1 - повний час поширення УЗС по потоку рідини;

T_2 - повний час поширення УЗС проти потоку рідини;

n - коефіцієнт установки ПЕА : для установки ПЕА з віддзеркаленням УЗС від стінки трубопроводу $n = 2$; для установки без віддзеркалення $n = 1$;

D - внутрішній діаметр трубопроводу;

θ, c - кут і швидкість поширення УЗС в нерухомій рідині;

v - швидкість рідини, усереднена уздовж ультразвукового променя;

$t_{CT}, t_{ЗВ}$ - додаткова затримка УЗС в стінках трубопроводу, звукопроводах

ПЕА і електронному тракті при поширенні УЗС по потоку і проти потоку рідини.

Опис функціональної схеми витратоміру

Функціональна схема витратоміру приведена на рис. 2.9.

На схемі показані наступні функціональні вузли витратоміру :

- первинний перетворювач витрати (ПП);
- вторинний вимірювальний перетворювач (ВП) зі вбудованим стабілізованим вторинним джерелом живлення (ВДЖ), що виконує функції контролера витратоміру за допомогою схеми мікропроцесорного управління (СМУ), функції вимірювального проміжного перетворювача за допомогою блоку прийому і генерації сигналу (БПГС), функції формувача електричних вихідних сигналів для інформаційного зв'язку з вторинними реєструючими приладами, засобами вимірів і автоматизації, і функції пристрою обробки, зберігання і відображення даних;
- індикатор рідкокристалічний;
- плівкова клавіатура.

БПГС працює таким чином. Після подачі пускового імпульсу START від СМУ робиться скидання тригерів ТТ2 (формувача періоду наповнення) і ТТ3 (тригера помилки), а також відбувається примусовий запуск формувача часового

вікна (ФЧВ), чим забезпечується формування першого зондуючого імпульсу за допомогою формувача потужних імпульсів (ФП). При тривалій відсутності імпульсів на виході тригера ТТ1 схема примусового запуску (СПЗ) виробляє пусковий імпульс, який встановлює тригер ТТ1 в "1" стан. Одночасно з цим відбувається установка тригера ТТ3 в "1" стан, що свідчить про несправність акустичного тракту (сигнал FAIL). При справності акустичного тракту запускається ФТВ, який через 10...12 мкс вихідним сигналом YN утримує тригер ТТ1 в "0" стані. При цьому забороняється установка тригера ТТ1 в "1" стан від формувача імпульсів (ФІ), що потрібне для захисту від перешкод. Одночасно сигнал YN з виходу ФТВ поступає на ФП. ФП формує зондуючий імпульс, який через комутатор напряму випромінювання (КМ) подається на один з ПЕА.

Номер що підключається до виходу КМ ПЕА (ПЕА1 або ПЕА2) залежить від значення потенціалу управління TEXT, що подається на КМ з регістра управління РУ (припустимо, що потенціал управління комутатором $T=0$, тоді зондуючий імпульс поступить на ПЕА1 і УЗС випромінюватиме по потоку рідини).

Після проходження через електроакустичний тракт на виході ПЕА2 (або ПЕА1 - при випромінюванні проти потоку рідини) сигнал має форму радіоімпульсу. Після посилення підсилювачем (П), ФІ перетворить його в пачку імпульсів, першим з яких тригер ТТ1 встановлюється в "1" стан. Таким чином відбувається регенерація імпульсу YN у кожному такті випромінювання сигналу по або проти потоку рідини.

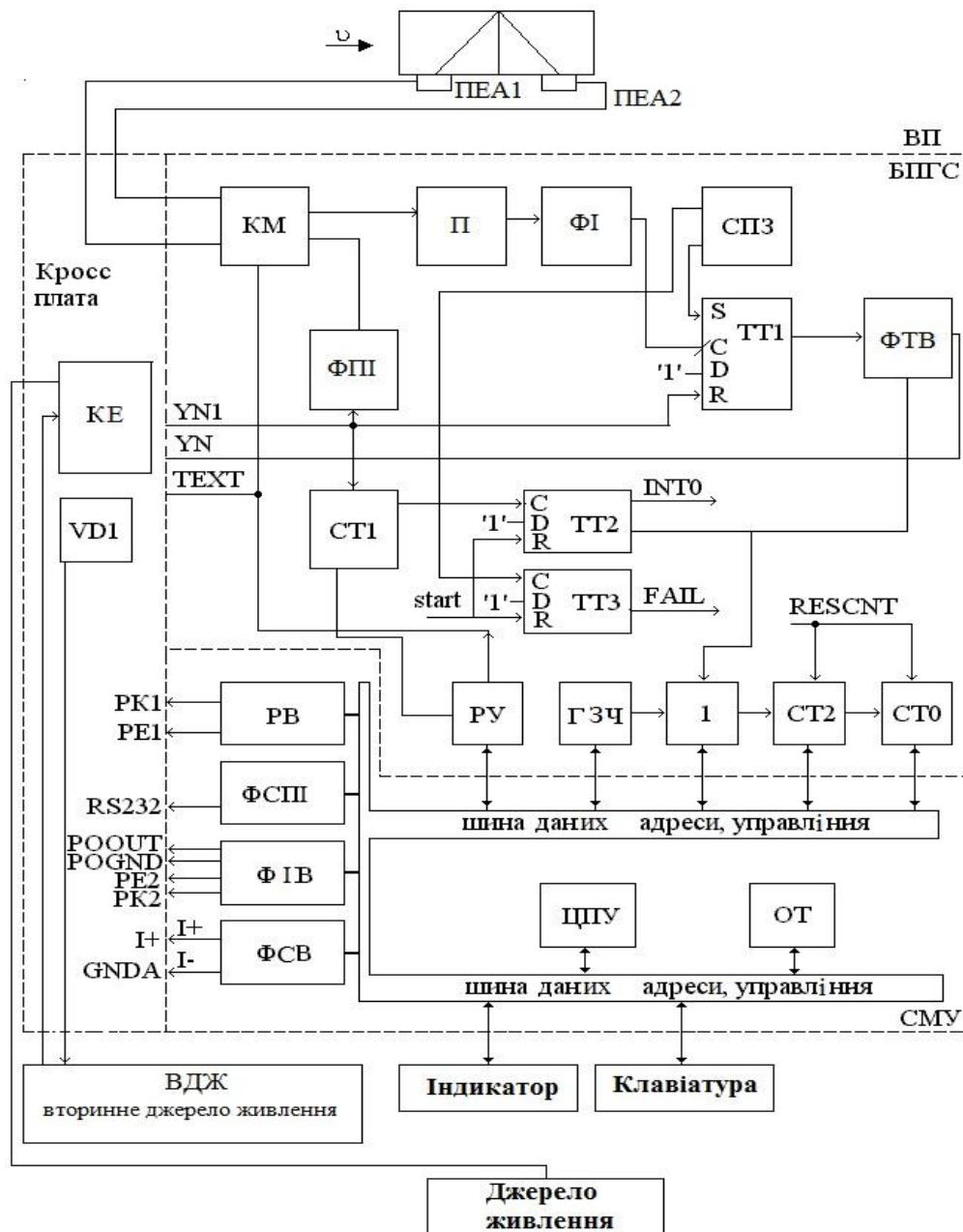


Рис. 2.9. Функціональна схема витратоміру

Під дією імпульсів Y_N відбувається заповнення лічильника $CT1$ і у момент його переповнювання тригер $TT2$ встановлюється в "1" стан і закінчується цикл виміру по цьому напрямку тривалістю, наприклад, T_{n1} - по напрямку потоку (тоді T_{n2} - проти напрямку потоку). При цьому формується сигнал переривання $INT0$.

Значення T_{n1} (T_{n2}) пропорційні; часу поширення сигналу в електроакустичному тракті $T1$ ($T2$):

$$T_{n1} = N \cdot T1$$

(2.17)

де N - коефіцієнт накопичення (визначуваний лічильником $CT1$).

Тривалість інтервалів T_{n1} та T_{n2} вимірюються шляхом заповнення їх імпульсами з генератора зразкової частоти (ГЗЧ). Код, пропорційний тривалості T_{n1} (T_{n2}), формується в лічильниках СТ0 та СТ2. Отримані коди прочитуються СМУ по сигналу переривання INTO, після чого СМУ формується сигнал початкової установки RESCNT для установки СТ0 та СТ2 у початковий стан.

Для автоматичного перезапуску СМУ (після збоїв, зависань, пропажі живлячої напруги і так далі) передбачена схема охоронного таймера (ОТ).

СМУ здійснює обробку результатів виміру, і обчислення (по значеннях інтервалів часу по обох напрямках T_{n1} та T_{n2}) вимірюваної витрати рідини Q :

$$Q = S_{III} \cdot (T_{n1} - T_{n2}), \text{ м}^3 / \text{год},$$

(2.18)

де S_{III} - коефіцієнт перетворення витратоміру, $\text{м}^3/(\text{мкс} \cdot \text{год})$.

При градуюванні витратоміру на перевірочній установці методом пропуску рідини через ПП цей коефіцієнт визначається за методикою перевірки порівнянням результатів виміру витрати зразковим пристроєм і градуйованим витратоміром.

При непрямому градуюванні методом виміру параметрів ПП і потоку рідини в трубопроводі, залежно від типу ПЕА (накладний або врізаний), цей коефіцієнт обчислюється програмою витратоміру.

Параметри первинного перетворювача витрати і інші градуювальні коефіцієнти вводяться у витратомір з клавіатури і запам'ятовуються в незалежному пристрої, що запам'ятовує. Введення вказаних коефіцієнтів здійснюється оператором у відповідних режимах (меню) в процесі градуювання витратоміру.

Об'єм рідини V за інтервал часу T розраховується по формулі 2.19:

$$V = \int_0^T Q(t) dt$$

(2.19)

Формувач імпульсних виходів (ФІВ) служить для перетворення результату виміру в імпульсні сигнали.

Формувач струмового виходу (ФСВ) призначений для перетворення результатів виміру в уніфікований струмовий сигнал (I+, I-).

Формувач сигналів послідовного інтерфейсу (ФСП) призначений для перетворення сигналів в рівні інтерфейсів RS232 та RS485.

Релейний вихід (РВ) призначений для комутації зовнішнього ланцюга сигналізації постійного струму.

2.5. Розрахунок похибок показань витратоміра

Джерела похибок

Є ряд причин, які можуть викликати появу похибок показань в ультразвукових витратомірах. Основними серед них є [6]:

- залежність показань від профілю швидкостей або числа Рейнольдса Re ;
- зміна швидкості поширення ультразвуку в середовищі внаслідок зміни її параметрів – тиску і температури, а також і її концентрації;
- вплив реверберації – багаторазового відбиття ультразвукового променя;
- похибки, що вносяться електронною вимірювально-перетворювальною схемою.

У двопроменевих приладах, крім того, можуть виникати похибки через неоднаковість обох електронно-акустичних каналів витратоміра. З іншого боку, і в однопроменевих приладах, що працюють з почерговим випромінюванням, можливі похибки через акустичної не симетрії умов проходження ультразвуку по потоку і проти нього.

Залежність показань ультразвукових витратомірів від числа Re є наслідком того, що ці прилади вимірюють не середню швидкість потоку по перетину труби, а середню швидкість по лінії ультразвукового променя. Останній спрямовується або паралельно осі труби, або під кутом до неї. У першому випадку вимірюється місцева швидкість, що збігається з траєкторією руху ультразвукового променя; так, якщо останній рухається по осі труби, то і вимірюватиметься буде осьова швидкість рідини. Співвідношення між середньою V_c і осевою V_{max} швидкостями залежить від числа Re .

При ламінарному русі $\frac{V_c}{V_{\max}} = 0,5$ при турбулентному русі це відношення зростає зі зростанням Re $\frac{V_c}{V_{\max}} = 0,77$ (при $Re = 5 \cdot 10^3$), $\frac{V_c}{V_{\max}} = 0,87$ (при $Re = 5 \cdot 10^6$).

У разі направлення ультразвукового променя під кутом до осі труби буде вимірюватися вже не місцева швидкість потоку, а швидкість V_D , осереднена по діаметру труби, причому співвідношення між V_D і середньою швидкістю по перетину v_C не залежить від кута нахилу променя, а визначається тільки числом Re . При ламінарному русі $\frac{V_c}{V_D} = 0,75$. При турбулентному русі зв'язок між V_c і V_D визначається рівнянням:

$$\frac{V_c}{V_D} = 1 + 0,442\sqrt{\lambda}, \quad (2.20)$$

де λ - коефіцієнт опору труби.

Для гладких труб:

$$\lambda = 0,0032 + 0,221 \cdot Re^{-0,237} \quad (2.21)$$

З цього рівняння отримаємо $\frac{V_c}{V_D} = 0,925$ при $Re = 5 \cdot 10^3$ і $\frac{V_c}{V_D} = 0,961$ при $Re = 5 \cdot 10^6$.

Таким чином, для витратоміра з ультразвуковим променем, які перетинають потік під деяким кутом α , поправочний коефіцієнт значно ближче до одиниці і величина його менше змінюється, ніж для витратоміра з променем, паралельним осі труби. У першому випадку при десятикратному зміні витрати в турбулентній області величина $\frac{V_c}{V_D}$ змінюється усього на $\pm 0,65\%$ від середнього значення, у другому ж випадку відповідну зміну витрати змінює $\frac{V_c}{V_{\max}}$ на $\pm 1,65\%$.

Зі сказаного випливає, що показання ультразвукових витратомірів хоча і порівняно незначні, але залежать від профілю швидкостей. Тому бажано мати прямолінійні ділянки труби до і після того місця, де встановлені п'єзоелементи.

Зміна щільності і складу середовища викликає зміну швидкості ультразвуку з в ній. Для рідин швидкість c залежить головним чином від температури t і концентрації розчину q і при невеликих коливаннях Δt і Δq змінюється лінійно:

$$C_{t,q} = c \cdot (1 + b \cdot \Delta t - a \cdot \Delta q) \quad (2.22)$$

Відносний температурний коефіцієнт b швидкості ультразвуку для більшості органічних рідин негативний і має значення $2 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3} \text{град}^{-1}$. Для води і водних розчинів залежність c від t має параболічний характер. Максимум кривої для води досягається при 74° . При невисоких температурах коефіцієнт b для води і водних розчинів позитивний і має значення $1 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^{-3} \text{град}^{-1}$. Концентраційний коефіцієнт a для водних розчинів зазвичай позитивний і має значення $0,8 \cdot 10^{-3} - 1,5 \cdot 10^{-3} \text{г/л}$. Легко бачити, що для фазового витратоміра, абсолютна похибка від зміни температури і концентрація буде дорівнює:

$$\Delta \varphi_{t,q} = \frac{4 \cdot (b \Delta t + a \Delta q) \cdot L \omega \cdot \cos \alpha}{c^2} \cdot v, \quad (2.23)$$

а відносна похибка

$$\delta \varphi_{t,q} = 200 \cdot (b \Delta t + a \Delta q) \quad (2.24)$$

Звідси випливає, що навіть незначні коливання температури і концентрації середовища можуть дати помітну погрішність. Так, для води при $\Delta t = 5^\circ$ і $b = 2,5 \cdot 10^{-3}$ отримаємо $\delta \varphi_{t,q} = 1,25\%$. У однопроменевих фазових витратомірах коливання t і q викликають ще одна обставина, що обмежує можливості застосування таких приладів.

Навіть дуже незначні коливання t , наприклад на $1 \dots 2^\circ$, створюють такі зрушення фаз на прийомних п'єзоелементах в порівнянні з випромінюють п'єзоелементами, які виходять за межі робочої характеристики фазового детектора. У цьому випадку виходом з положення є використання однопроменевих приладів з вимірювальними схемами, що здійснюють безпосереднє порівняння фаз обох прийнятих коливань (по потоку і проти нього), або перехід на застосування двопробних витратомірів.

Багаторазові відбиття або реверберація ультразвукових коливань від кордонів середовища з мембранами прийомних перетворювачів можуть бути

джерелом великих похибок. Основною перешкодою є перший паразитний сигнал, що приходить на приймальний перетворювач після дворазового відображення від приймального та випромінювального вібраторів. Величина цього сигналу може досягати до 75% від величини корисного сигналу, створюваного первинним невідображуваним ультразвуковим коливанням. Похибка від реверберації досить важко оцінити кількісно. Для боротьби з реверберацією в двопробних приладах доцільно поверхні мембран прийомних п'єзоелементів зрізати під невеликим кутом до площини, перпендикулярної ультразвуковому променю. Тоді відображені імпульси підуть в сторону і повторні відображення не надходять на п'єзоелементи. З цієї ж причини перетворювачі з заломленням в значній мірі позбавлені похибок, пов'язаних з реверберацією. Похибки, що вносяться електронної вимірювальної схемою, визначаються характером і типом останньої, і для кожної схеми повинні оцінюватися самостійно.

Висновок до розділу

Дослідження схем та вузлів ультразвукових витратомірів вказує на інноваційні технології, що застосовуються при створенні інтелектуальних витратомірів. Такий витратомір має у своєму складі високоточну електроніку та інноваційні технології цифрової обробки сигналу, що забезпечує надійне і стабільне вимірювання витрати палива навіть в складних умовах польоту. Прилад не потребує спеціального налаштування, оскільки перехідні процеси не впливають на його показання.

Витратомір є компактним приладом, який легко монтується і простий в експлуатації. Його можна встановлювати у важкодоступних місцях, оскільки немає необхідності у використанні фільтрів, випрямлячів потоку, опор, ізоляції від вібрацій.

Як і будь-який представник ультразвукових витратомірів, цей прилад не має рухомих і виступаючих частин, на ньому немає додаткових втрат тиску, зносу і завихрень.

Витратомір не відноситься до класу дешевих приладів, але серед сучасних ультразвукових витратомірів його вартість порівняно невисока. При цьому слід враховувати те, що загальні витрати, пов'язані з монтажем, значно нижче в порівнянні з аналогічними витратами на монтаж масових або вихрових витратомірів.

Враховуючи все вище сказане, можна стверджувати, що ультразвуковий витратомір має високі технічні і метрологічні показники, високу надійність, і чудове поєднання ціна-якість, тобто він добре підходить для використання в якості витратоміру палива в системі вимірювання кількості палива літака.

Програма розрахунку похибок та блок-схеми алгоритму обчислення похибок наведено в Додатках 1 і 2 відповідно.

У наступному (третьому) розділі буде розглянуто моделювання електронної схеми ультразвукового витратоміра, визначення умов до підсилювача УЗ витратоміра та дослідження його роботи.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СХЕМИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРА

Вступ до розділу

Як було сказано раніше, до складу будь-якого витратоміра або лічильника входить пристрій, який безпосередньо сприймає вимірювану витрату (наприклад: діафрагма, сопло, тіло обтікання, лопатка і т.п.) і перетворює його в іншу величину (наприклад: в перепад тиску, частоту проходження вихорів, механічне зусилля і т.д.), яка зручна для вимірювання. Такий пристрій називають перетворювачем витрати [5]. Вихідний сигнал перетворювача витрати надходить на вимірювальну схему, яка перетворює його в зручну для контролю і передачі показань форму, зазвичай в електричний сигнал. Далі цей сигнал або інтегрується за часом - даючи значення, пропорційне кількості пройденій через трубопровід речовини, або, для вимірювання витрати - перетворюється у стандартний (наприклад: струм величиною 0 - 5 мА або 4 - 20 мА; частоту 0 - 1 кГц або 0 - 10 кГц) і подається на вторинний реєструючий прилад.

Розглянутий витратомір служить для вимірювання витрати палива і інших рідких середовищ, при значному перепаді температур від 12 до 80°C. Лічильний пристрій може розташовуватися окремо від перетворювача витрати або конструктивно об'єднуються з ним. В цьому випадку виходить лічильник з місцевим відліком показань.

3.1. Вхідний перетворювач сигналів

Метод роботи вхідного перетворювача заснований на амплітудній модуляції сигналу змінного струму частотою 2 кГц, при зміні величини опору між електронами [4]. Структурна схема такого пристрою наведена на рис. 3.1.

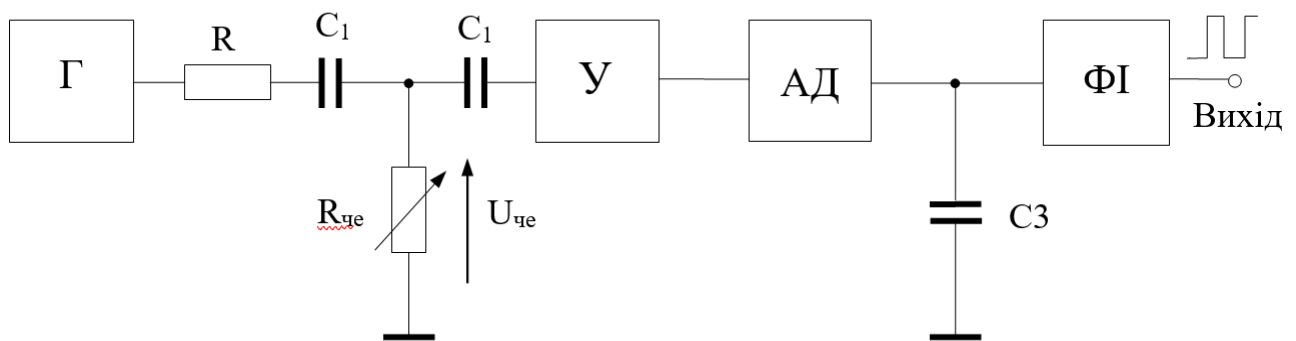


Рис. 3.1. Вхідний перетворювач з АМ

Генератор імпульсів - Г, виробляє послідовність несучих імпульсів. Частота їх, як було показано раніше, дорівнює 2 кГц. Імпульси через обмежувальний резистор R і конденсатор C1 надходять на проміжок між електродами з опором $R_{че}$. В результаті, через $R_{че}$ протікає змінний струм прямокутної форми. При зміні величини опору між електродами, змінюється амплітуда напруги $U_{че}$. Ця напруга посилюється за допомогою підсилювача У, детектується амплітудним детектором АД. Після фільтрації, на конденсаторі C3 присутня напруга, що змінюється з частотою коливаний опору $R_{че}$, тобто з частотою імпульсів. Пристрій для формування імпульсів ФІ, формує з нього імпульси, які далі нормуються і надходять на приймач і на вихідний каскад перетворювача.

