

подкрепление тросами не только в одном сечении вдоль оси трубы, а и в нескольких.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. – Киев, Наукова думка, 1972 г. -501 с.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – Москва, Наука, 1974 г. – 580 с.
3. Машиностроение. Энциклопедический справочник. Т1, М., ГНТИ, 1947 г. -548 с.

УДК 355.77

*Чижов В.Ф., канд. техн. наук, доц., УЦЗУ,  
Семків О.М., канд. техн. наук, проректор, УЦЗУ,  
Метельов О.В., канд. техн. наук, декан, УЦЗУ,  
Силенко Р.М., ад'юнкт, УЦЗУ*

### **ЦИФРОВИЙ ВИМІРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ШВИДКОСТІ РУХУ ПОВІТРЯ В ЗАХИСНИХ СПОРУДАХ ЦИВІЛЬНОЇ ОБОРОНИ НА ОСНОВІ КРЕМНІЄВИХ ТЕРМОЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

(представлено д-ром хім. наук Калугіним В.Д.)

Розглянуто питання забезпечення і контролю необхідних значень показників мікроклімату в захисних спорудах цивільної оборони зі штучним середовищем мешкання (ЗС ЦО) шляхом використання цифрового вимірювача температури та швидкості руху повітря на основі кремнієвих термочутливих елементів

**Постановка проблеми.** Умовами надійного захисту людей від радіаційного, хімічного та біологічного забруднення у захисних спорудах цивільної оборони є забезпечення в них екологічних показників повітряного середовища, основними з яких є показники мікроклімату: температура, вологість та швидкість повітря. Ці показники встановлюються відповідними нормативними вимогами до середовища мешкання людини в умовах ЗС ЦО.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз існуючих методів оцінки мікрокліматичних умов у приміщенні зі штучним середовищем мешкання [1,2] показує, що визначення будь-якого показника мікроклімату можна звести до вимірювання температури. У зв'язку з цим, існуючий перелік рекомендованих засобів визначення параметрів мікроклімату можна замінити вимірвальним приладом з уніфікованими каналами вимірювання кожного параметру на основі термочутливого елемента (ТЧЕ). У той же час ТЧЕ, які виготовляються промисловістю (термопари, термоопори, термометри об'ємного та лінійного розширення, напівпровідникові оксидні термоопори та гетеродинні прилади), мають ряд недоліків, які не дозволяють використовувати їх в каналах вимірювання параметрів мікроклімату [1].

Розроблені первинні напівпровідникові вимірвальні перетворювачі мікрокліматичних параметрів на основі монокристалічного кремнію дифузійно легованого золотом з наступним повільним охолодженням [3] дозволяють виготовити цифровий вимірвач мікрокліматичних параметрів для моніторингу умов мешкання в ЗС ЦО.

**Постановка завдання та його вирішення.** Монокристалічні кремнієві ТЧЕ є функціонально-залежними перетворювачами, тобто елементами, що перетворюють вимірвальну температуру в функціонально-залежний параметр електричного опору.

Побудова вимірвальних пристроїв з функціонально-залежними первинними перетворювачами значно спрощується при використанні методів, основних на тестових перехідних режимах у вимірвальних колах. З врахуванням параметрів ТЧЕ інтерес представляють експоненціальні схеми з аперіодичними колами. Такі вимірвальні пристрої не потребують спеціальних напруг складних форм. Імпульсне живлення вимірвального кола забезпечує мале енергоспоживання, що дозволяє здійснювати мініатюризацію ТЧЕ при збереженні метрологічних показників.

Поведінка ідеалізованої аперіодичної системи при дії ступінчатої збуджуючої функції описується диференціальним рівнянням [4]

$$T \frac{dy}{d\tau} + y = \frac{Y}{r},$$

де :  $T = \frac{I}{r}$  - постійна часу системи;  $I$  – параметр, що характеризує інерційні властивості системи;  $r$  – параметр, що характеризує розсіювання енергії;  $y$  – значення вихідної функції;  $\tau$  – час;  $Y$  – збуджуюча функція, причому  $Y=0$  при  $\tau=0$  і  $Y=\text{const} \neq 0$  при  $\tau > 0$ .

