

ТЕПЛОВІ ПОЖЕЖНІ СПОВІЩУВАЧІ

План лекції.

1. Поняття та математична модель теплового максимального пожежного сповіщувача
2. Принципи роботи та математичні моделі диференційних та динамічних пожежних сповіщувачів
3. Фізичні основи роботи теплових пожежних сповіщувачів

1. ПОНЯТТЯ ТА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО МАКСИМАЛЬНОГО ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩУВАЧА

Дуже часто в якості первинної ознаки на початковій стадії розвитку пожежі домінує випромінювання теплової енергії, що розповсюджується за допомогою повітряних потоків, теплопровідності середовища та випромінювання над її осередком.

Як правило, теплові сповіщувачі спрацьовують при перевищенні певного максимального значення температури, або певного значення швидкості зростання температури середовища, що контролюється. Як уже згадувалось вище, за порогом спрацьовування теплові сповіщувачі можна поділити на максимальні та диференційні (динамічні).

Загальний алгоритм роботи максимальних теплових пожежних сповіщувачів, які спрацьовують при перевищенні порогового значення температури навколишнього середовища, описується узагальненою схемою, що ми розглянули на попередній лекції.

Якщо чутливий елемент теплового ПС складається з однорідного матеріалу, а також не враховується зміна температури вздовж зовнішньої нормалі до поверхні контакту повітряного середовища з чутливим елементом, диференційне рівняння теплового точкового ПС може бути в першому наближенні записано в наступному вигляді:

$$T \cdot \frac{dU}{dt} + U(t) = \theta(t),$$

де – U температура чутливого елемента теплового ПС, θ – температура навколишнього середовища; T – постійна часу, що визначається виразом:

$$T = \frac{m \cdot c}{\alpha \cdot S},$$

m – маса чутливого елементу ПС, c – питома теплоємність, α – коефіцієнт теплопередачі поверхні, площа якої S .

Передаточна функція такого ПС має вид

$$W(p) = \frac{U(p)}{\theta(p)} = \frac{1}{T \cdot p + 1}$$

2. ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ

Перевагою диференційних (динамічних) теплових пожежних сповіщувачів є те, що вони здатні сформувати сигнал про пожежу за менший проміжок часу. Але, як недолік, їх використання практично не можливо в умовах зі значними коливаннями температури навколишнього середовища. Максимальні теплові пожежні сповіщувачі, навпаки, в таких умовах мають більшу стійкість до помилкових спрацьовувань. Диференційні теплові пожежні сповіщувачі набули значного поширення завдяки функціональній здатності реагувати на швидкість зміни температури. Це надто важливо у тих ситуаціях, коли за нормальних умов температура у приміщенні може змінюватися в широкому діапазоні, що може мати місце в наступних випадках:

- приміщення не опалюються та експлуатуються в кліматичних умовах зі значними сезонними коливаннями температур;
- виробництва, в яких є технологічні процеси, які передбачають зміну температури в широких межах;
- виробничі площі, в яких передбачається можливість швидкого перепрофілювання існуючого виробництва.

Одним із способів побудови диференційних сповіщувачів є використання двох чутливих елементів (рис. 2), що мають різні постійні часу. При цьому інші параметри чутливих елементів ідентичні.

Структурно-динамічну схему такого сповіщувача можна представити за допомогою двох позиційних елементів з різною сталою часу (T_1 та T_2), включених узгоджено-паралельно один до одного (рис. 2)

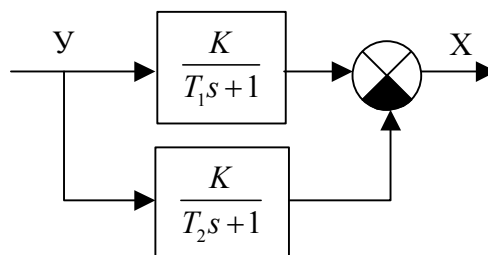


Рис. 2 – Структурно-динамічна схема диференціального теплового пожежного сповіщувача:

X – зображення вихідного сигналу, сформованого диференціальним ПС;
Y – зображення вхідного сигналу (температури).