3.2. Елементи електронних схем витратоміра

Розглядаючи структурну схему вхідного перетворювача витрати, можна побачити, що в його склад входять ряд пристроїв електроніки: генератори, підсилювачі, детектори, формувачі імпульсів і т.д [2].

Генератори імпульсів для вхідних перетворювачів

У схемах вхідних перетворювачів на мікросхемах велику роль відіграють різні імпульсні пристрої, найважливішим з яких є генератор змінного напруги. Їм служить генератор імпульсів з частотою близько 2 кГц. Імпульси прямокутної форми, через розділовий конденсатор надходять на електроди чутливого елемента. До генераторів для вхідних перетворювачів, як правило, не висувається особливих вимог по стабільності частоти. Головна вимога - це надійність і легкий запуск.

Генератори для пристроїв з батарейним живленням можуть будуватися на основі спеціалізованих мікросхем, наприклад К561АГ1. Генераторна частина таких мікросхем, що працює в лінійному режимі при повільно-мінливих потенціалах, будується на основі елементів без звичайних потужних вихідних каскадів, що істотно знижує споживання струму. Крім того, істотна економія споживаної потужності може бути досягнута, шляхом застосування генераторів, що виробляють імпульси великої шпаруватості (рос. "скажності"). При цьому, навантаження живиться вузькими імпульсами напруги, тривалість яких в 30 - 50 разів менше, ніж період їх проходження. В результаті, середній струм, споживаний навантаженням (чутливим елементом), значно знижується. Крім того, послідовно з навантаженням можна включати додатковий резистор, що обмежує величину споживаного нею струму. Всі ці заходи, дозволяють досить суттєво знизити потужність, споживану вхідним перетворювачем. Всі вище зазначені заходи призводять до необхідності компенсувати зниження чутливості за рахунок посилення сигналу, що з нього знімається. Але підсилювач може бути досить економічним пристроєм, тому в цілому, схема може бути досить перспективною.

На рис. 3.2 наведена схема генератора імпульсів великої шпаруватості на основі мікросхеми зведеного чекаючого К561АГ1.

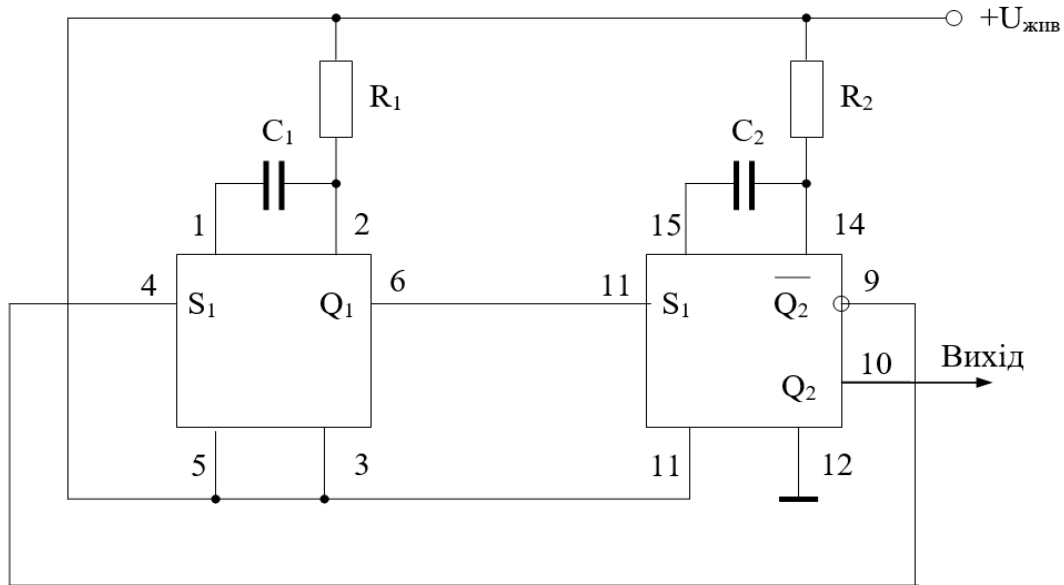


Рис. 3.2. Генератор імпульсів на зведеному одновібраторі

Елементи R_1 і C_1 визначають тривалість паузи між імпульсами, а елементи R_2 і C_2 - тривалість самого імпульсу. Для вхідних перетворювачів приймають:

$$R_1 \cdot C_1 \geq 5 \cdot R_2 \cdot C_2 \quad (3.1)$$

При моделюванні схеми використовуємо стандартний генератор імпульсів, який є в бібліотеці елементів програми Design Centr 8, задавши йому параметри, аналогічні реальному генератору. Частота генератора 2 кГц, мінімальна напруга 0 В, максимальна напруга 3 В, тривалість імпульсу 0,05 мс, період повторення 0,5 мс.

Щоб змоделювати сигнал, який згодом надходить на підсилювач, була розроблена математична модель імпульсного джерела, зображеного на рис. 3.3, який генерує імпульси, які за формою і амплітудою схожі на реальні імпульси.

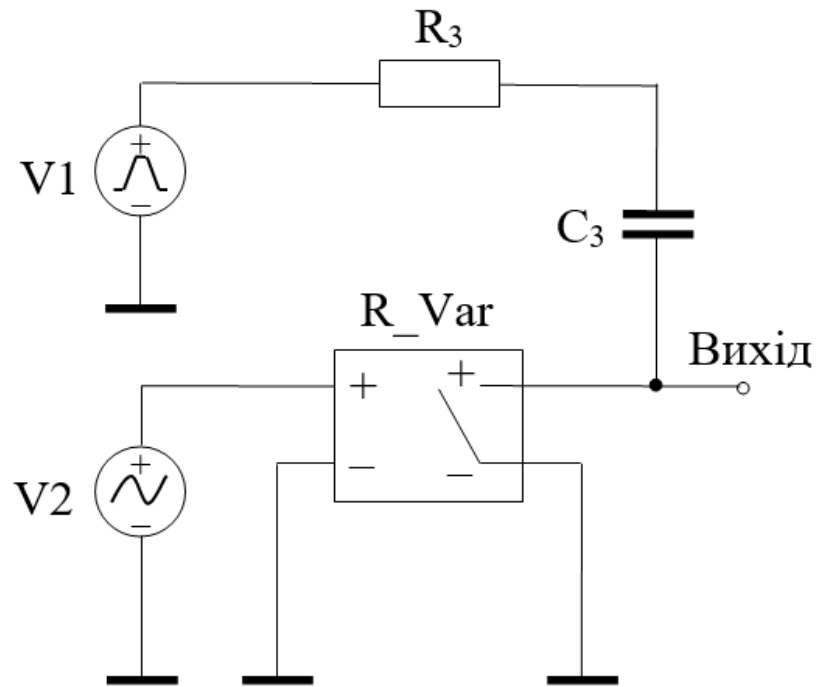


Рис. 3.3. Модель імпульсного джерела

Елемент V1 - це імпульсне джерело струму (рис. 3.4), V2 - синусоїдальне джерело напруги (рис. 3.5), яке керує роботою ключем R_Var, з амплітудою 0,5 В і частотою 50 Гц, $R_3 = 10 \text{ кОм}$, $C_3 = 250 \text{ нФ}$, R_Var – ключ, керований напругою, напруга замикаання ключа $U_{замк} = 0 \text{ В}$, напруга розмикаання ключа $U_{розім} = 2 \text{ В}$, опір замкнутого ключа $R_{замк} = 100 \text{ Ом}$, опір розімкнутого ключа $R_{розім} = 0 \text{ Ом}$.

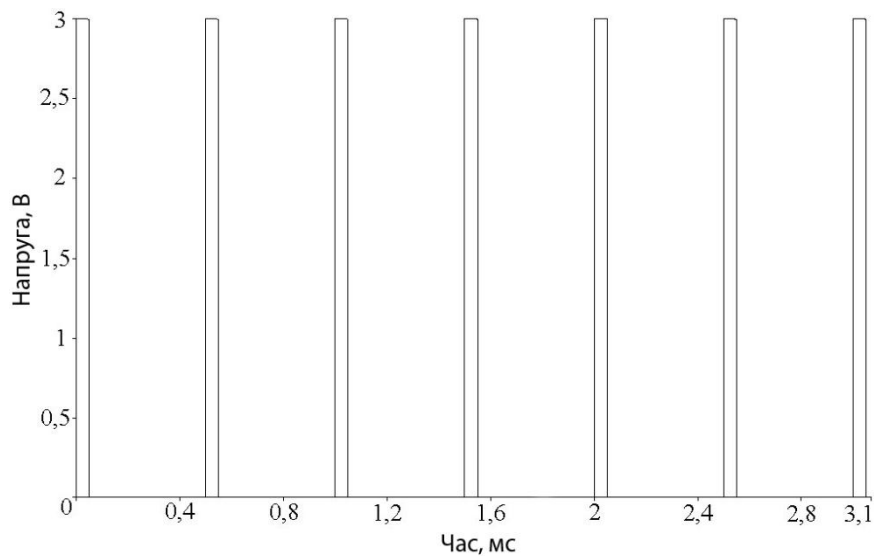


Рис. 3.4. Сигнал на виході джерела V1

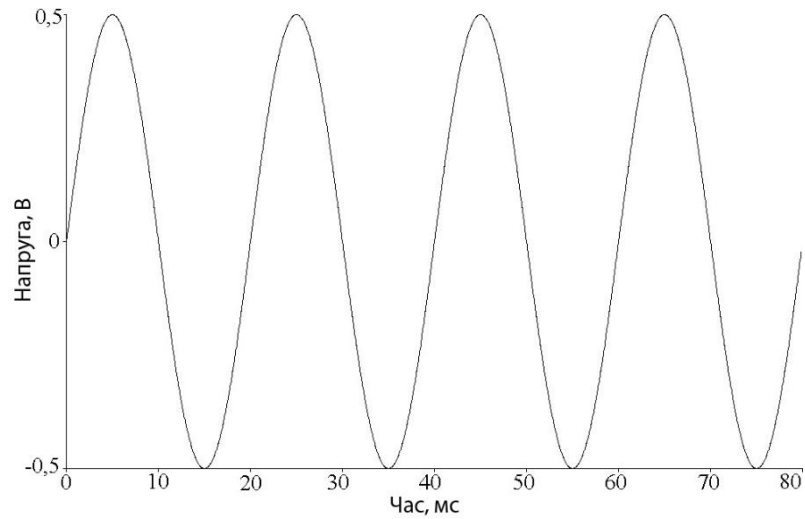


Рис. 3.5. Сигнал на виході джерела V2

Ключ R_Var працює наступним чином: на ключ подається керуюча напруга з джерела V2 $U_{кер}$, якщо напруга на вході ключа менше ніж напруга замикання $U_{кер} < U_{замк}$ то ключ замкнений, а при керуючій напрузі більшій ніж напруга розмикання $U_{кер} > U_{розім}$, ключ - розімкнутий. На інтервалі $U_{замк} < U_{кер} < U_{розім}$ опір ключа плавно змінюється від $R_{розім}$ до $R_{замк}$. На рис. 3.6 показаний сигнал на виході джерела.

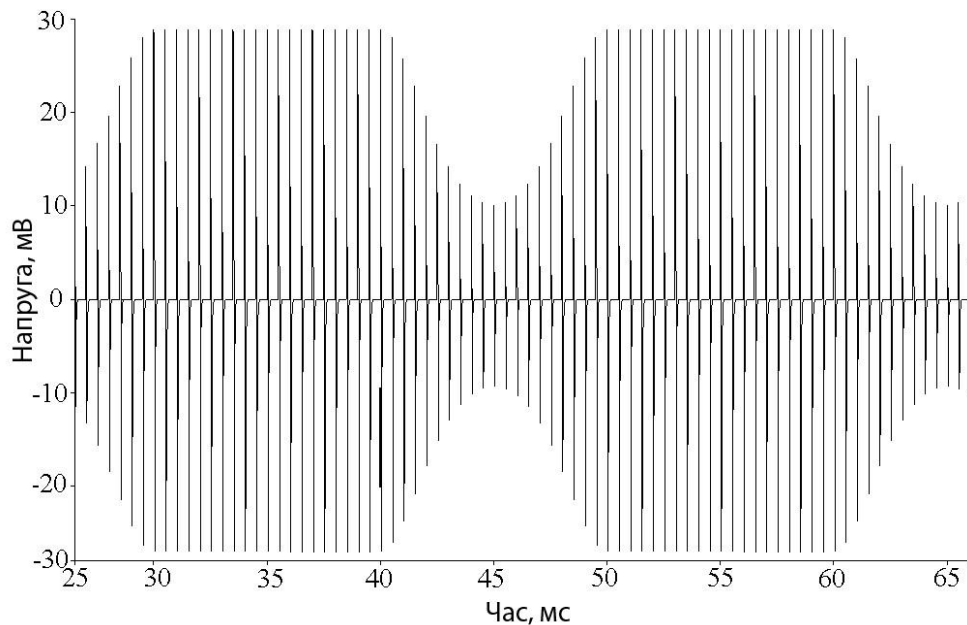


Рис. 3.6. Сигнал на виході джерела

Підсилювачі сигналу для вхідних перетворювачів

Змінна напруга, модульована по амплітуді коливаннями гнучкого електрода, має бути попередньо посилена перед детектуванням. Це необхідно для забезпечення достатньої чутливості перетворювача, яка дозволяє вимірювати малі витрати рідини (у нашому випадку – палива ПС). Крім того, необхідний деякий запас щодо посилення в вимірювальному тракті, оскільки, зміни об'ємного опору вимірюваного середовища можуть привести до зниження сигналу, що знімається з приймача.

Основними вимогами до підсилювача є:

- високе посилення при малих напругах живлення;
- малий струм;
- висока термостабільність;
- простота схеми, яка полягає в мінімізації кількості елементів.

Підсилювачі на транзисторах, виконані за звичайною схемою, яка включає в себе базові резистори і елементи температурної стабілізації каскаду, а також містять багато елементів і мають невисоку температурну стабільність при малих напругах харчування. Для отримання напруги бази, що забезпечує потрібний струм колектора, можна використовувати узгоджені транзистори. При цьому буде забезпечена автоматична температурна компенсація. Крім того, така схема містить мало деталей. Схема підсилювача, виконаного на парі узгоджених транзисторів, приведена рис. 3.7.

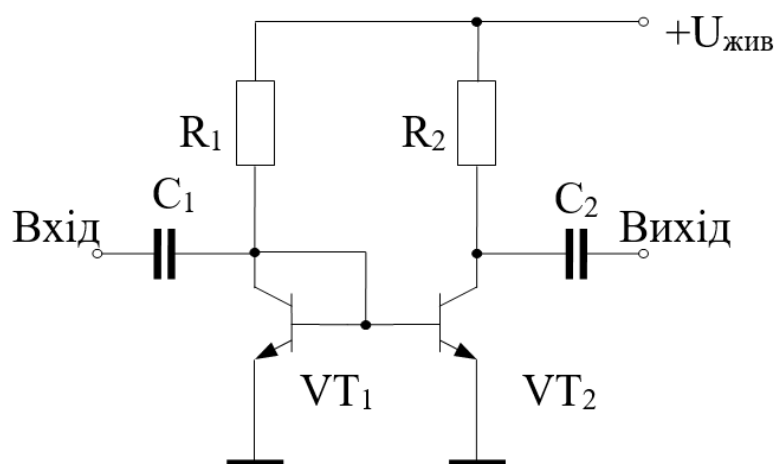


Рис. 3.7. Модель підсилювача для вхідного перетворювача

Враховуючи умови, що висуваються до підсилювача, необхідно провести дослідження його роботи при зміні тих чи інших параметрів. Мною було проведено дослідження роботи підсилювача (рис. 3.7) за наступними пунктами:

- 1) вплив зовнішньої температури на коефіцієнт підсилення;
- 2) залежність коефіцієнта посилення від напруги живлення;
- 3) вплив розкиду параметрів резисторів R_1 і R_2 .

Для дослідження підсилювача була розроблена схема, показана на рис. 3.8.

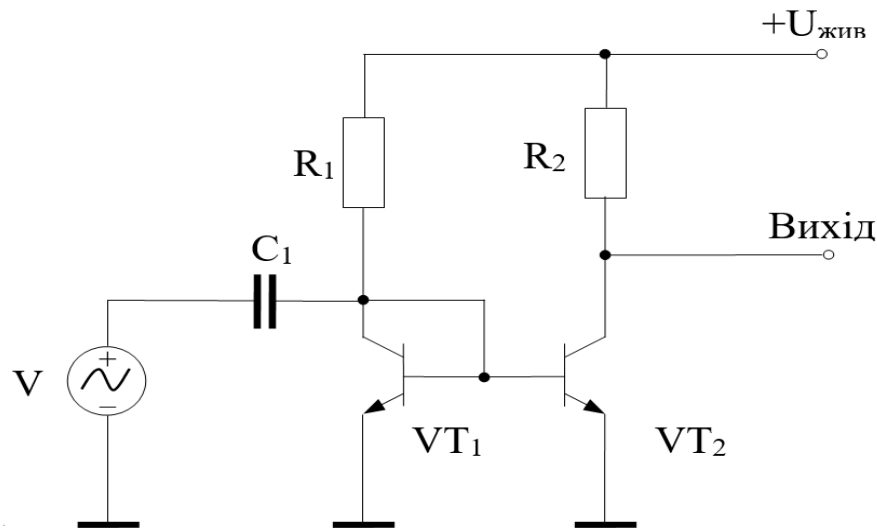


Рис. 3.8. Схема для дослідження роботи підсилювача для вхідного перетворювача при різних умовах

Живлення цього підсилювача здійснюється від гальванічних батарей напругою 3 В. Для дослідження схеми в якості джерела вхідного сигналу було взято джерело синусоїдальної напруги V , амплітуда напруги 1 мВ. Початкові умови роботи схеми: температура навколишнього середовища 27°C ; опір резисторів R_1 і R_2 600 кОм.

Дослідження впливу зовнішньої температури на коефіцієнт посилення

Дослідження цього режиму роботи необхідно тому, що даний підсилювач використовується в витратомірах, які служать для вимірювання витрати, а так як сам витратомір встановлюється безпосередньо на трубу, по якій протікає паливо, то розкид температур, при яких буде працювати дана схема може виявитися дуже великим. Тому необхідно знати, наскільки сильно відрізняться показання приладу при вимірюванні витрати палива в різних діапазонах температур.

Дослідження проводилося таким чином, що температура при якій працює схема змінювалася від 12 до 87°C з кроком 15°C, на вхід підсилувача подавалася синусоїдальна напруга 1 мВ.

Сигнал, що подається на вхід підсилувача, показаний на рис. 3.9. Сигнал на виході підсилувача при температурі навколишнього середовища 12°C - показаний на рис. 3.10, при температурі навколишнього середовища 27°C - показаний на рис. 3.11, при температурі навколишнього середовища 42°C - показаний на рис. 3.12, при температурі навколишнього середовища 57°C - показаний на рис. 3.13, при температурі навколишнього середовища 72°C - показаний на рис. 3.14, а при температурі навколишнього середовища 87°C - показаний на рис. 3.15.