Розв'язання рівняння при нульових початкових умовах має вигляд

$$y = \frac{Y}{r} (1 - e^{-\frac{\tau}{T}}).$$

Перехідний процес може бути використаний у вимірювальних колах для вимірювання параметрів системи  $I$ ,  $T$ ,  $\tau$ , а також величини збуджуючої функції. Кожен із цих параметрів лінійно або функціонально перетворюється в середнє значення  $\tau$  при відомих і незмінних інших параметрах. Реалізація метода зазвичай використовується при монократних збудженнях у вигляді серій прямокутних імпульсів заданої частоти.

Таким чином, при заданій величині опорного рівня  $y_0$  можливе визначення інтервалу часу з моменту  $\tau_0$  збуджуючої функції  $Y$  до моменту порівняння з миттєвим значенням  $Y(\tau)$

$$\tau_{cp} = T \cdot \ln \frac{1}{1 - \frac{y_0}{Y} * \alpha} = \frac{I}{\alpha} \cdot \ln \frac{1}{1 - \frac{y_0}{Y} * \alpha}.$$

З приведенного рівняння слідує, що можливо визначити значення фізичної величини, яка нас цікавить, якщо вимірювати постійну часу шляхом її перетворення в часовий інтервал при відомому постійному збудженні.

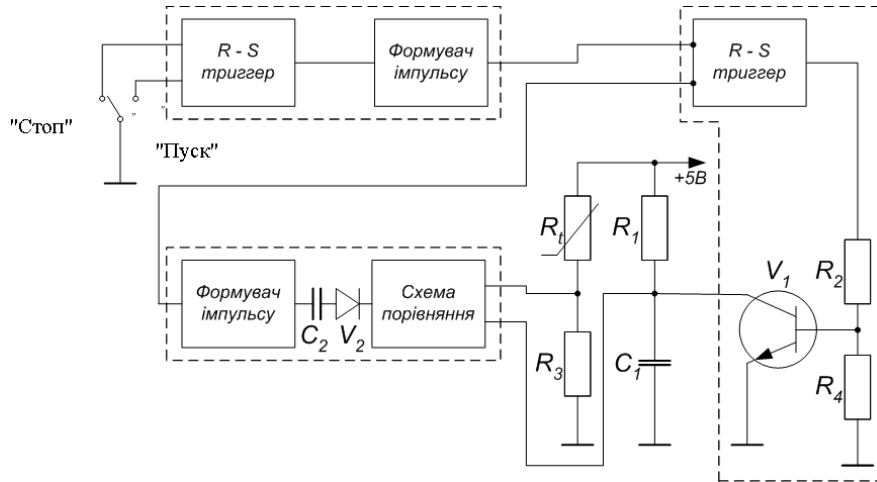
Подібні методи вимірів, що основані на аперіодичному перехідному процесі в ТЧЕ можуть бути реалізовані в ЗС ЦО у схемі цифрового вимірювача температури і швидкості руху повітря на основі кремнієвих термочутливих елементів.

На рис.1 представлена структурна схема експоненціального вхідного вимірювального пристрою, в якому робочий параметр ТЧЕ безпосередньо перетворюється в інтервал часу. Вимірювальний пристрій має дві гілки, що живляться різною напругою. Ланцюг  $R_2 R_4$  живиться постійним  $U_{on}$ , що є опорним в процесі пере-

---

Цифровий вимірювач температури та швидкості руху повітря в захисних спорудах цивільної оборони на основі кремнієвих термочутливих елементів

творення вимірювального параметра в часовий інтервал. Ланцюг  $R C$  живиться імпульсивною напругою (одиначний імпульс постійної амплітуди). Напруга  $U_1$  та  $U_2$  з виходів 1,2 подаються на вхід пристрою порівняння (компаратора).