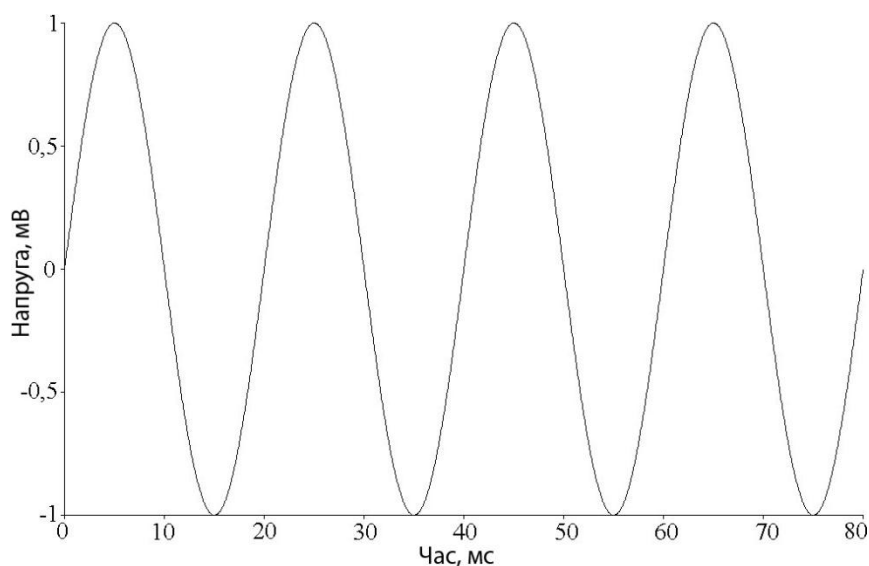


Рис. 3.9. Сигнал на вході підсилувача при температурі 27°C

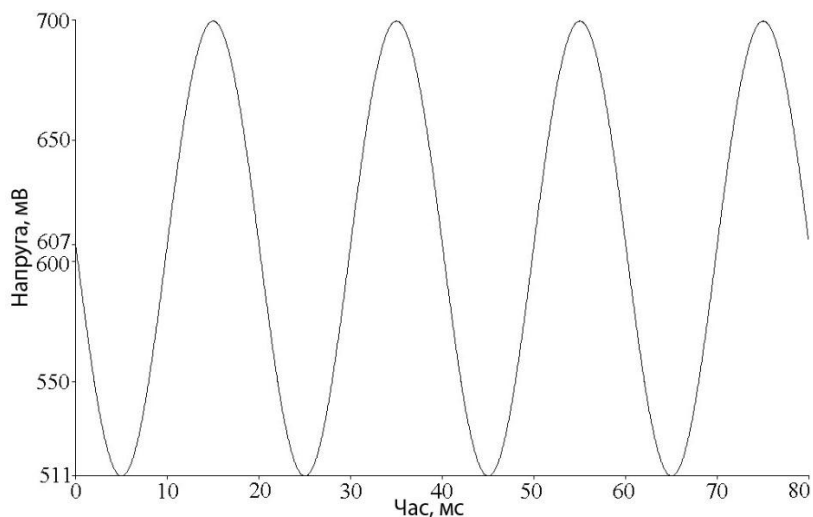


Рис. 3.10. Сигнал на вході підсилувача при температурі 12°C

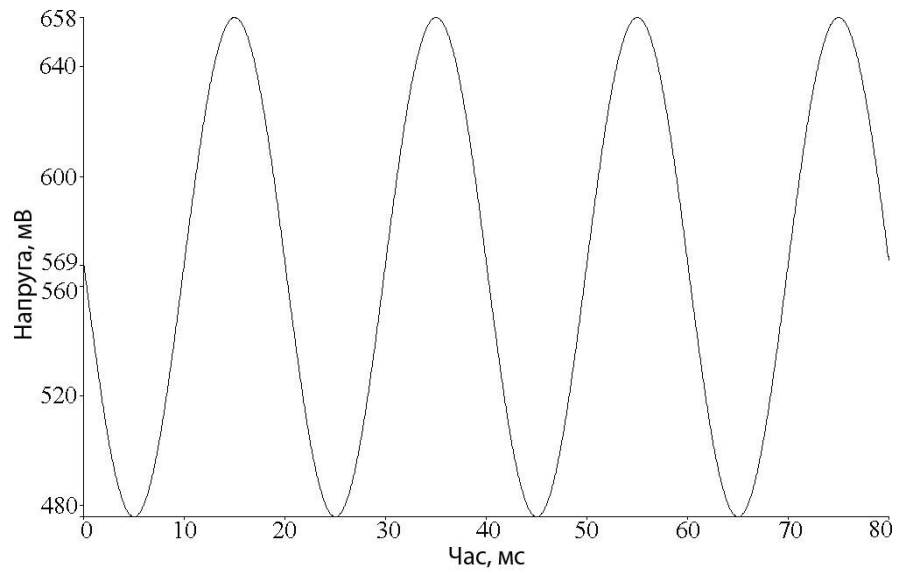


Рис. 3.11. Сигнал на виході підсилювача при температурі 27°C

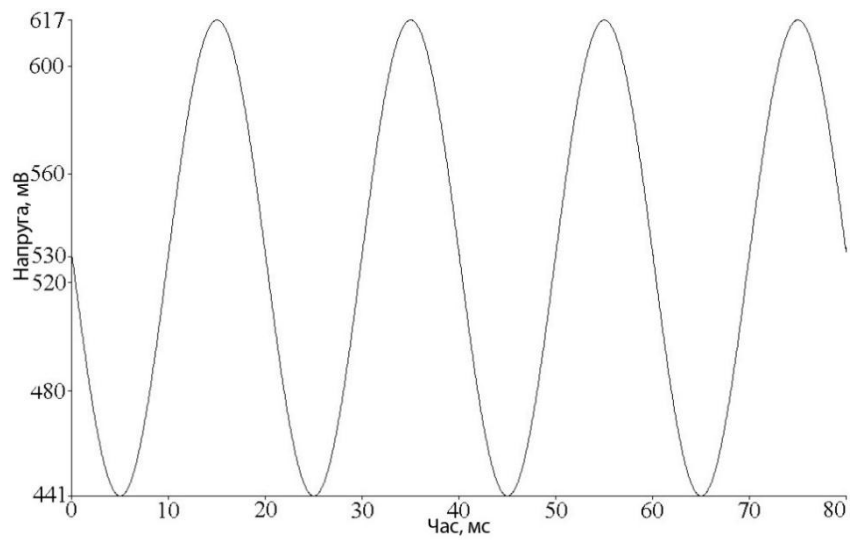


Рис. 3.12. Сигнал на виході підсилювача при температурі 42°C

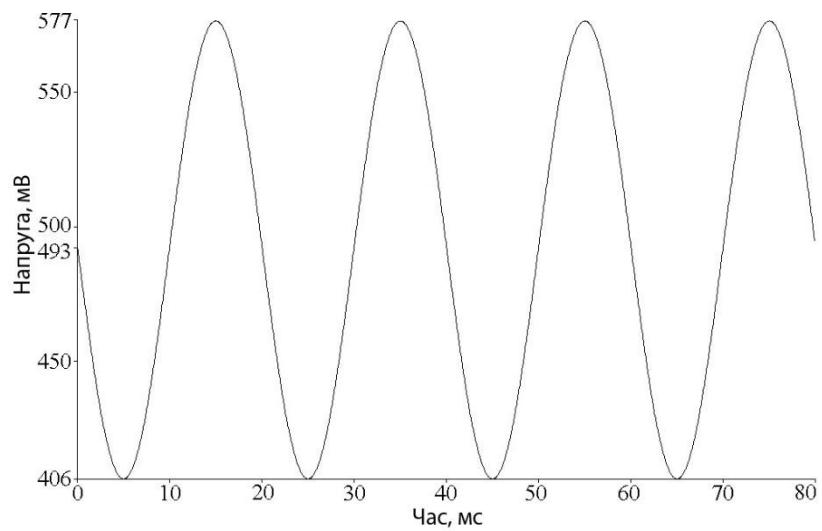


Рис. 3.13. Сигнал на виході підсилювача при температурі 57°C

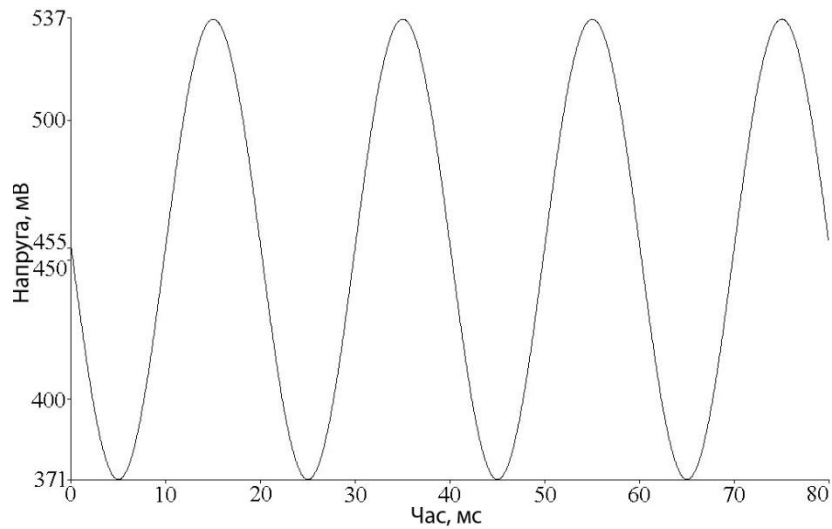


Рис. 3.14. Сигнал на виході підсилювача при температурі 72°C

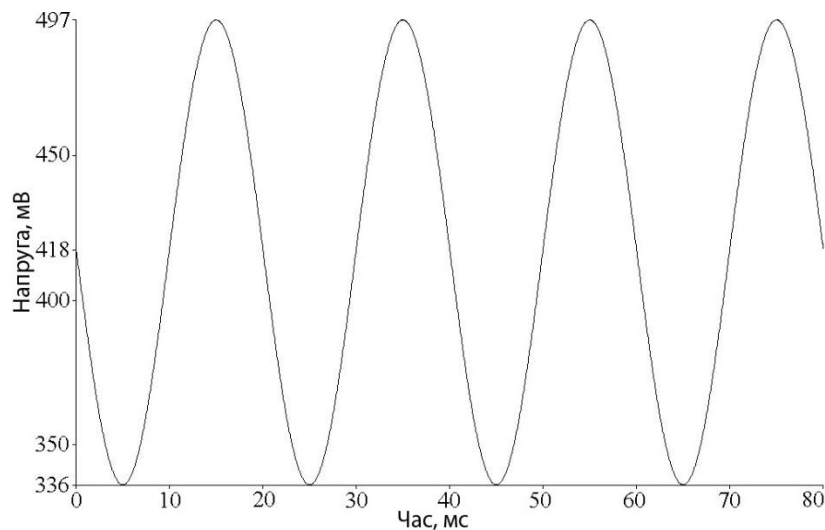


Рис. 3.15. Сигнал на виході підсилювача при температурі 87°C

Щоб з'ясувати вплив температури на коефіцієнт посилення, зведемо отримані дані в табл. 3.1 і з цієї таблиці побудуємо графік, зображений на рис. 3.16.

Вплив температури на коефіцієнт посилення

Таблиця 3.1

Температура (t), °C	Макимум, мВ	Мінімум, мВ	Коефіцієнт посилення (K)	Початкова точка, мВ
12	699,53	510,88	94,33	607
27	657,95	475,94	91,01	568,57

42	617	441,05	87,98	530,5
57	576,56	406,1	85,23	492,71
72	536,56	371,14	82,71	455,12
87	496,89	336,18	80,36	417,7

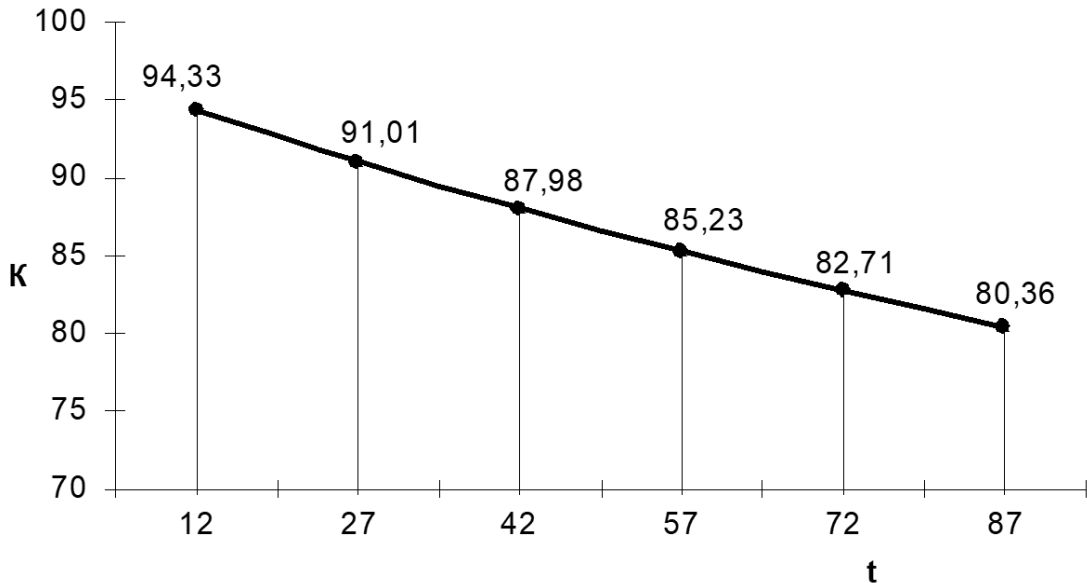


Рис. 3.16. Зміна коефіцієнту підсилення в залежності від температури

Дослідження залежності коефіцієнта посилення від величини напруги живлення.

Дослідження цього режиму роботи проводиться тому, що схема підсилювача живиться від гальванічних елементів, які з часом розряджаються, тому напругу живлення не постійна у часі.

Дослідження проводилося таким чином: напругу живлення змінювалася від номінальних 3 до 1,5 В з кроком 0,25 В, на вхід підсилювача подавалося синусоїдальна напруга 1 мВ.

Сигнал подається на вхід підсилювача, показаний на рис. 3.17. Сигнал на виході підсилювача при напрузі 1,5 В - показаний на рис. 3.18, при напрузі 1,75 В - показаний на рис. 3.19, при напрузі 2 В - показаний на рис. 3.20, при напрузі 2,25 В показаний - на рис. 3.21, при напрузі 2,5 В - показаний на рис. 3.22, при напрузі 2,75 В - показаний на рис. 3.23, а при напрузі 3 В - показаний на рис. 3.24.

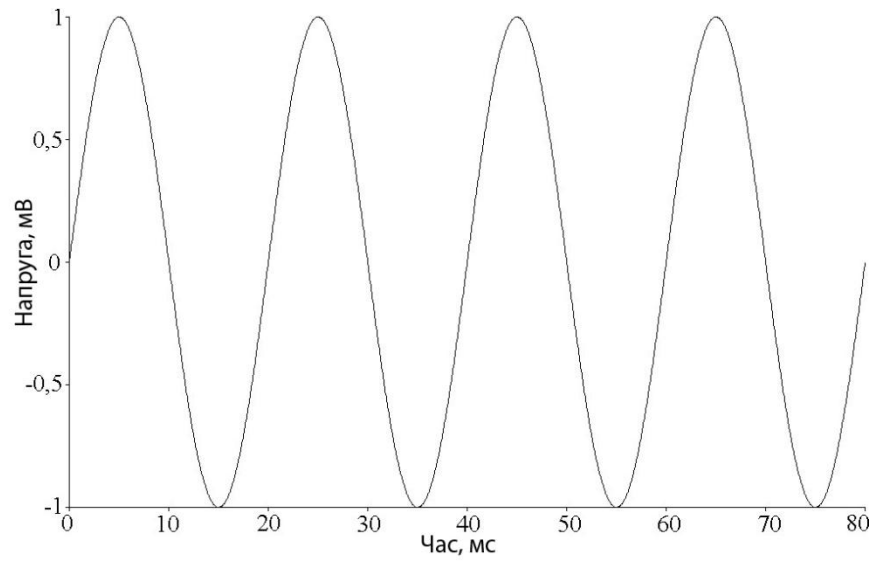


Рис. 3.17. Сигнал на вході підсилювача

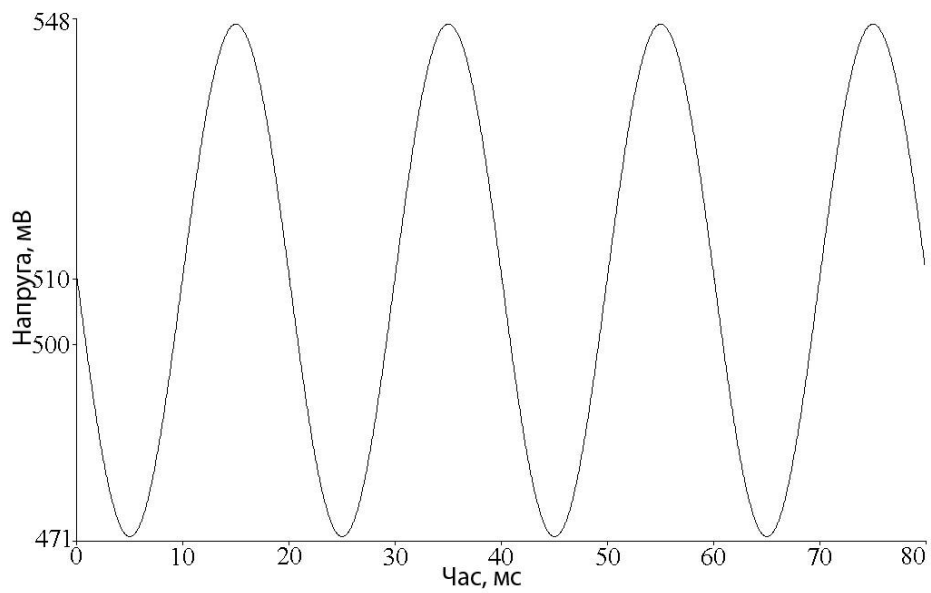


Рис. 3.18. Сигнал на виході підсилювача при напрузі живлення 1,5 В

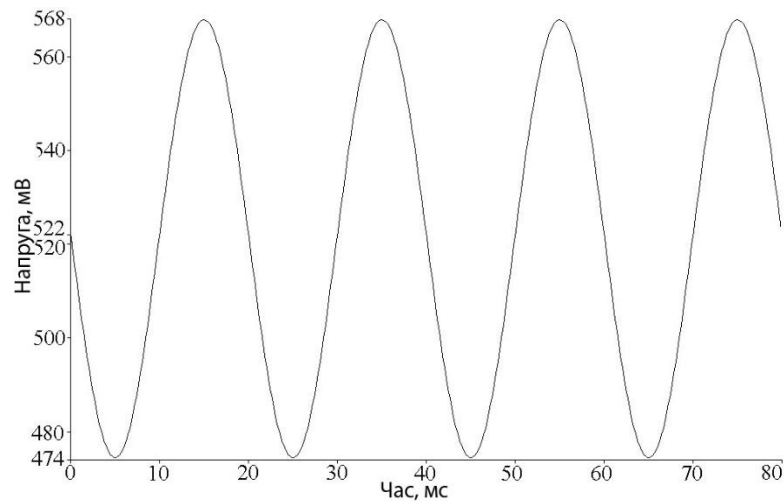


Рис. 3.19. Сигнал на виході підсилювача при напрузі живлення 1,75 В

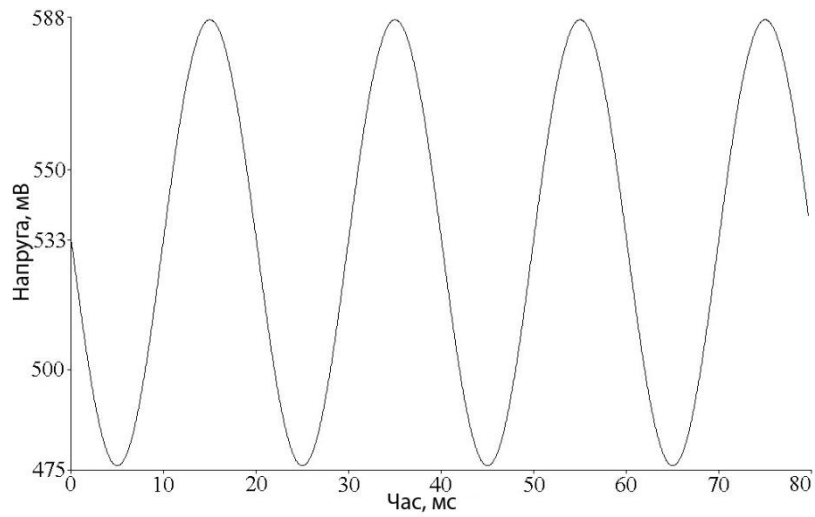


Рис. 3.20. Сигнал на виході підсилювача при напрузі живлення 2 В

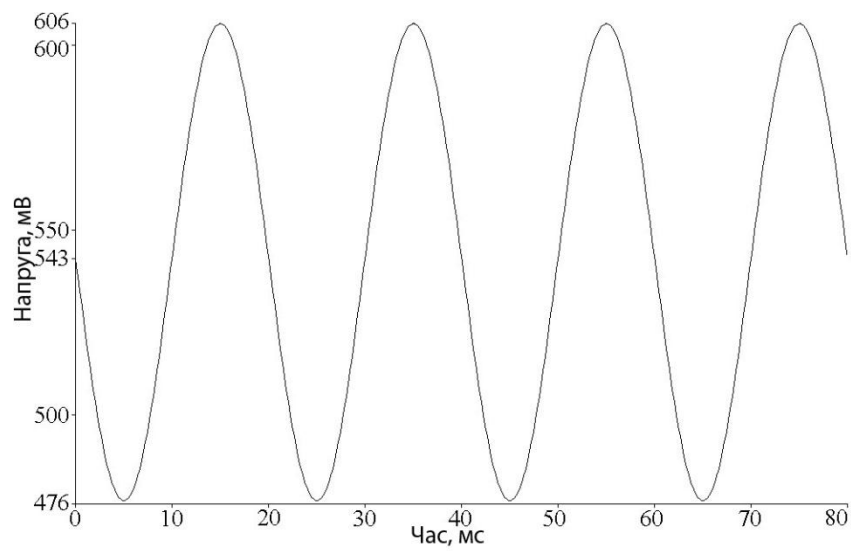


Рис. 3.21. Сигнал на виході підсилювача при напрузі живлення 2,25 В

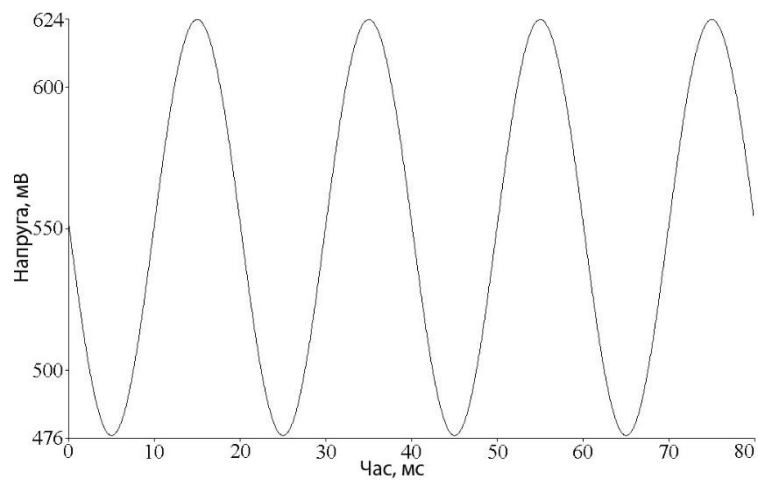


Рис. 3.22. Сигнал на виході підсилювача при напрузі живлення 2,5 В

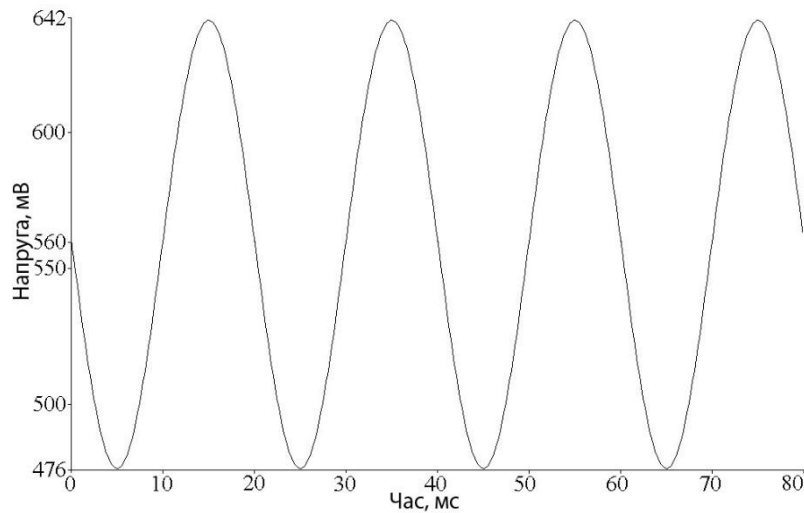


Рис. 3.23. Сигнал на виході підсилювача при напрузі живлення 2,75 В

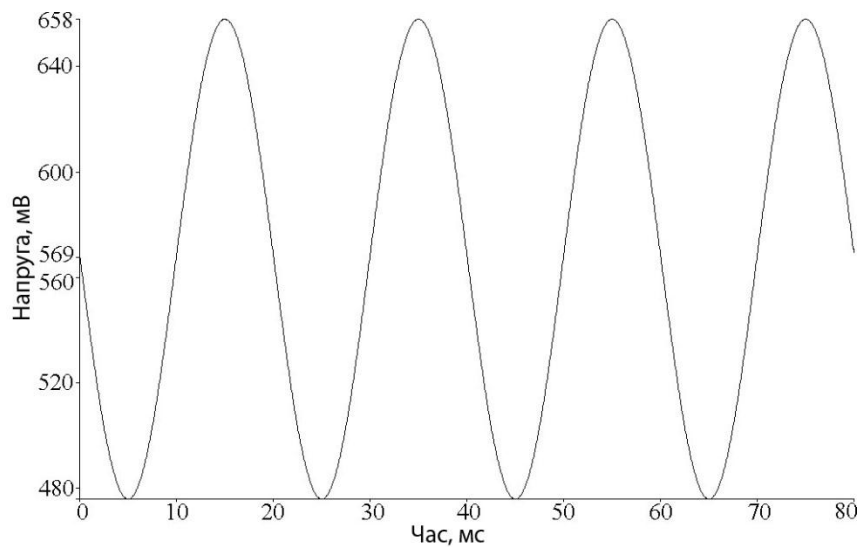


Рис. 3.24. Сигнал на виході підсилювача при напрузі живлення 3 В

Щоб з'ясувати вплив напруги елементів живлення на коефіцієнт посилення, зводимо отримані дані в табл. 3.2 і будемо графік, зображений на рис. 3.25.

Вплив напруги живлення на коефіцієнт посилення

Таблиця 3.2

Напруга живлення, В	Максимум, мВ	Мінімум, мВ	Коефіцієнт посилення (К)	Початкова точка, мВ
1,5	547,21	471,68	37,77	510,15
1,75	567,89	474,48	46,71	522,03
2	587,01	476,1	55,46	532,74
2,25	605,91	476,89	64,51	542,58
2,5	623,83	477,03	73,40	551,75
2,75	641,1	476,7	82,20	560,38

3	657,95	475,94	91,01	568,57
---	--------	--------	-------	--------

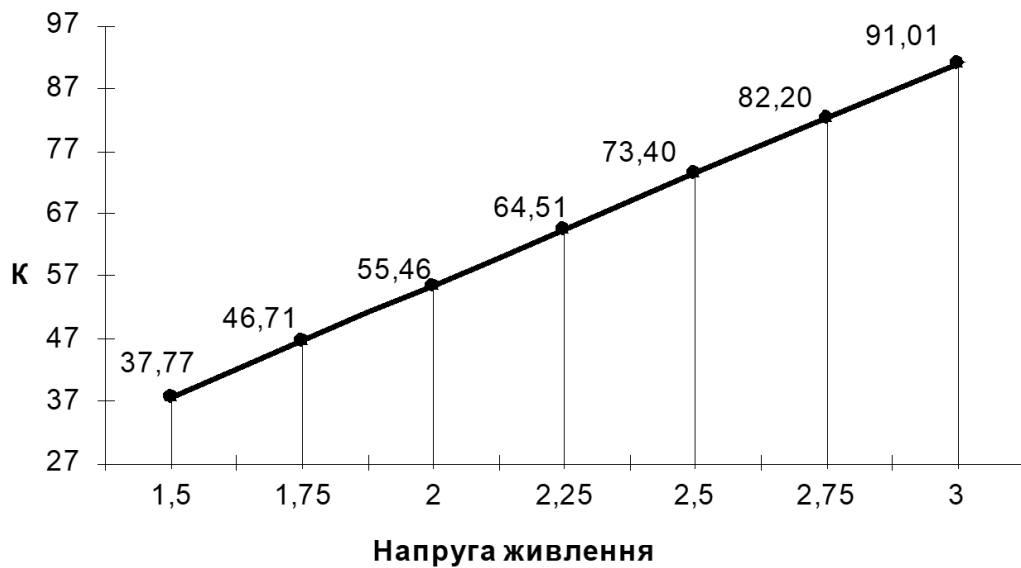


Рис. 3.25. Зміна коефіцієнту підсилення в залежності від напруги живлення

Дослідження впливу розкиду параметрів резисторів R_1 і R_2

На практиці практично неможливо знайти елементи, у яких номінальні дані відповідають дійсним, у резисторів такий розкид параметрів може досягати $\pm 5\%$. Тому необхідно перевірити як буде змінюватися коефіцієнт посилення, якщо реальні значення опорів будуть відмінні від номінальних 680 кОм.

Дослідження проводилося в чотири етапи:

- 1) змінювався опір R_1 від 714 до 646 кОм, з кроком 17 кОм;
- 2) змінювався опір R_2 від 714 до 646 кОм, з кроком 17 кОм;
- 3) змінювався опір R_2 від 646 до 714 кОм, з кроком 17 кОм, а опір R_1 від 714 до 646 кОм, з кроком 17 кОм;
- 4) змінювався опір R_1 і R_2 від 714 до 646 кОм, з кроком 17 кОм.

Сигнал, що подається на вхід підсилювача, показаний на рис. 3.26.

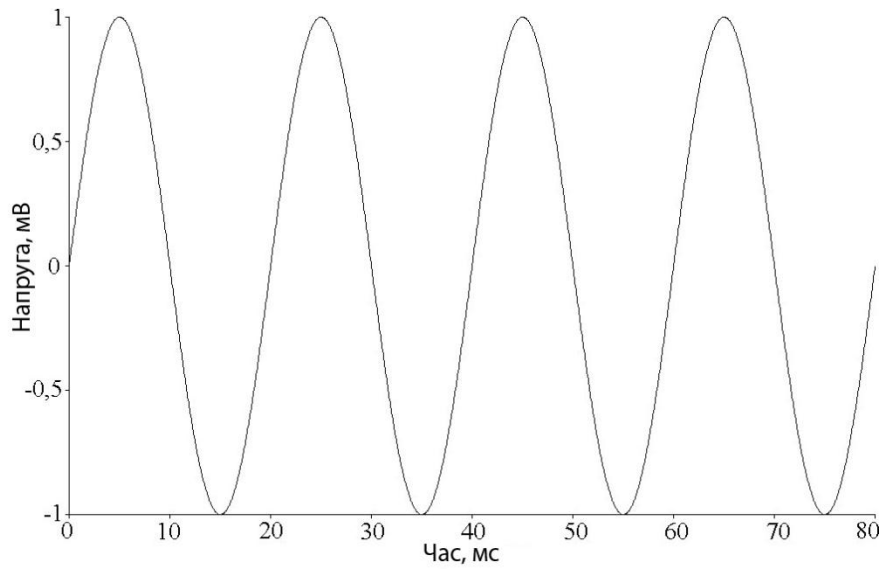


Рис. 3.26. Сигнал на виході підсилювача при напрузі живлення 3 В

Далі з рис. 3.27 по рис. 3.31 зображені сигнали, що знімаються з виходу підсилювача при різних значеннях опору резистора R_1 .

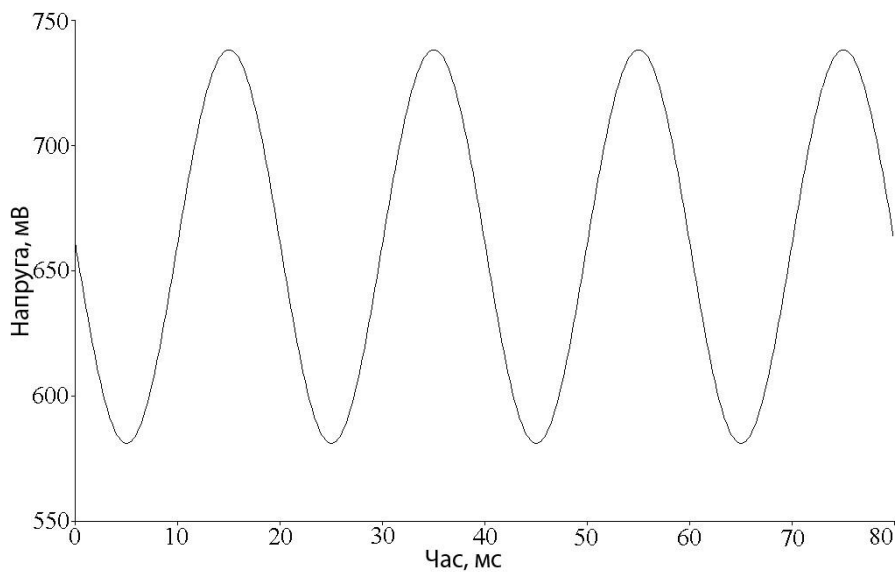


Рис. 3.27. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 714 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 680 \text{ кОм}$

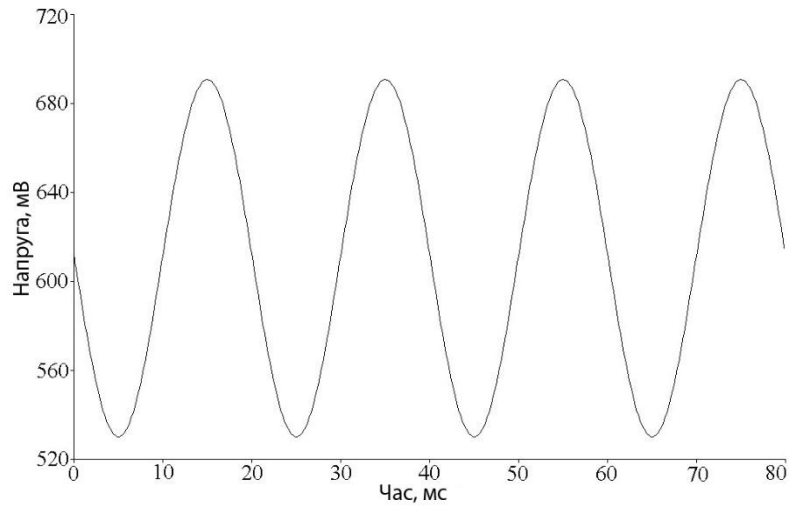


Рис. 3.28. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 697 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 680 \text{ кОм}$

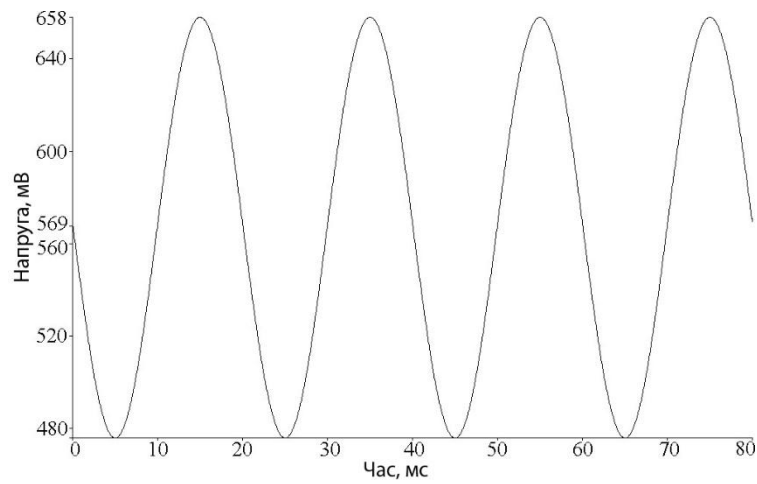


Рис. 3.29. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 680 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 680 \text{ кОм}$

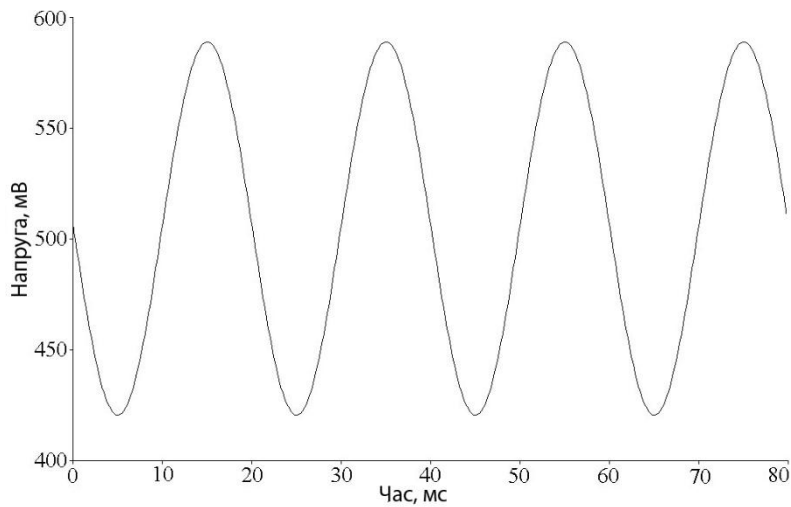


Рис. 3.30. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 663 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 680 \text{ кОм}$

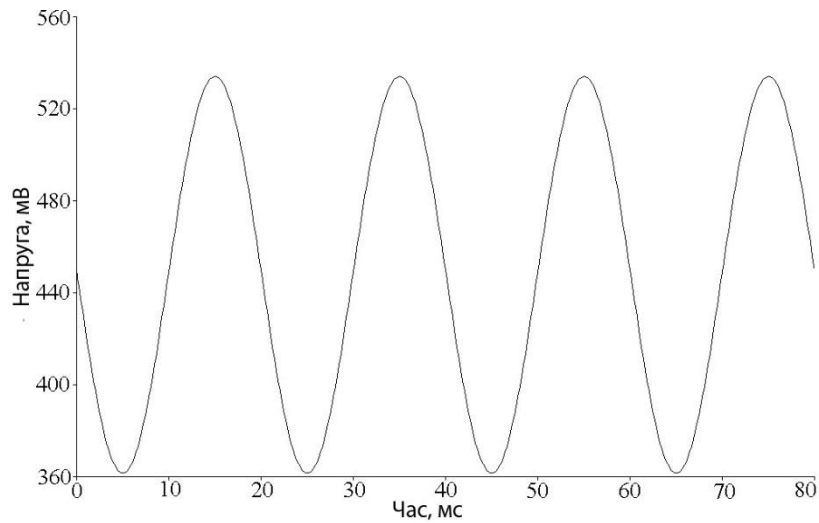


Рис. 3.31. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 646 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 680 \text{ кОм}$

Щоб з'ясувати вплив величини опору R_1 на коефіцієнт посилення, я звів отримані дані в табл. 3.3 і побудував графік, зображений на рис. 3.32.

Вплив опору резистора R_1 на коефіцієнт посилення

Таблиця 3.3

Опір R_1 , кОм	Максимум, мВ	Мінімум, мВ	Коефіцієнт підсилення (К)	Початкова точка, мВ
714	738,23	581,18	78,525	661,12
697	690,8	530,17	80,315	611,94
680	657,95	475,94	91,005	568,57
663	588,92	420,58	84,170	506,26
646	534,1	361,61	86,245	449,4

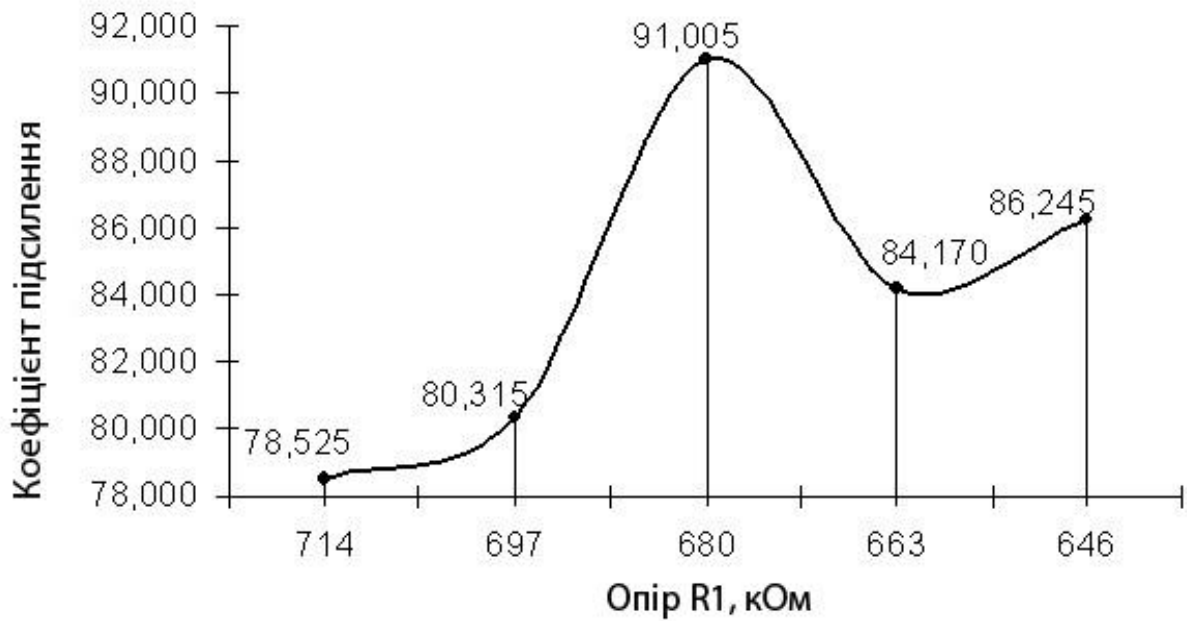


Рис. 3.32. Зміна коефіцієнту підсилення в залежності від опору R1

З рис. 3.33. по рис. 3.36 зображені сигнали, що знімаються з виходу підсилювача при різних значеннях опору резистора R_2 .

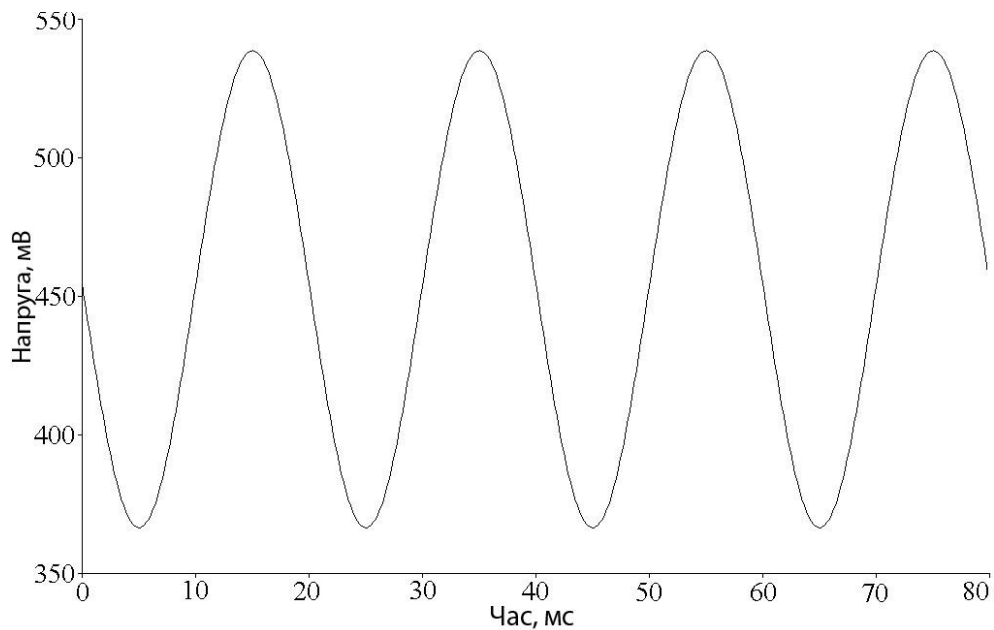


Рис. 3.33. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_2 = 714$ кОм, а резистора $R_1 = 680$ кОм

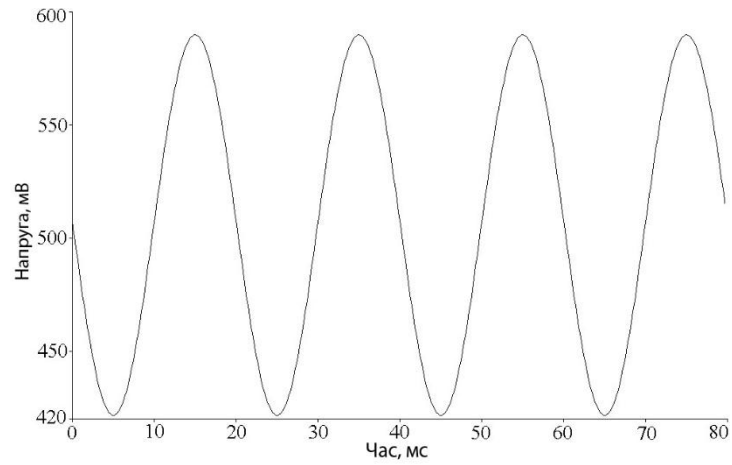


Рис. 3.34. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_2 = 697 \text{ кОм}$, а резистора $R_1 = 680 \text{ кОм}$

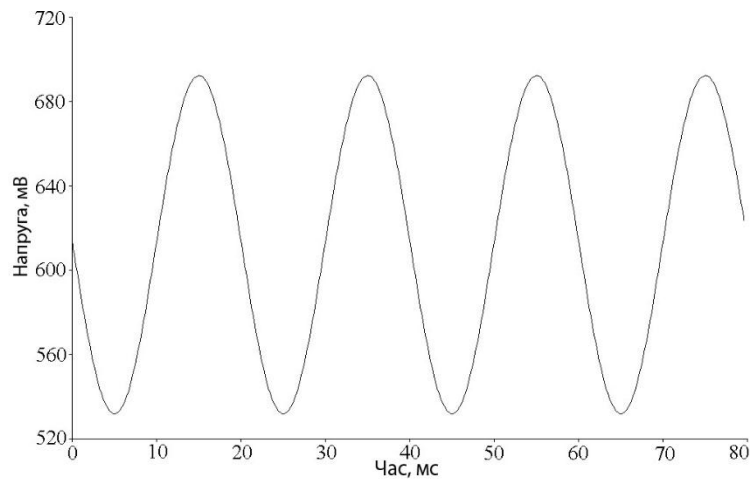


Рис. 3.35. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_2 = 663 \text{ кОм}$, а резистора $R_1 = 680 \text{ кОм}$

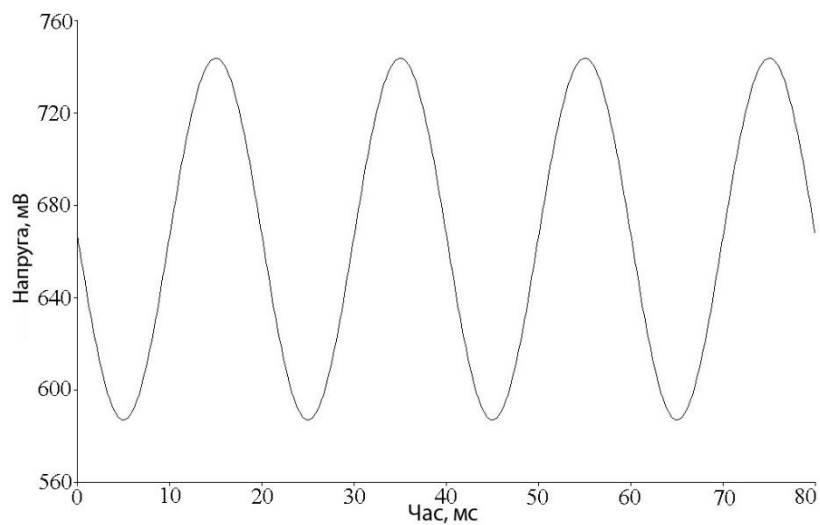


Рис. 3.36. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_2 = 646 \text{ кОм}$, а резистора $R_1 = 680 \text{ кОм}$

Щоб з'ясувати вплив величини опору R_2 на коефіцієнт посилення, я звів отримані дані в табл. 3.4 і побудував графік, зображений на рис. 3.37.