**Рис. 1 – структурна схема експоненціального вхідного вимірювального пристрою**

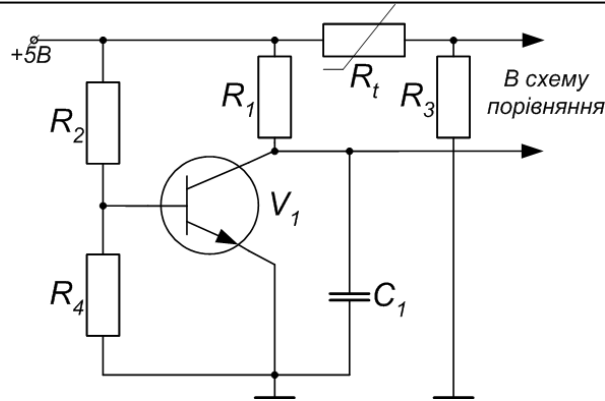
Для отримання потрібного ефекту перетворення ТЧЕ може бути включений замість будь-якого резистивного елемента структурної схеми. При цьому зміна робочого параметру буде змінювати або постійну часу ланцюгу  $R_1 C$ , або рівень опорної напруги, що задається ділянкою на резисторах  $R_2 R_3$ . І в тому, і в іншому випадку це призведе до зміни інтервалу часу, величина якого виражається виразом

$$\tau_n = R_1 C \ln \frac{R_2 + R_4}{R_2}.$$

В момент часу  $\tau_0$  подається одиничний імпульс тривалістю  $\tau_u = \tau_1 - \tau_0$  постійної амплітуди  $U_{cp}$ . Відбувається заряд конденсатора  $C_1$  і напруга  $U_1$  на вході «1» змінюється по закону

$$U_1 = U_{co} + (U_{cp} + U_{co})(1 - e^{-t/T}),$$

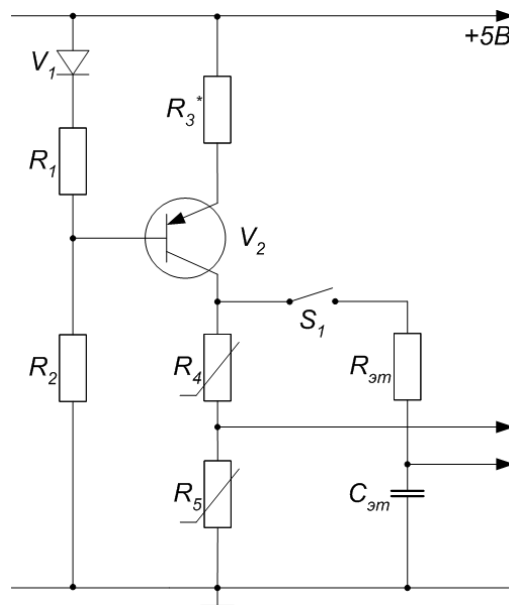
де:  $U_{co}$  – початкова напруга на конденсаторі;  $T = R_1 C$  – постійна часу ланцюга заряду конденсатора.



**Рис. 2 – Принципова електрична схема експоненціального перетворювача**

З ділянки  $R_2 R_4$  знімається напруга  $U_2$ , що подається на вхід 2. В момент рівності напруг  $U_1$  і  $U_2$  закінчується формування часового інтервалу  $\tau_{cp} - \tau_0$ , що відповідає визначеному значенню робочого параметру ТЧЕ.

Під час заповнення отриманого інтервалу часу стандартною частотою поряд з функціональним перетворенням вимірювального параметра можливе і його цифрове зображення.



**Рис. 3 – Експоненціальний перетворювач**

Принципова електрична схема експоненціального перетворювача (рис.2) була використана в якості вхідного ланцюга каналу вимірювання температури цифрового термоанемометра. ТЧЕ  $R_t$   
 Цифровий вимірювач температури та швидкості руху повітря в захисних спорудах цивільної оборони на основі кремнієвих термочутливих елементів

включений в ланцюг джерела опорної напруги  $+5\text{В}$  послідовно з резистором  $R_3$ .

У вхідного ланцюга каналу вимірювання швидкості повітряного потоку цифрового термоанемометра також використаний експоненціальний перетворювач (рис.3), але з двома ТЧЕ  $R_4$  і  $R_5$ . Обидва ТЧЕ ввімкнені в ланцюг навантаження генератора струму, що забезпечує термоанемометричний режим їх роботи. ТЧЕ  $R_5$  є термоанемометричним перетворювачем, що конструктивно розміщений на виносному щупі і може бути поміщений в потік, що досліджується, а  $R_4$  ізолюваний від обдуву потоком і слугує для термокомпенсації вимірювальної схеми.

Функціональна схема цифрового термоанемометра з експоненціальними перетворювачами в каналах вимірювання температури та швидкості повітряного потоку представлена на рис. 4.