Вплив опору резистора R_2 на коефіцієнт посилення

Таблиця 3.4

Опір R_2 , кОм	Максимум, мВ	Мінімум, мВ	Коефіцієнт підсилення (К)	Початкова точка, мВ
714	538,72	366,6	86,060	454,19
697	589,87	421,6	84,135	507,3
680	657,95	475,94	91,005	568,57
663	692,4	531,9	80,250	613,6
646	743,78	587,14	78,320	666,87

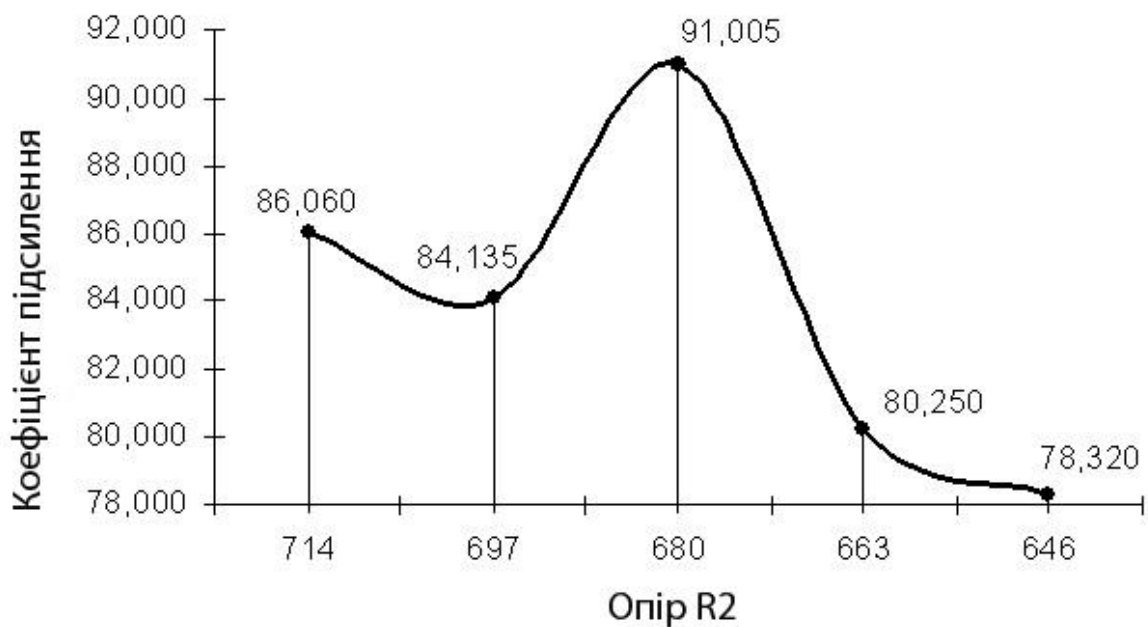


Рис. 3.37. Зміна коефіцієнту підсилення в залежності від опору R_2

Далі з рис. 3.38 по рис. 3.41 зображені сигнали, що знімаються з виходу підсилювача при різних значеннях опорів резисторів R_1 і R_2 .

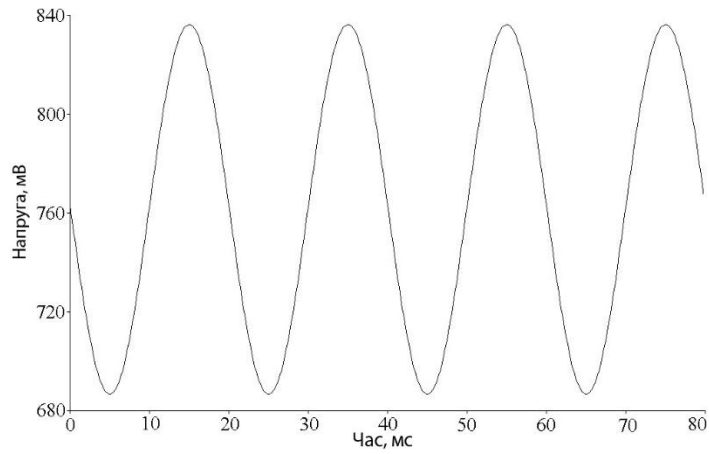


Рис. 3.38. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 714 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 646 \text{ кОм}$

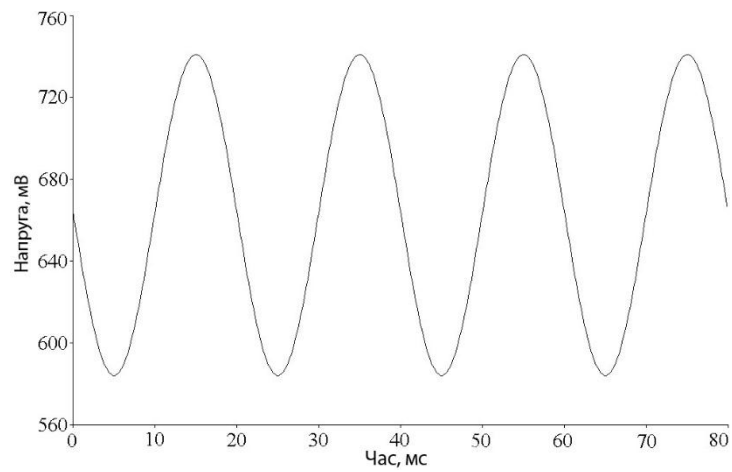


Рис. 3.39. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 697 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 663 \text{ кОм}$

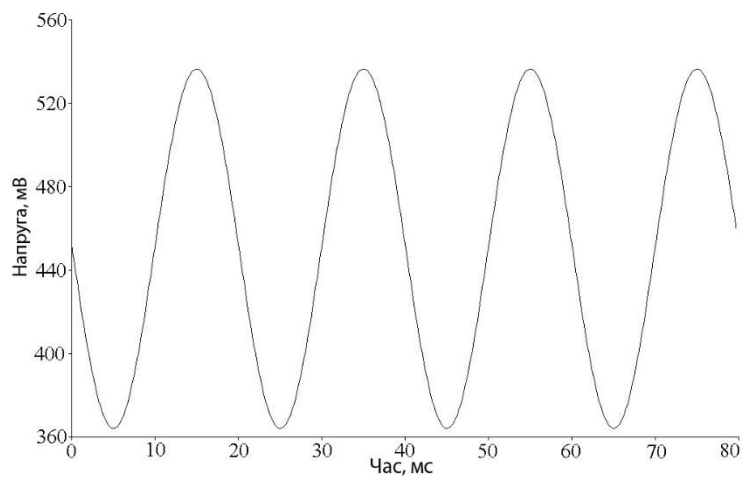


Рис. 3.40. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 663 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 697 \text{ кОм}$

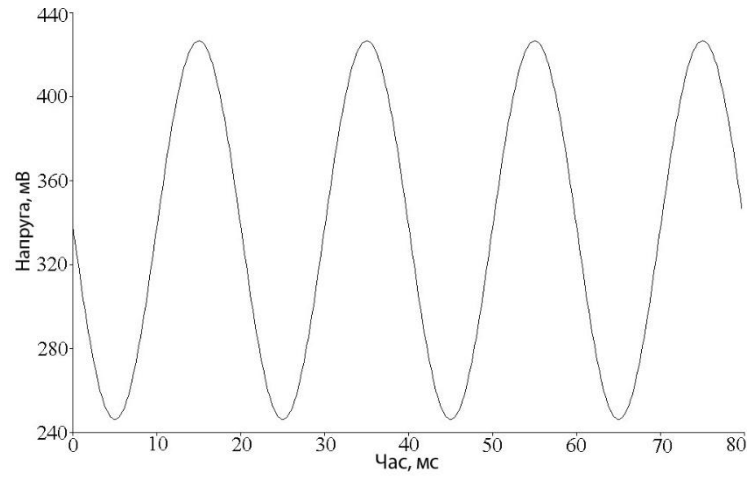


Рис. 3.41. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 646$ кОм, а резистора $R_2 = 714$ кОм

Щоб з'ясувати вплив розкиду параметрів опорів R_1 і R_2 на коефіцієнт посилення, я звів отримані дані в табл. 3.5 і побудував графік, зображений на рис. 3.42.

Вплив величини опорів резисторів R_1 і R_2 на коефіцієнт посилення

Таблиця 3.5

№ П/П	Опір R_1 , кОм	Опір R_2 , кОм	Максимум, мВ	Мінімум, мВ	Коефіцієнт посилення (К)	Початкова точка, мВ
1	714	646	836,27	686,68	74,795	762,84
2	697	663	740,94	584,09	78,425	663,93
3	680	680	657,95	475,94	91,005	568,57
4	663	697	536,47	364,17	86,150	451,86
5	646	714	426,67	246,32	90,175	338

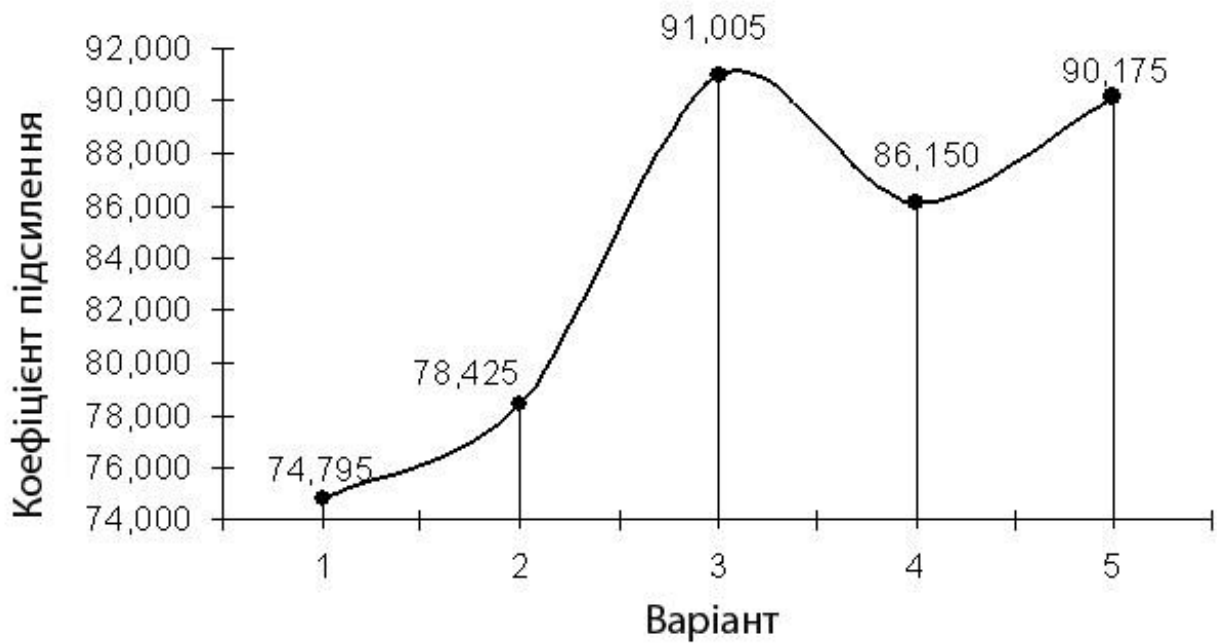


Рис. 3.42. Зміна коефіцієнту підсилення в залежності від величин опорів за таблицею 3.5

Далі з рис. 3.43 по рис. 3.46 зображені сигнали, що знімаються з виходу підсилювача при різних значення опорів резисторів $R_1 = R_2$.

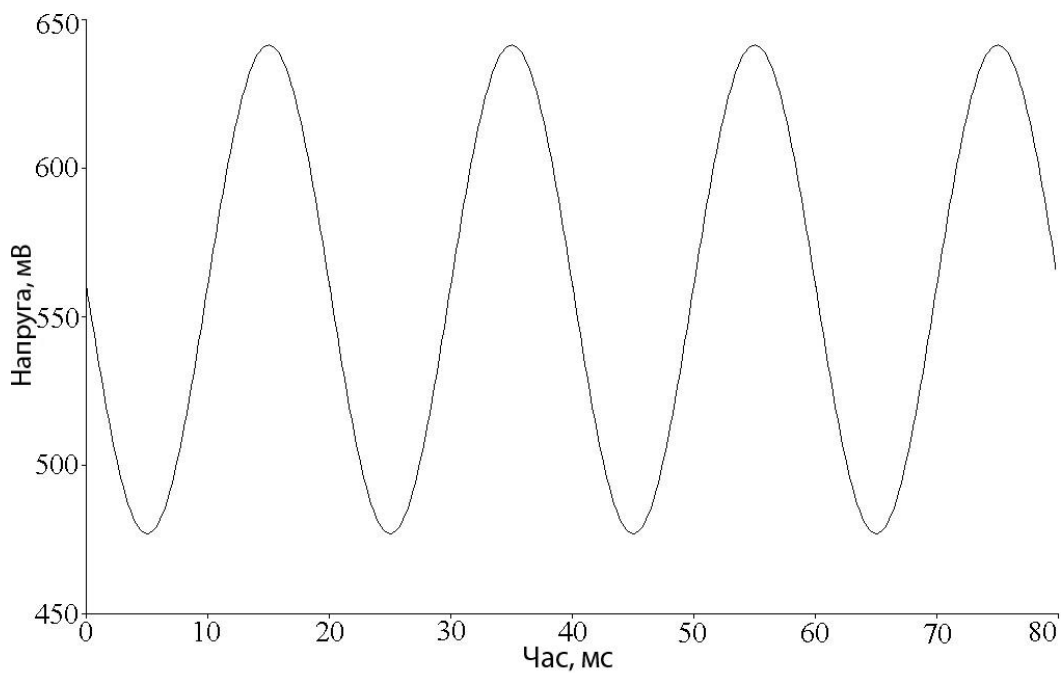


Рис. 3.43. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 714 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 714 \text{ кОм}$

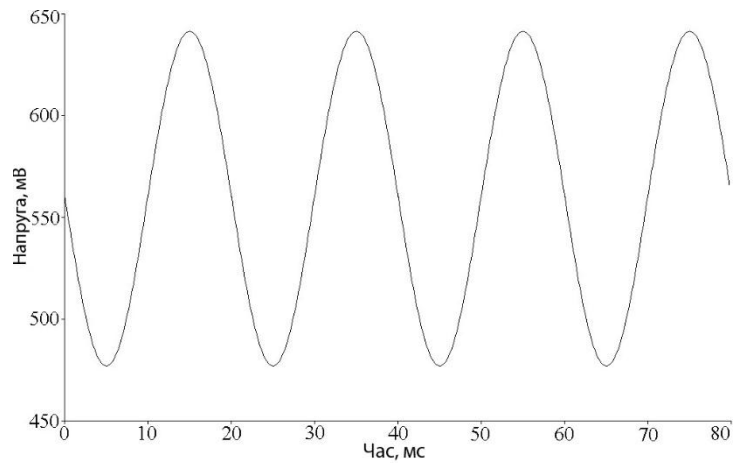


Рис. 3.44. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 697 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 697 \text{ кОм}$

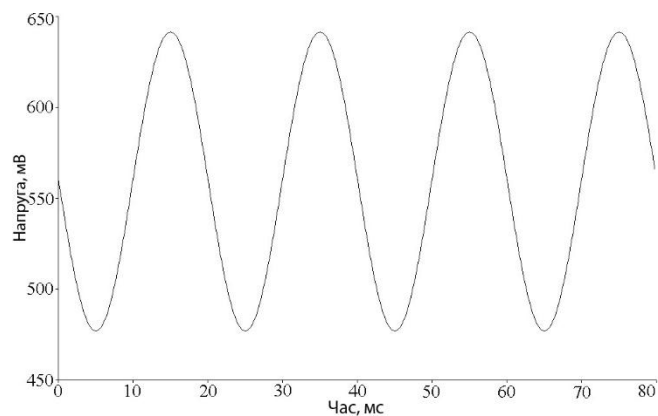


Рис. 3.45. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 663 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 663 \text{ кОм}$

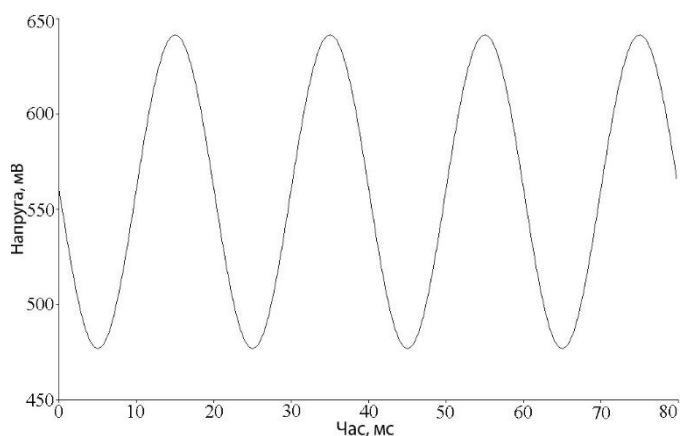


Рис. 3.46. Сигнал на виході підсилювача при опорі резистора $R_1 = 646 \text{ кОм}$, а резистора $R_2 = 646 \text{ кОм}$

Щоб з'ясувати вплив розкиду параметрів опорів R_1 і R_2 на коефіцієнт посилення, я звів отримані дані в табл. 3.6 і побудував графік, зображений на рис. 3.47.

Вплив величини опорів резисторів R_1 і R_2 на коефіцієнт посилення

Таблиця 3.6

№ п/п	Опір R_1 , кОм	Опір R_2 , кОм	Максимум, мВ	Мінімум, мВ	Коефіцієнт підсилення (К)	Початков а точка, мВ
1	714	714	640,42	475,97	82,225	559,68
2	697	697	640,76	476,33	82,215	560,02
3	680	680	657,95	475,94	91,005	568,57
4	663	663	641,46	477,08	82,190	560,75
5	646	646	641,82	477,47	82,175	561,12

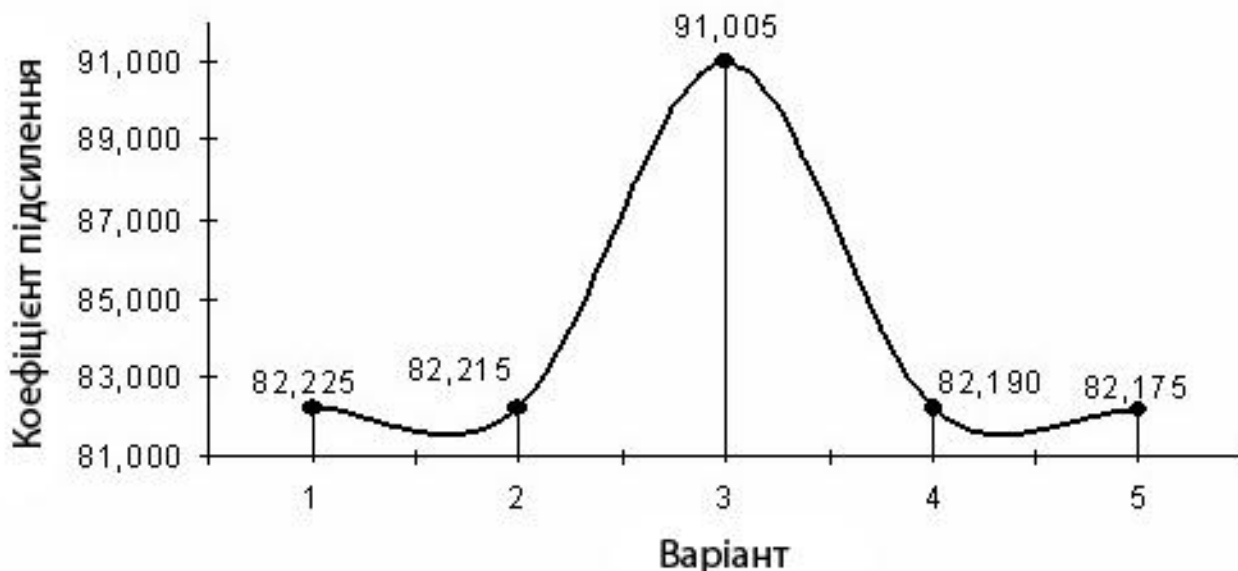


Рис. 3.47. Зміна коефіцієнту підсилення в залежності від величин опорів за таблицею 3.6

На підставі всього вищевикладеного, можна зробити висновок що розкид параметрів резисторів R_1 і R_2 не сильного впливає на коефіцієнт посилення.

На рис. 3.48 показаний сигнал, що подається на підсилювач з імпульсного джерела, а на рис. 3.49 сигнал, що знімається з виходу підсилювача.

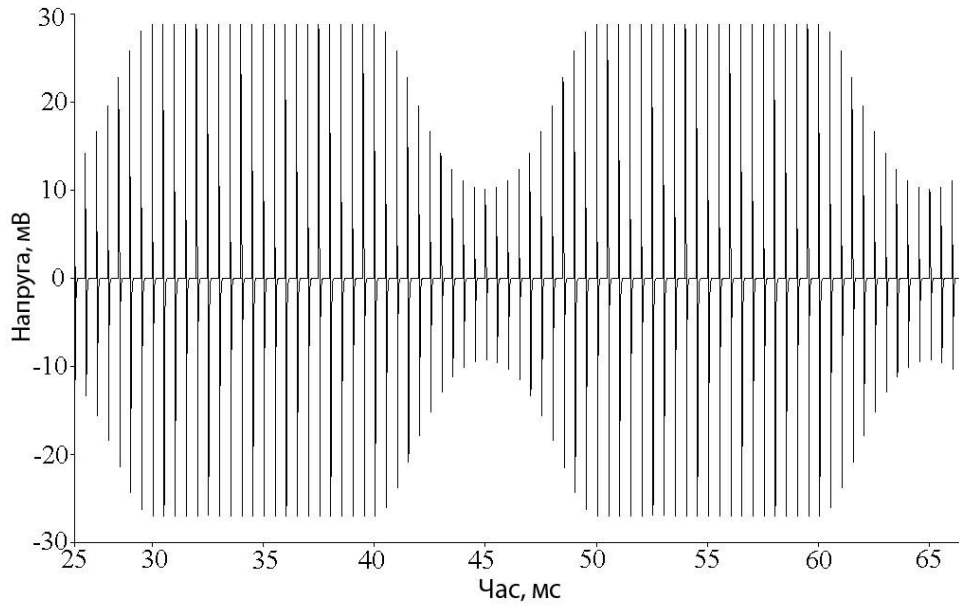


Рис. 3.48. Амплітудно–модульований сигнал, що надходить на вхід підсилювача

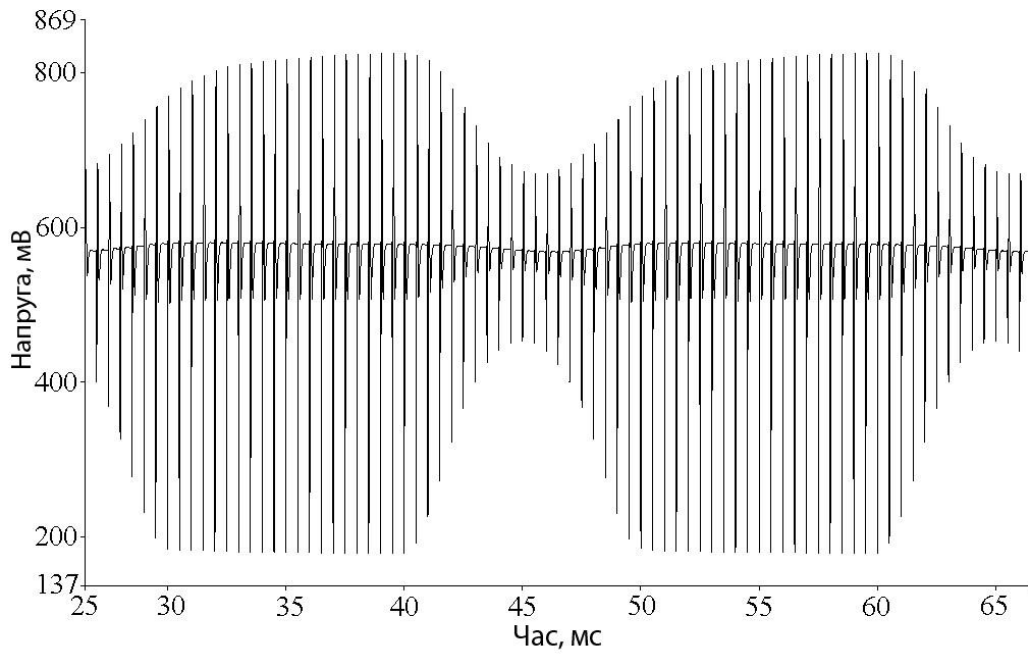


Рис. 3.49. Підсилений амплітудно–модульований сигнал на виході підсилювача

Детектор

До виходу підсилювача через розділовий конденсатор C_2 підключається амплітудний детектор. Схема детектора, використаного в даній схемі, показана на рис. 3.50.

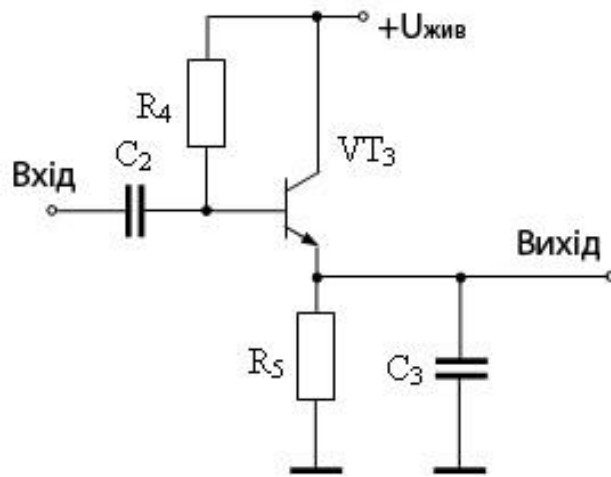


Рис. 3.50. Схема амплітудного детектора

На вхід детектора надходить посилений амплітудно-модульований сигнал. Детектор підключається безпосередньо до виходу підсилювача. Детектор живиться напругою 3 В від батарей, до яких підключений підсилювач і генератор імпульсів. Функцією детектора є формування корисного сигналу (рис. 3.51) шляхом видалення високочастотної складової з сигналу, що надійшов з підсилювача (рис. 3.52).

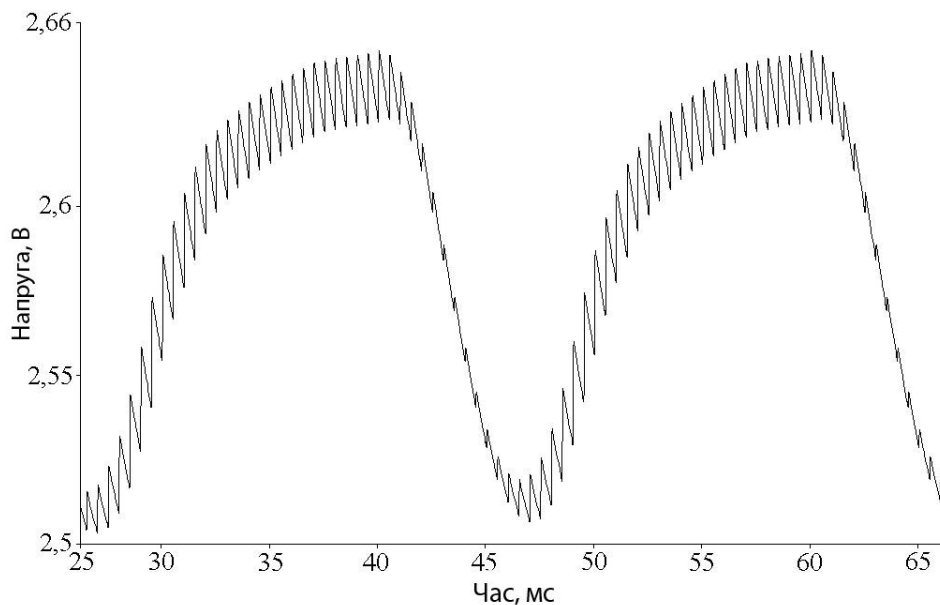


Рис. 3.51. Сигнал, що формується детектором

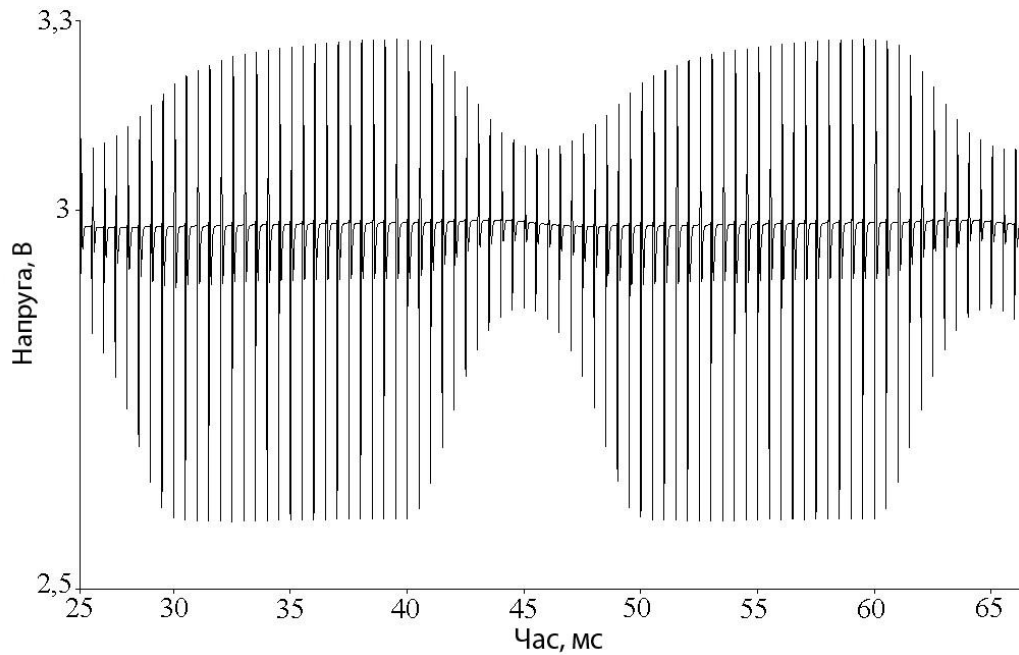


Рис. 3.52. Сигнал, що надходить на вхід детектора

На рис. 3.53 зображені вхідний і вихідний сигнали детектора. На цьому рисунку видно, що вихідний сигнал є огинаючою вхідного сигналу.

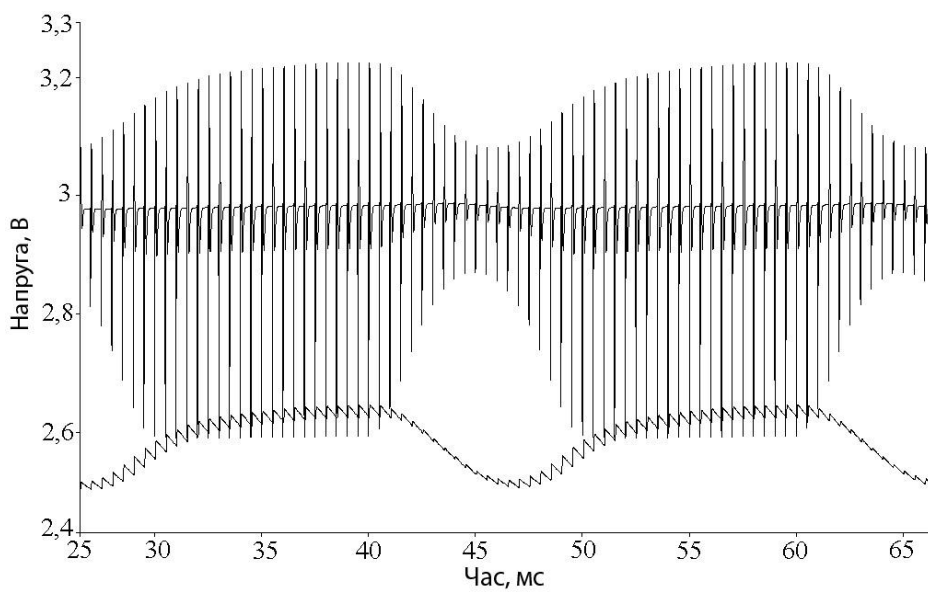


Рис. 3.53. Вхідний і вихідний сигнали детектора

Далі сигнал, сформований детектором, надходить на формувач імпульсів, в якому формуються імпульси.

Висновок до розділу

У даному розділі було проведено моделювання схеми УЗ витратоміра. Були враховані умови, що висуваються до підсилювача та проведено дослідження його роботи за наступними пунктами: 1) вплив зовнішньої температури на коефіцієнт підсилення; 2) залежність коефіцієнта посилення від напруги живлення; 3) вплив розкиду параметрів резисторів R_1 і R_2 .

Досліджуючи вплив температури, виявилось, що зі збільшенням температури від 12 до 87°C коефіцієнт підсилення знизився від 94,33 (при 12°C) до 80,36 (при 87°C).

При дослідженні впливу напруги живлення було отримано наступні дані: при збільшенні цієї напруги від 1,5 до 3 В коефіцієнт підсилення збільшився від 37,77 до 91,01. Це показує те, що напруга живлення суттєво впливає на коефіцієнт підсилення. Цю інформацію потрібно враховувати, оскільки схема підсилювача живиться від гальванічних елементів, які з часом неодмінно розряджатимуться і напруга буде не постійною.

Дослідження впливу розкиду параметрів резисторів R_1 і R_2 проводилося в чотири етапи: 1) змінювався опір R_1 від 714 до 646 кОм, з кроком 17 кОм, при цьому найбільше значення коефіцієнту підсилення – 91,005 досягалося при опорі $R_1=680$ кОм; 2) змінювався опір R_2 від 714 до 646 кОм, з кроком 17 кОм, цьому найбільше значення коефіцієнту підсилення – 91,005 досягалося при опорі $R_2=680$ кОм; 3) змінювався опір R_2 від 646 до 714 кОм, з кроком 17 кОм, а опір R_1 від 714 до 646 кОм, з кроком 17 кОм, при цьому найбільше значення коефіцієнту підсилення – 91,005 досягалося при опорі $R_1, R_2=680$ кОм, а також значення коефіцієнту 90,175 при $R_1=646$ кОм і $R_2=714$ кОм; 4) змінювався опір R_1 і R_2 від 714 до 646 кОм, з кроком 17 кОм, при цьому найбільше значення коефіцієнту підсилення – 91,005 досягалося при опорі $R_1, R_2=680$ кОм.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ТЕХНІЧНОМУ ОБСЛУГОВУВАННІ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРА

Вступ до розділу

Охорона праці - це система правових, нормативних, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Охорона праці спирається на комплекс державних законодавчих актів. Загальними законами України, що визначають основні положення щодо охорони праці є Конституція України, Кодекс законів про працю, Закон України "Про охорону праці", Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення", Закон України "Про пожежну безпеку", Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та підзаконні акти щодо охорони праці.

Всі закони і підзаконні акти з охорони праці базуються і відповідають Основному Закону держави – Конституції України, яка гарантує право громадян України на працю, яку вони вільно обирають, або на яку вільно погоджуються, на належні, безпечні і здорові умови праці, на відпочинок і на соціальний захист.

Основним законодавчим документом щодо охорони праці є Закон України "Про охорону праці", який прийнятий Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року.

Кафедра авіоніки					НАУ 20 04 02 000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		<i>Ємець Д.В</i>			<i>ОХОРОНА ПРАЦІ</i>	Літ.	Арк.	Аркушіє
Керівник.		<i>Слободян О.П.</i>					83	
Консульт.		<i>Слободян О.П.</i>				173 Авіоніка		
Н. Контр.		<i>Левківський В.В.</i>						
Заф.каф..		<i>Павлова С.В.</i>						

Задачі техніки безпеки спрямовані на попередження нещасливих випадків на виробництві. Вони зважуються на всіх етапах створення й експлуатації авіаційної техніки.

Джерелами небезпеки при виробництві, випробуваннях, встановленні та експлуатації ультразвукових витратомірів є електричний струм і рідке середовище, яка знаходиться під тиском і при високій температурі.

Повна герметичність корпусу перетворювача УПР, ізоляція струмопровідних ланцюгів, міцність кріплення при установці на об'єкті забезпечують безпеку використання ультразвукових витратомірів.

Небезпечний (виробничий) фактор – виробничий фактор вплив якого в певних умовах може призвести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника.

Шкідливий (виробничий) фактор – виробничий фактор вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я зниження працездатності працівника.

Умова праці – сукупність факторів виробничого середовища які впливають на здоров'я і працездатність людини в процесі її професійної діяльності.

Виробниче середовище – сукупність фізичних, хімічних, біологічних, соціальних факторів, що діють на людину в процесі трудової діяльності.

Міжгалузеві і галузеві акти з охорони праці – закони, міжгалузеві і галузеві стандарти, норми, правила, положення, інструкції і інші документи з охорони праці, яким надається сила правових норм обов'язкових для виконання.

Нагляд за охороною праці – одна з форм діяльності державних органів по дотриманню вимог законів і інших нормативних актів з охорони праці встановлених державною владою.

4.1. Перелік небезпечних та шкідливих виробничих факторів при технічній експлуатації

У процесі праці у виробничій обстановці на людину може впливати або один, або ряд небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Для запобігання цих

впливів на працівників при розробці нових приладів, контрольних установок і стендів повинні виконуватися вимоги по охороні праці.

Державним стандартом ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация», усі небезпечні і шкідливі виробничі фактори класифіковані на наступні групи: фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні. Згідно ГОСТ 120.003-74 при виконанні технічного обслуговування можливі наступні фактори:

- Підвищене значення напруги на електричному ланцюзі, замкнення якої може бути через тіло людини

Найчастіше зв'язані з неправильним устроєм електротехнічних установок, відсутністю заземлення, застосуванням голих проводів, шин, відкритих частин рубильників, електроламп і інструмента недосконалої конструкції та ін.

Небезпека електричного струму полягає в тому, що він не виявляється органами почуттів людини і часто зненацька виявляється на неструмоведучих частинах електроустановок і конструкціях, тобто там, де його не повинно було бути. Ступінь небезпеки поразки людини електричним струмом залежить від ряду факторів: значення сили струму, роду і частоти струму, тривалості дії, шляху протікання, стану організму, фактору уваги й умов зовнішнього середовища. Значення струму, що протікає через тіло людини, є основним чинником, що визначає ступінь поразки. Для проектування способів і засобів захисту людей при взаємодії їх з електроустановками ГОСТ 12.1.038 – 82. ССБТ. «Допустимые уровни напряжений прикосновения и токов», визначені гранично допустимі значення напруги дотику і струмів, що протікають через людину в аварійній ситуації.

- Підвищений рівень шуму на робочому місці

Шум і вібрація, що перевищує стандартні норми, негативно впливають на організм людини (ГОСТ 54 72001-78). Основні джерела виробничого шуму і вібрації - шум при випробуванні авіадвигунів.

Шум є загально біологічним дратівним фактором і у визначених умовах може впливати на всі органи і системи організму людини. Його вплив на органи

слуху, різні відділи головного мозку приводить до підвищеної втоми, загальній слабості, дратівливості і т.д.

- Недостатня освітленість робочої зони при перевірках устаткування в лабораторних умовах і на літаку (ГОСТ 54 72003-82)

При правильно розрахованому і виконаному освітленні виробничих приміщень очі працюючого протягом тривалого часу зберігають здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці, не стомлюючись. В умовах цивільної авіації при оперативному технічному обслуговуванні незадовільне освітлення зони обслуговування може призвести до погіршення якості виконуваних робіт.

Недостатнє освітлення робочих місць може виникати з таких причин: забруднення та недостатня кількість або працездатність деяких або усіх освітлювальних приладів; невірно підібрані чи замінені лампи в світильниках; невірне розташування сусідніх будівель.

Недостатнє освітлення робочих місць є однією з причин низької продуктивності праці. При недостатньому освітленні очі працюючого сильно напружені, при цьому ускладнюється розрізнення інструментів і навколишніх приладів, знижується темп роботи і погіршується загальний стан.

Освітлення виробничих приміщень і робочих місць характеризується світловим потоком, силою світла, освітленістю, яскравістю, контрастністю. Раціональне освітлення повинне задовольняти ряд вимог: бути достатнім, щоб око без напруги могло розрізняти розглянуті деталі; постійним у часі, тому напруга в живильній мережі не повинне коливатися більше, ніж на 4%.

4.2. Розрахунок природного освітлення робочого місця інженера з ТО ПС

Хід розрахунку

Розрахуємо природне освітлення лабораторії перевірки обладнання (у моєму випадку – УЗ витратоміра). Джерелом природного освітлення на робочому місці є 2 вікна розміром 1,2x1.5 метри. Його площа 20 кв. метрів. Напрямок розміщення вікон північно-західний.