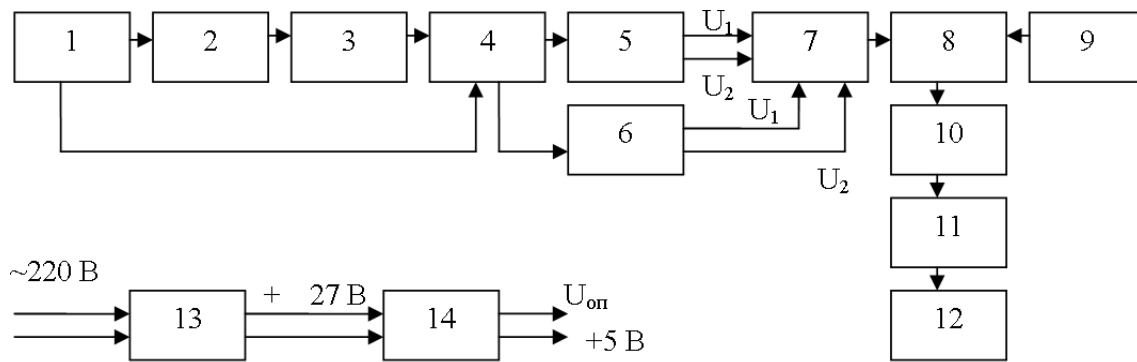


Рис. 4 – Функціональна схема цифрового термоанемометра

Сигнал від блоку управління 1 запускає генератор 2 одиночних імпульсів, імпульси якого після формувача 3 (канал – "старт") та перемикаючого пристрою 4, управління яким здійснює блок управління 1, надходять на відповідну  $RC$  – ланцюг експоненціальних вимірювачів 5 і 6. Напруга  $U_1$  і  $U_2$  з виходів вимірювачів 5 та 6 порівнюються схемою порівняння 7. При рівній напрузі схема порівняння 7 формує імпульс, який по каналу "стоп" надходить на вхід формувача часового інтервалу 8. Таким чином, вхідні вимірювальні пристрої каналів вимірювання температури і швидкості повітряного потоку цифрового термоанемометра працюють в режимі "старт-стоп", забезпечує формування часових інтервалів, що пропорційні зміні опору ТЧЕ. Сформований часовий інтервал при вимірюванні температури або швидкості повітряного потоку заповнюється лічильними імпульсами від генератора лічильних імпульсів 9, які фіксуються в двійково-десятковому лічильнику 10 та

Чіжов В.Ф., Семків О.М., Метельов О.В., Силенко Р.М.

через дешифратор 11 відображається блоком 12 цифрової індикації.

Живлення приладу виконується від випрямляча 13 та блока 14 стабілізованої напруги.

Для підвищення надійності приладу, покращення метрологічних характеристик, технологічності та ремонтпридатності, зменшення габаритів та ваги схеми приладу була виконана на інтегральних мікросхемах серії 155 (134), а в схемах експоненціальних перетворювачів використані високо стабільні резистори типу С5-5-1, ППМЛ-М-1 та конденсатори типу ФТ-1.

**Висновок.** На основі аналізу методів оцінки кліматичних умов у ЗС ЦО запропонований метод виміру мікрокліматичних параметрів, що оснований на аперіодичному перехідному процесі в термочутливому елементі.

Розроблені первинні напівпровідникові вимірювальні перетворювачі мікрокліматичних параметрів на основі монокристалічного кремнію дифузійно легованого золотом з наступним повільним охолодженням.

Розроблений цифровий термоанемометр з експоненціальними перетворювачами в каналах вимірювання температури та швидкості повітряного потоку для використання в ЗС ЦО.

## ЛІТЕРАТУРА

1. И.Т. Шефтель. Терморезисторы. Монография. М. "Наука", 1973. –416 с.
2. Приборы для измерения температуры контактным способом. Под ред. Р.В. Бычковского. Львов. "ВШ", 1978. – 208 с.
3. АС № 950107 (СССР) Способ изготовления монокристаллических преобразователей температуры/ Чижов В.Ф. и другие.
4. Болтянский А.Л. , Райко Б.К., Скобелев О.П., Старобинский Н.М. Построение преобразователей при использовании свойств переходных процессов// Измерительная техника. – 1969. – №4. – С.47–49.