1) Розраховуємо нормоване значення коефіцієнту природного освітлення (КПО) для заданих умов.

Формула розрахунку наступна: $(\text{КПО})_N = (\text{КПО})_{\text{норм.}} * m_N$ (4.1)

Але для того, щоб скористатись даною формулою, для отримання потрібної величини, нам потрібно зробити ряд попередніх розрахунків.

1.1) Визначимо спершу, яку роботу можна виконати в виробничому приміщенні з боковим одностороннім освітленням при заданих параметрах. А саме: L- 5 м; В- 4 м; Кількість вікон - 2 одиниці; Розмір вікон – 1,2х1,5 м².

а. Визначаємо сумарну площу вікон: $S_{\text{вік.}} = 2 * 1,2 * 1,5 = 3,6 \text{ м}^2$;

б. Визначаємо площу підлоги: $S_{\text{підл.}} = 5 * 4 = 20 \text{ м}^2$;

в. Вираховуємо відносну площу світлових прорізів $\alpha: \alpha = S_{\text{вік.}} / S_{\text{підл.}} * 100 = 3,6 / 20 * 100 = 18\%$.

По таблиці «Рекомендовані значення відносної площі світлових прорізів для виробничих приміщень» визначаємо, що в цьому приміщенні можна запланувати виконання зорової роботи високої точності, що відповідає III розряду зорової роботи. По таблиці встановлюємо, що найменший розмір об'єкта розрізнення для цього розряду становить менше 0,3мм.

Нормоване значення коефіцієнта природного освітлення для III розряду зорової роботи $(\text{КПО})_{\text{норм.}} = 2,0\%$.

Для IV поясу світлового клімату (м. Київ) та для орієнтації вікон на північний захід коефіцієнт світлового клімату становить $m_N = 0,9$.

І нарешті вираховуємо нормоване значення коефіцієнту природного освітлення $(\text{КПО})_N$ по формулі 1.1, приведеній на початку розрахунків:

$$(\text{КПО})_N = (\text{КПО})_{\text{норм.}} * m_N = 2,0 * 0,9 = 1,8\%$$

2) Виконаємо перевірочний розрахунок бокового природного освітлення методом світлового коефіцієнта.

Розрахунок проводиться по такій формулі:

$$100 * \frac{S_{\text{вік.}}}{S_{\text{підл.}}} = ((\text{КПО})_N * K_3 * \eta_B * \frac{K_{\text{БУД}}}{\tau_{\text{заг}}} * r_l) \quad (4.2)$$

де $S_{\text{вік.}}$ – площа вікон;

$S_{\text{підл.}}$ – площа підлоги;

$(\text{КПО})_N$ - нормоване значення КПО;

K_3 – коефіцієнт запасу;

η_B – світлова характеристика вікон;

$K_{\text{БУД}}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон будівлями, розташованими навпроти;

$\tau_{\text{заг}}$ – загальний коефіцієнт пропускання світла світлових прорізів;

γ – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення.

Для того щоб виконати розрахунок, нам, для початку, знадобиться знайти деякі величини. А саме, $K_3, \eta_B, K_{\text{БУД}}, \tau_{\text{заг}}$ та γ . Значення $(\text{КПО})_N$ вже вираховано і відоме.

2.1) Приступимо до знаходження K_3 . Для приміщення з нормальними умовами середовища $K_3 = 1,2$.

2.2) Тепер знаходимо наступну величину, світлову характеристику вікон η_B . Для того, щоб знайти це значення по таблиці 6, нам знадобляться геометричні параметри приміщення:

L – довжина приміщення (5 м);

B – глибина приміщення (4 м);

h – висота від рівня робочої поверхні до верхнього краю вікна ($1 + 1,2 - 0,8 = 1,4$ м, де 1 м – висота підвіконня, 0,8 м – висота умовної робочої поверхні, 1,2 м – висота вікон);

Використовуючи ці значення знаходимо наступні відношення:

$$L/B = 5/4 = 1,25;$$

$$B/h = 4/1,2 = 3,3.$$

Отже, $\eta_B = 15$.

2.3. Визначаємо коефіцієнт $K_{\text{БУД}}$, що враховує затінення вікон будівлями.
 $K_{\text{БУД}} = 1,0$.

2.4) Розрахуємо далі загальний коефіцієнт світлопропускання світлових прорізів $\tau_{\text{заг}}$.

Він визначається по формулі

$$\tau_{заг} = \tau_1 * \tau_2 * \tau_3, \quad (4.3)$$

де τ_1 – коефіцієнт світло пропускання матеріалу вікон;

τ_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі;

τ_3 - коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях.

Вікна мають регульовані внутрішні жалюзі, виготовлені з подвійних металевих рам, в яких вставлене віконне листове подвійне скло.

Маємо такі значення: $\tau_1 = 0,8$, $\tau_2 = 0,7$, $\tau_3 = 1$. Розраховуємо

$$\tau_{заг} = 0,8 * 0,6 * 1 = 0,56.$$

2.5) Приступимо до розрахунку коефіцієнта r_l , що враховує підвищення КПО завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщення. Він залежить від:

- геометричних параметрів приміщення;

- середнього коефіцієнта відбиття внутрішніх поверхонь приміщення.

Спершу додатково знайдемо відношення b/B , де b – відстань від розрахункової точки M робочої поверхні до зовнішньої стіни приміщення:

$$b/B = 2/4 = 0,5.$$

Середнє значення коефіцієнту відбиття вираховується по наступній формулі:

$$\rho_{сер.} = (\rho_{стелі}S_{стелі} + \rho_{стіни}S_{стіни} + \rho_{підлоги}S_{підлоги}) / (S_{стелі} + S_{стіни} + S_{підлоги}) \quad (4.4)$$

де $S_{стелі}$, $S_{стіни}$, $S_{підлоги}$ – відповідні площі поверхонь;

$\rho_{стелі}$, $\rho_{стіни}$, $\rho_{підлоги}$ – відповідні коефіцієнти відбиття, що враховуються для конкретних умов. Отже, маємо такі значення: $\rho_{підлоги} = 0,25$, $\rho_{стелі} = 0,7$, $\rho_{стіни} = 0,3$.

Далі нам потрібно розрахувати площі поверхонь:

$$S_{стелі} = S_{підлоги} = 20 \text{ м}^2;$$

$$S_{стіни} = S_{бокові} + S_{протилежа} = 2 * h_{приміщення} * B + h_{приміщення} * L = 2 * 3 * 4 + 3 * 5 = 39 \text{ м}^2.$$

Тепер ми можемо вирахувати $\rho_{сер.}$:

$$\rho_{сер.} = (0,7 * 20 + 0,3 * 39 + 0,25 * 20) / (20 + 39 + 20) = 30,7 / 79 = 0,4.$$

Получивши всі вище вираховані значення отримуємо, що $r_l = 1,15$.

2.6) Розрахувати необхідну площу вікон для забезпечення бокового природного освітлення приміщення.

Визначимо спочатку необхідні для розрахунку значення.

- нормоване значення $(КПО)_N=1.8\%$.

- для нормальних умов середовища приймаємо, що коефіцієнт запасу $K_3=1,2$.

- світлова характеристика вікон $\eta_B = 15$ та значення коефіцієнта $r_1=1.15$

- коефіцієнт $K_{БУД}=1,0 \%$.

Необхідна розрахункова площа вікон визначається за такою формулою:

$$S_{ep} = \frac{(КПО)_N * K_3 * \eta_B * K_6 * S_{nnid}}{T_3 * r_1 * 100} = \quad (4.5)$$

$$= 1,8 * 1,2 * 15 * 1,0 * 20 / 0,56 * 1,15 * 100 = 10,1 \text{ м}^2$$

Оскільки розрахункова площа вікон перевищує фактичну площу для даного приміщення ($3,6 \text{ м}^2$) більше ніж на 10% , то можна зробити висновок, що для запропонованих умов потрібне значення $КПО=2,0 \%$ не може бути забезпечене, природне освітлення для заданого розряду зорової роботи є недостатнім.

3) З урахуванням реальних умов та характеристик приміщення обрахувати фактичний коефіцієнт природного освітлення та встановити, якої точності зорову роботу допустимо виконувати в цьому приміщенні.

Визначимо фактичний коефіцієнт природного освітлення $(КПО)_ф$:

$$(КПО)_ф = \frac{S_{eei} * T_{33a} * r_1 * 100}{K_3 * \eta_B * K_{66y} * S_{nnid}} = \quad (4.6)$$

$$= 3,6 * 0,56 * 1,15 * 100 / 1,2 * 15 * 1,0 * 20 = 0,6\%$$

В цьому приміщенні можна виконувати зорові роботи VI розряду, тобто роботи грубої точності.

- Обслуговування високо розташованих частин літальних апаратів

Аналіз травматизму на підприємствах свідчить про те, що багато хто з них викликані падінням з висоти при обслуговуванні високо розташованих частин обладнання.

При виконанні ТО обладнання в лабораторії можуть виникнути ті ж небезпечні і шкідливі виробничі фактори, що описані вище, а також пожежна та вибухова небезпека.

4.3. Технічні заходи при експлуатації обладнання систем авіоніки

Забезпечення електробезпеки

Конструктивне оформлення комплектуючих двигуна, що проектується, вирішено таким чином, щоб виключити або звести до мінімуму можливість впливу на технічний персонал перерахованих у попередньому підрозділі небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Для того щоб конструкція двигуна задовольняла вимогам електробезпечності, використовується цілий ряд технічних рішень.

Міри захисту від поразки електричним струмом залежить від вибору, розміщення, виконання, способу установки і класу ізоляції застосовуваних машин та іншого електроустаткування, а також кабелів і проводів.

Міри захисту виробляються відповідно до вимог діючих «Правил устрою електроустановок» (ПУЭ-86), а їхньої експлуатації з «Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів» і «Правилами технічної безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

Металеві не струмоведучі частини обладнання пристрою, що проектується, повинні електрично приєднуватися до стаціонарного пристрою, що заземлює, активний опір якого повинен бути не більш 4 Ом.

Для усунення підвищеного шуму на робочому місці операторові при високих рівнях шуму необхідно користуватися спеціальними навушниками.

Для виключення недостатньої освітленості робочого місця при перевірці проєктованого двигуна та монтажу потрібно користуватися індивідуальним освітленням на робочому місці.

Відповідно до діючих норм і правил використовується природне, штучне або комбіноване освітлення.

Монтаж/демонтаж повинен проводитися тільки із застосуванням спеціальних інструментів, а перевезення – за допомогою візків.

Для зменшення травматизму в результаті падіння людей із висоти при обслуговуванні високо розташованих частин ЛА застосовуються спеціально передбачені для даного типу АТ трапи, підйомники і драбини. Є прив'язні ремені або пристосування для кріплення до конструкції ЛА.

На проектованому двигуні передбачені клеми для підключення захисного заземлення. Для захисту від поразки електричним струмом у випадку пробую ізоляції і переходу напруги на металевий корпус, застосовується захисне заземлення, що повинне задовольняти вимозі $R_3 \leq 4$ Ом для установок з напругою до 1000В.

Нормалізація освітлення

Розглянемо вплив освітлення на організм людини. Особлива увага необхідно приділити важливому з погляду виробничої санітарії питанню освітлення на робочому місці.

Виробниче освітлення регулюється нормативно-технічними документами ГОСТ 12.1.046-85, СНиП II-4-79. Освітлення на робочому місці повинно бути сполученим (природне і штучне світло). Природне освітлення повинне бути бічним. Коефіцієнт природної освітленості повинний відповідати нормативним рівням по СНиП II-4-79: при виконанні робіт з категорії високої зорової точності – не нижче 1,5, при зоровій роботі середньої точності – не нижче 1.

Раціональне освітлення повинно відповідати ряду вимог:

- Повинно бути достатнім, щоб очі без напруги могли розрізняти деталі;
- Повинно бути постійним, для цього напруга в живлячій мережі не повинна коливатися більш ніж на 4%;
- Повинно бути рівнонаправленим робочим поверхням, щоб оку при роботі не приходилося зазнавати різкого світлового контрасту.

Штучне освітлення варто здійснювати у виді комбінованої системи освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення. Вони повинні забезпечувати рівномірну освітленість за допомогою відбитого чи розсіяного світлорозподілу.

Забезпечення пожежної і вибухової безпеки

Причинами виникнення пожежі електроустаткування й електроосвітлення можуть бути: перевантаження проводів електромережі, що викликає нагрівання струмоведучих частин, загоряння їхньої ізоляції й у результаті запалення різних горючих матеріалів, що стикаються з ними; неякісне виконання з'єднань в електричній проводці; перевантаження різних електричних пристроїв (електродвигуни, генератори, розподільні пристрої і т.п.), що приводить до їх нагрівання і, отже, можливого загоряння; несправне охолодження електричного пристрою, неправильне його вмикання; коротке замикання, іскріння на колекторі або кільцях електродвигуна і генераторів, а також у пристроях вмикання і вимикання; надмірний знос підшипників електромашин, у результаті чого може відбутися або перегрів підшипників, або заклинювання їх, а потім загоряння. Найбільшу небезпеку вибуху і пожежі являє собою електроустаткування вибухо – пожежонебезпечних приміщень і пристроїв.

Пожежна безпека характеризує стан об'єкта, при якому виключається можливість виникнення і розвитку пожежі і впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей. ГОСТ 12.1.004-91.ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования», встановлює такі засоби забезпечення пожежної безпеки:

- система запобігання пожежі;
- система протипожежного захисту;
- організаційно-технічні заходи.

Крім того, цей стандарт регламентує імовірність виникнення пожежі в електротехнічного виробу, що не повинне перевищувати 10^{-6} у рік.

Також при підготовці рекомендацій з недопущення пожеж, була використана наступна література:

- НПО ГА-85 «Наставление по пожарной охране в ГА СССР», регламенти по технічному обслуговуванню і ряд стандартів:

- ДСТУ 0.01-1.01-95 «Правила пожежної безпеки в Україні»;

- ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. «Пожарная безопасность. Общие требования»;

- ГОСТ 12.1.010-76 «Взрывобезопасность. Общие требования»;

- ГОСТ 12.1.030-81. ССБ. «Электробезопасность. Защитное заземление, зануление»;

- ГОСТ 12.1.044-84 «Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».

Запобігання пожежі досягається за рахунок недопущення утворення в пальному середовищі джерел запалювання. Такими джерелами при експлуатації розроблювального приладу можуть стати його несправність, перевантаження або неправильний монтаж блоків системи, що перевіряється, що приводить до підвищеного нагрівання або до короткого замикання. Шляхом усунення цих причин, можна сказати, що конструкція задовольняє вимогам електростатичної безпеки відповідно до ГОСТ 12.1.018-93. ССБТ. «Пожароискробезопасность статического электричества». Слід зазначити, що при нормальних умовах експлуатації розроблювальний прилад не створює джерел загорання.

Протипожежний захист забезпечується нанесенням на поверхню конструкції розроблювального приладу захисних фарб.

Організаційні технічні заходи містять у собі розробку інструкції про порядок роботи з розроблювальним приладом, дотримання протипожежного режиму і про дії оператора при виникненні пожежі.

Конструкція розроблювальної системи виключає можливість вибуху самої системи.

При виникненні пожежі, за даними категорії В необхідно використовувати на кожній одиниці виміру площі, що захищається, у 500-600 м²:

- вуглекислотний вогнегасник ВВК-2 – 2 шт.;

- вогнегасник водопінний аерозольний ВВПА-400 або вогнегасник водопінний ВВП-9 – 4 шт.

- Заходи при виникненні пожежі

Існує 4 способи припинення горіння: охолодження зони горіння або самих палаючих речовин; ізоляція реагуючих речовин від зони реакції; розведення реагуючих речовин у зоні реакції негорючими речовинами; хімічне гальмування реакції горіння.

При першому способі припинити горіння можна впливом на поверхню палаючих матеріалів вогнегасячими речовинами, а також охолодженням палаючих матеріалів методом їхнього перемішування. Другий спосіб полягає в створенні ізолюючого шару між зоною горіння і палаючих матеріалів або в прорізах приміщень, де відбувається пожежа. Для розведення повітря в нього вводяться негорючі пари і гази. (третій спосіб). З цією метою використовуються вуглекислий газ, водяна пара, азот, інші компоненти.

Четвертий спосіб реалізується подачею інгібіторів (речовин, що сповільнюють протікання хімічних реакцій або припиняють їх) на поверхню палаючих матеріалів або введенням їх у повітря, що надходить у зону реакції.

У цивільній авіації застосовують наступні вогнегасячі речовини: вода, повітряно-механічна і хімічна піни, інертні гази, галоїдовуглеводні сполуки, вогнегасячі порошки, комбіновані сполуки (сполучення порошкових і пінних сполук, водно-галоїдовуглеводні емульсії і т.п.).

Висновок до розділу

У результаті проведеного аналізу робочого місця інженера з технічного обслуговування повітряного судна, були визначені шкідливі та небезпечні фактори. Описано природне освітлення, виробничий шум, мікроклімат. Було проведено розрахунок природного освітлення. Встановлено, що КПО = 0,6 % є недостатнім для заданого розряду зорової роботи. Для забезпечення відповідного рівня освітленості в проектному відділі рекомендується встановити світильники з світлодіодними лампами.

РОЗДІЛ 5

ВПЛИВ ВИРОБНИЦТВА І РОБОТИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИТРАТОМІРА НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Вступ до розділу

Виходячи з цільового призначення ультразвукових технологій переробки сільськогосподарської сировини та масштабного застосування УЗ приладів в домашньому господарстві і в умовах малих підприємств необхідно дослідження проблем екологічної безпеки та факторів, що забезпечують раціональне використання сировини і якість одержуваних продуктів.

При організації технологічного процесу визнається, що і обладнання, і режими, і продукція відповідають вимогам раціонального використання навколишнього середовища, які регламентується "нормативними знаннями" в даному промисловому додатку. Однак досвід свідчить, що розроблені і на папері доведені екологічно безпечні технології по безлічі результатів фактичної виробничої діяльності далекі від обґрунтованого ідеалу і в більшій чи меншій мірі

привносять новий шкоди навколишньому середовищу. Тому досліджуючи вплив ультразвукових технологій на стан навколишнього середовища необхідно вивчити, по-перше, процеси взаємодії людини і природи при виконанні виробничої функції, а по-друге, дослідити вплив безпосередньо ультразвуку і супутніх факторів на людину і навколишнє середовище.

5.1. Вплив ультразвукових технологій на навколишнє середовище

В принципі, можливі технологічні процеси, які не дають ні матеріальних, ні енергетичних викидів. Подібні технологічні процеси отримали назву ізольованих технологічних процесів. Ізольований процес передбачає повне перетворення вихідної сировини при 100% витраті енергії в готову корисну продукцію. Як правило, такі процеси практично безпечні для навколишнього середовища на стадії виробництва і забезпечують максимальне ресурсозбереження, але екологічно безпечними вони будуть тільки в тому випадку, якщо готова продукція не є небезпечною для природи і не перетворюється після експлуатації і споживання в джерело вторинного забруднення середовища.

Дослідження ультразвукових технологій з описаних вище позицій дає підставу припустити, що негативні наслідки від використаних УЗ апаратів можуть бути виявлені за такими чинниками матеріальних і енергетичних викидів. Однак якщо припустити, що технологічні процеси переробки сільськогосподарської продукції по використовуваних матеріальних потоків є екологічно чистими, то інтенсифікація цих процесів ультразвуком не призведе до погіршення екологічної

обстановки. Крім того, як показує досвід, ультразвукові технології переробки сільськогосподарської сировини сприяють більш повному виділенню цільових продуктів, підвищенню їх якості та інших споживчих властивостей. В кінцевому рахунку, все це забезпечує більш повне рішення задачі раціонального використання природних ресурсів і, отже, більшого збереження навколишнього природного середовища.

Дослідження проблем екологічної небезпеки супутніх енергетичних викидів призводить до висновку, що розроблені раніше потужні ультразвукові прилади і системи з використанням електронних компонент низького ступеня інтеграції дійсно були потенційно небезпечними для здоров'я людини. Зниження можливих супутніх шкідливих випромінювань приладів може бути досягнуто, по-перше, зниженням одиничної потужності УЗ-приладів і вибором для конкретних технологій УЗ-параметрів достатніх для реалізації процесу. По-друге, при використанні сучасної елементної бази та відповідних змін схемних рішень ультразвукових генераторів, а також конструкцій хвилеводів, застосуванні сучасних схем автоматичної стабілізації режимів і аварійного захисту, експериментально доведено, що прилади розробленого багатофункціонального ряду не є джерелами шкідливих енергетичних полів і випромінювань.

Таким чином, ультразвукові технології з апаратним забезпеченням на базі багатофункціональних малопотужних генераторів багато в чому задовольняють вимогам, що пред'являються до реутилізаційних, ресурсозберігаючих, екологічно безпечних процесів і забезпечують більш раціональне, в порівнянні з традиційними, використання природних ресурсів.

Однак, остаточний висновок про екологічну безпеку ультразвуку може бути зроблений, якщо будуть розглянуті фактори безпосереднього його впливу на живий організм, в тому числі, показано, що ультразвукові системи не порушують потоки інформації природних систем і не створюють випромінювань небезпечних для існування, розвитку, відтворення і адаптації живих організмів. Тому аналіз екологічної безпеки слід продовжити вивченням факторів, що визначають небезпеку використання ультразвуку в прямих контактах з людиною. Це завдання є частиною найбільш загальної проблеми аналізу ефективності технічних рішень з

урахуванням вимог охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування на стадіях проектування та апробації тому, що в даний час наука перетворилася на продуктивну силу, результатом чого є виникнення нового джерела шкідливих впливів на навколишнє природне середовище - науково - технічної діяльності людини. Однією з проблем, яку треба вирішувати при розробці технічних рішень, є проблема класифікації можливих небажаних наслідків за ступенем небезпеки і незворотності, і, відповідно, прийняття необхідних заходів щодо їх запобігання.

При цьому, для кожного класу технічних рішень використовується різна сукупність концепцій. Основою підходу є знаходження таких об'єктивних закономірностей, які можна ефективно використовувати для охорони навколишнього середовища.

Аналіз стану природи, закономірностей і тенденцій науково-технічного прогресу і взаємозв'язку об'єктів техніки з навколишнім середовищем дозволяє сформулювати наступні принципи, які повинні враховуватися при створенні ефективних технічних рішень з урахуванням вимог охорони навколишнього середовища:

1. Основним принципом повинен бути принцип комплексності, який полягає в тому, що створюване технічне рішення повинно бути соціально виправдано, екологічно безпечно і економічно рентабельно. Критерій екологічної безпеки є більш важливим, ніж критерій рентабельності.

2. Створення технічних рішень з непередбачуваними небажаними наслідками в їх нормальному режимі функціонування, загрозливими або здоров'ю значної кількості людей, неприпустимо.

3. Теоретична або експериментальна перевірка технічного рішення до його використання проводиться до тих пір, поки не будуть виявлені всі небажані екологічні наслідки його використання при існуючій науковій і вимірювальній базі.

4. Оцінка небажаних наслідків виготовлення і використання технічних рішень здійснюється не тільки для нині живучих людей, а й для наступних поколінь.

5. Вживання заходів щодо екологічної безпеки на більш ранній стадії технологічного процесу або для більш раннього етапу життєвого циклу об'єкта техніки більш ефективно і рентабельне.

6. При оцінці небажаного дії шкідливих речовин, впливів, випромінювань враховується сумарна дія, тому що деякі небажані чинники взаємно підсилюють дію один одного. Оцінка здійснюється з урахуванням граничних значень відповідних параметрів.

7. При оцінці недосконалості технічних рішень враховуються не тільки недоліки, але і ймовірні негативні ефекти, тобто ймовірні наслідки наслідків (в т.ч. наслідки виготовлення і функціонування технічних рішень). Особливо враховується здатність флори, фауни і людини накопичувати деякі шкідливі речовини.

8. Оцінка небажаного дії техніки і технології здійснюється не щодо нульового умовного рівня шкідливих впливів, а щодо реально існуючого сумарного рівня в місці ймовірного їх використання.

9. Для технічних рішень із загрозою життю і здоров'ю великої кількості людей в нештатних ситуаціях реалізуються заходи по досягненню 100% - ної гарантії практично безпечної роботи.

10. При розробці технічних рішень, в процесі функціонування яких можливі нештатні ситуації із загрозою здоров'ю та життю значного числа людей, здійснюються заходи і розробляються відповідне число засобів захисту в нештатних ситуаціях.

11. Екологічні параметри створюваної техніки і технології повинні оцінюватися за концепцією "порівняльної оцінки технічних параметрів", в тому числі, порівняння за екологічними параметрами здійснюється: на етапі проектування - з кращим світовим зразком; при промисловому виробництві - з замінним об'єктом.

Розглянемо з цих позицій фактори, що визначають екологічну безпеку сучасних напрямків ультразвукових технологій, що співвідносяться з використанням ультразвукових коливань різної інтенсивності.

Технології, засновані на використанні УЗ коливань низької інтенсивності. Під УЗ коливаннями низької інтенсивності розуміються такі УЗ коливання, які не впливають на фізико - хімічні властивості речовин і матеріалів, через які вони поширюються.

Технології, засновані на використанні УЗ коливань високої інтенсивності, що забезпечують зміну властивостей речовин і матеріалів, через які ці коливання поширюються.

Перший напрямок розвитку УЗ технологій можна умовно розділити на:

а) Пасивні технології, засновані на реєстрації УЗ коливань, що виникають в різних технологічних процесах. Ці технології використовуються для контролю за станом речовин та матеріалів, для отримання інформації про протікання технологічного процесу і т.п. Пасивні технології пов'язані з необхідністю реєстрації низькочастотних коливань малої інтенсивності, тому що високочастотні коливання характеризуються високим загасанням і, як правило, не виходять за межі аналізованих речовин і об'єктів.

За способом реєстрації низькочастотних УЗ коливань малої інтенсивності, що несуть інформації про контрольований об'єкт можуть бути контактні способи реєстрації; безконтактні способи, тобто поширення УЗ коливань від контрольованого об'єкта до приймача здійснюється повітряним шляхом.

Повітряний шлях поширення низькочастотних УЗ коливань малої інтенсивності має великі переваги (наприклад, при контролі агресивних або розпечених тіл), але більш складний в практичній реалізації. Це обумовлено величезними втратами енергії УЗ коливань при переході з твердого або рідкого тіла в повітря.

б) Активні технології, пов'язані з випромінюванням в досліджувані матеріали і речовини УЗ коливань малої інтенсивності і прийому їх після проходження через середовища або після відбиття від кордонів розділу або внутрішніх дефектів і т.п. типовими прикладами подібних технологій є неруйнівний контроль якості матеріалів і виробів і медична ехотомоскопи (дослідження внутрішній органів людини).

Активні технології також пов'язані із застосуванням низькочастотних і високочастотних коливань. Причому, в цих технологіях, найбільшого поширення набули технології, пов'язані з використанням високочастотних коливань для не руйнівного контролю і досліджень структури металів. В цьому випадку використовуються тільки контактні способи реєстрації.

Низькочастотні УЗ коливання застосовуються для контролю полімерних матеріалів і багатошарових виробів. Передача в досліджуване тіло і реєстрація УЗ коливань в цьому випадку може здійснюватися безконтактним шляхом.

При використанні контактної способу реєстрації, УЗ коливання не потрапляють в навколишнє середовище і можуть впливати на людину тільки через корпус випромінювача або приймача, що знаходиться в руці людини. Інтенсивності УЗ коливань, що досягають організму людини, не перевищують $0,1 \text{ Вт / см}^2$. Ультразвукові коливання такої інтенсивності носять яскраво виражений позитивний терапевтичний ефект (використовуються в медицині для проведення масажу).

При використанні безконтактних способів реєстрації інтенсивності УЗ коливань в $100 \dots 100000$ разів менше, ніж при використанні контактних способів. Їх вплив на навколишнє середовище і людину настільки мало, що на практиці навіть не розглядається.

Напрямок, пов'язаний із застосуванням УЗ коливань високої інтенсивності також поділяється на:

а) Низькочастотні технології, пов'язані з використанням високоінтенсивних низькочастотних коливань з дозволеного діапазону (18, 22, 44, 66 кГц) і призначені для спрямованої зміни властивостей рідких і твердих речовин, механічної обробки різних матеріалів і т.п.

У разі реалізації подібних технологій шкідливий вплив на навколишнє середовище і людину може полягати в наступному: можливе неприпустимому зміні властивостей оброблюваних і знову одержуваних речовин. Ця проблема вирішується в кожному окремому випадку шляхом перевірки отриманих матеріалів; випромінюванні високого рівня шуму від технологічних ультразвукових установок. Рівень шуму на робочих місцях на частоті 22 кГц не

повинен 100 дБ згідно ГОСТ 12.1.001-83 і СН N 2283-80, Допустимий рівень ультразвуку в зоні контакту рук та інших частин тіла не повинен перевищувати 110 дБ. Ця проблема легко вирішується застосуванням акустичних екранів, корпусів і оптимальним кріпленням і розміщенням випромінювачів.

б) Високочастотні технології, пов'язані з використанням високочастотних коливань високої інтенсивності (дозволені частоти для цього випадку 880, 1760, 2600 кГц) і призначені для медичного застосування. Основні застосування пов'язані з терапевтичним впливом і високоефективним дрібнодисперсним розпиленням лікарських препаратів в ультразвукових інгаляторах. Небезпека для навколишнього середовища і лікується людини важко уявити.

Таким чином, в результаті аналізу літературних джерел і досвіду використання ультразвуку в передбачуваних областях контакту з живим організмом, можна стверджувати, що при обґрунтованому виборі діапазону технологічних параметрів, співвіднесених з об'єктом додатки випромінювання, його шкідливий вплив відсутній або є мінімальним. Тому є всі підстави стверджувати, що ультразвук, як досягнення науково-технічного прогресу, може бути екологічно безпечним, якщо при проектуванні його практичного застосування виконуються необхідні обмеження по потужності, інтенсивності та захисту. Всьому цьому в повній мірі відповідають багатфункціональні малопотужні ультразвукові генератори, описані в цій монографії, і технологічні процеси на їх основі.

Висновок до розділу

Ультразвук і ультразвукові технології з точки зору охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування, відповідно до вищезгаданими теоретичними і емпіричними законами, правилами, вимогами, а також з нормативними актами Росії при певних обставинах і в різних сферах використання можуть розглядатися, по-перше, як складова потоків інформації в природних системах. По-друге, як потенційна небезпека, пов'язана з можливістю

руйнівних впливів на живі організми. По-третє, ультразвук - може бути нейтральним до природних складових екосистем.

Ступінь "небезпеки" ультразвуку визначається технічним додатком або якістю проектування технологічного процесу його використання.

Описані в даній роботі малогабаритні, малопотужні, багатофункціональні генератори ультразвукових коливань, прилади, системи і технологічні процеси на їх основі екологічно безпечні, економічно ефективні, забезпечують скорочення споживання енергетичних і сировинних ресурсів при випуску однакових обсягів продукції в порівнянні з традиційними технологіями, тобто забезпечують актуальне в даний час (в умовах кризи, що насувається екологічної кризи) вимога - раціональне природокористування.

ВИСНОВКИ

В даній роботі було детально розглянуто ультразвукові витратоміри, проведено аналіз їх конструкції, принцип дії та застосування, а також моделювання електронної схеми. У першому розділі була розглянута головна тема дипломної роботи – ультразвуковий витратомір палива. Були розглянуті основні методи вимірювання витрати в УЗ витратомірах (фазовий, часо-імпульсний та частотний), також були названі частоти, на яких працюють УЗ витратоміри (низькі та високі). Детально була проаналізована конструкція УЗ витратоміра. У другому розділі мова йшла про дослідження структурних схем та вузлів УЗ витратомірів, а також обчислення їх похибок. Третій розділ присвячений моделюванню електронної схеми ультразвукового витратоміра палива, зокрема визначення умов до підсилювача УЗ витратоміра, та дослідження його роботи. Четвертий та п'ятий розділи були присвячені охороні праці при роботі з ультразвуковими витратомірами та екологічному впливу УЗ витратомірів відповідно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. И.А. Глазман Пьезокерамические ультразвуковые излучатели. М.: «Машиностроение», 1968. - 316 с.
2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. Л.: Машиностроение, 1989. - 297 с.
3. Кияйсбейли А.Ш., Лифшиц Л.М. Первичные преобразователи систем измерения расхода и количества жидкостей. – М.: Энергия, 1980. – 276 с.
4. Цейтлин В.Г. Расходоизмерительная техника. - М., 2002
5. Хамидуллин В.К. Ультразвуковые контрольно-измерительные устройства и системы. –Л.: Издательство Ленинградского Университета, 1989. – 188 с.
6. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Под ред. И.П. Голяминой. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 146 с.
7. Киясбейли А.Ш. «Частотно-временные ультразвуковые расходомеры и счетчики» Москва, «Машиностроение», 1984. – 128 с.

8. Макс Ж., «Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях» В 2-х томах., том 1., Пер. с франц. – М.: Мир, 1983. – 422 с.
9. Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И. Акустические методы контроля. М.: «Высшая школа», 1991, - 283 с.
10. Бирюков Б.В., Данилов М.А., Кивилис С.С., Точные измерения расхода жидкостей. - М., 2004.

ДОДАТКИ

Додаток 1. Програма розрахунку похибок

Розрахунок похибок виконано мовою Turbo PASCAL 7.0.

```
Program 1;  
Uses crt;  
VAR N, BA, A, AF, AT, V, NT, NP, NQ, DF, DT, DV, DC, CA, DV, FI, TF,  
AV, T, G: real;  
Begin  
clrscr;  
writeln('Введіть діаметр труби DT');  
readln(DT);  
writeln('Введіть кут поширення ультразвукових хвиль G');  
readln(G);  
writeln('Введіть час затримки ультразвукових хвиль T');
```

```

readln(T);
writeln('Введіть швидкість поперечної ультразвукової хвилі V');
readln(V);
writeln('Введіть граничну відносну похибку за рахунок варіації температури
NT');
readln(NT);
writeln('Введіть граничну відносну похибку за рахунок варіації тиску NP');
readln(NP);
writeln('Введіть граничну відносну похибку за рахунок варіації концентрації
NQ');
readln(NQ);
writeln('Введіть N');
readln(N);
BN:=sqrt(NT*NT+NP*NP+NQ*NQ);
BA:=BN/sqrt(1-(N*cos(G)));
A:=arctan((sqrt(1-sqr(N*cos(G))))/(N*cos(G)));
AF:=(2*cos(A*T*V/DT/(1+(T*V*sin(A)/DT))-2*cos(2*A)/sin(2*A)))*BA;
AV:=2*BA/sin(2*A);
AT:= AV;
CA:=BN;
DF:=(2*V*T*sin(A/DT*(1+V*T*sin(A/DT))))*CA;
DC:=2*CA;
FI:=sqrt(AF*AF+DF*DF);
TF:=sqrt(AT*AT+DC*DC);
Writeln('Результати розрахунку похибок');
Writeln('AF=',AF:7:4);
Writeln('AT=',AT:7:4);
Writeln('DF=',DF:7:4);
Writeln('DC=',DC:7:4);
Writeln('FI=',FI:7:4);
Writeln('TF=',TF:7:4);

```

readkey;

End.

Результати розрахунку похибок:

AF=0,0351

AT=0,0560

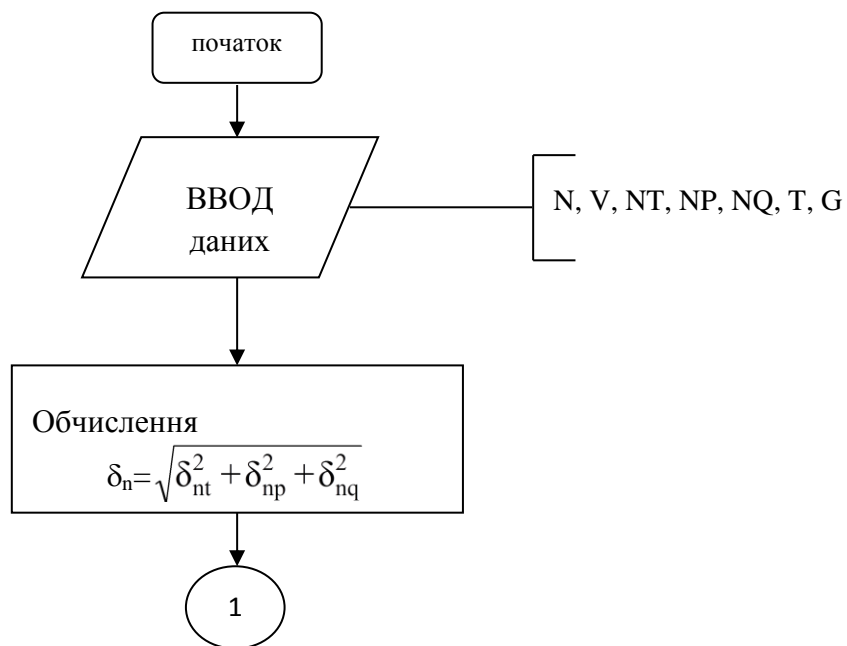
DF=0,0027

DC=0,0305

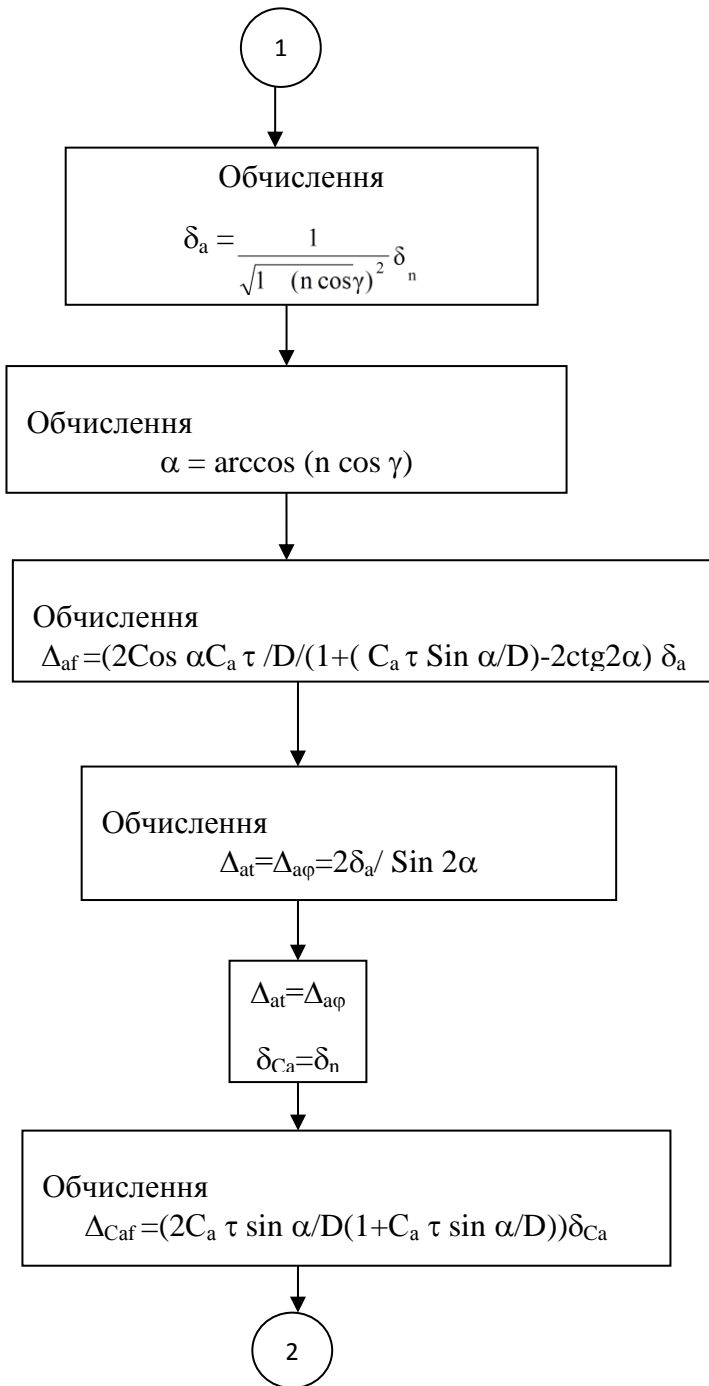
FI=0,0352

TF=0,0638

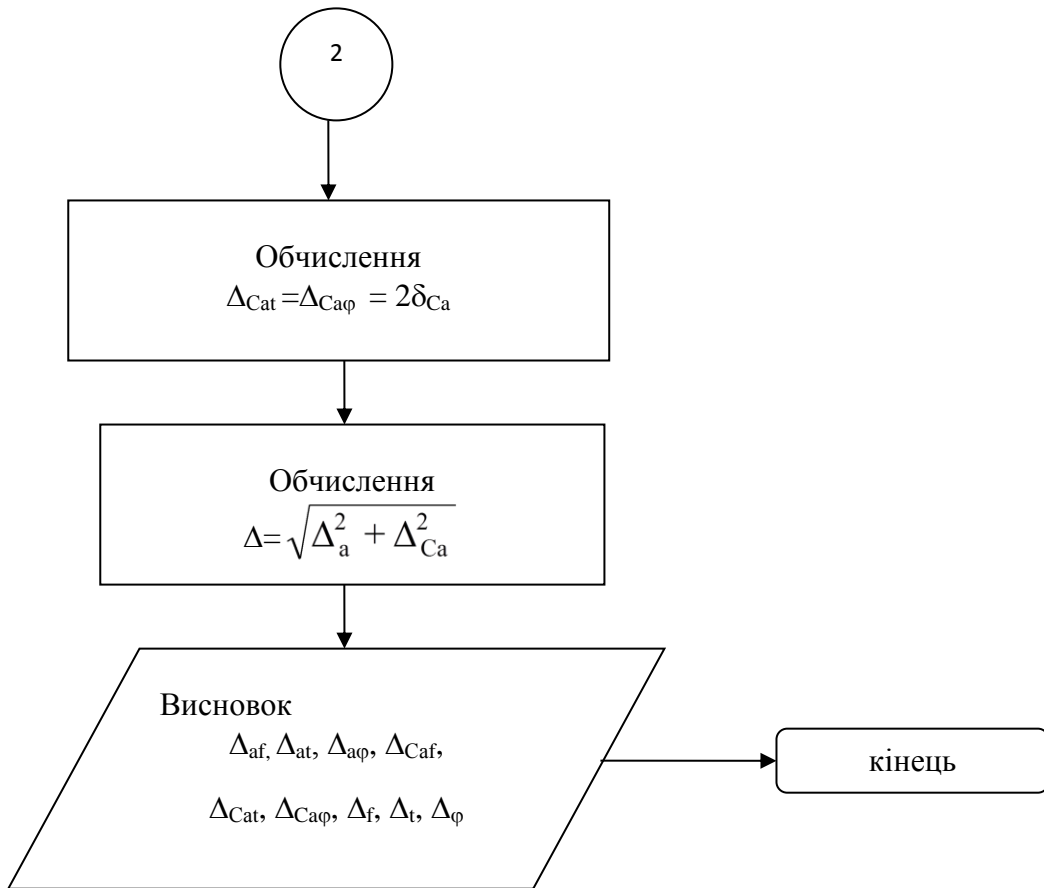
Додаток 2. Блок-схеми алгоритму обчислення похибок



Блок-схема алгоритму обчислення похибки



Продовження блок-схеми алгоритму обчислення
похибки



Продовження блок-схеми алгоритму обчислення похибки