Еквівалентне диференціальне рівняння даної структурно-динамічної схеми має вигляд:

$$T_1 \cdot T_2 \cdot \frac{d^2}{d\tau^2} \bar{x} + (T_1 + T_2) \cdot \frac{d}{d\tau} \bar{x} + \bar{x} = K \cdot (T_2 - T_1) \cdot \frac{d}{d\tau} \bar{y}, \quad (1)$$

де $\bar{x}$ – відносне значення сигналу на виході ПС;

$\bar{y}$ – відносне значення сигналу на вході ПС.

Видно, що сигнал на виході пропорційний швидкості сигналу на вході:

$$\bar{x} \approx \frac{\partial \bar{y}}{\partial \tau}.$$

Технічна реалізація таких диференціальних сповіщувачів зводиться до часткової термоізоляції одного з двох або половини з усіх чутливих елементів сповіщувача.

Будова сучасних пожежних сповіщувачів, що використовують мікропроцесори, заснована на чисельному диференціюванні сигналу чутливого елемента. У пожежних сповіщувачів із цифровою обробкою сигналів час опитування чутливого елемента дискретний й становить величину $\Delta\tau$. Якщо в момент часу i чутливий елемент сповіщувача формує сигнал y_i , то в наступний момент часу $i+1$ значення сигналу чутливого елемента буде y_{i+1} . Швидкість зміни вхідного сигналу можна обчислити по формулі:

$$\frac{dy}{d\tau} \approx \frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta\tau}.$$

Пожежні сповіщувачі, що реалізують чисельне диференціювання вхідного сигналу іноді називають динамічними сповіщувачами.

3. ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ ПОЖЕЖНИХ СПОВІЩУВАЧІВ

На сьогоднішній день в конструкціях теплових пожежних сповіщувачів використовуються наступні фізичні явища:

- використання залежності опору напівпровідника від температури;
- використання залежності величини термоелектрорушійної сили (термо-ЕРС) від температури;
- використання залежності лінійних розмірів металів від температури;

- використання легкоплавких сплавів;
- використання залежності магнітних властивостей феритів від температури.

3.1. Залежність опору напівпровідникового елементу від температури

В основу таких ПС покладена залежність опору терморезистора (термістора) від температури. Терморезистор включають у мостову схему (рис. 3).

Якщо міст збалансований:

$$U_T = U_B,$$

то в діагоналі моста відсутня різниця потенціалів і струм через навантажувальний опір дорівнює нулю. При зміні температури змінюється опір терморезистора й міст розбалансується й у діагоналі моста з'являється струм пропорційний зміні опору терморезистора то б то пропорційно температурі. При досягненні деякого граничного рівня формується сигнал тривоги. За такою схемою будуються сповіщувачі максимального типу. В 60-х роках двадцятого сторіччя радянською промисловістю випускався сповіщувач ПОСТ-1 (ДМ).

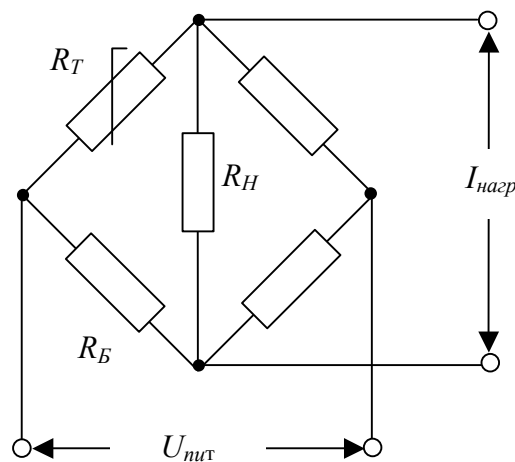


Рис. 3 – Мостова схема підключення терморезистора

Для одержання інформації про швидкість зміни температури замість балансного опору R_E підключають ще один терморезистор R_{T2} з таким же опором, як і в робочого резистора, але більшою інерційністю по температурі. Для зменшення інерційності робочого терморезистора по температурі його обладнували спеціальним радіатором. При повільній зміні температури опір обох терморезисторів змінюються однаково й електронний міст залишається збалансованим — струм у вимірювальній діагоналі відсутній. При швидкій зміні температури робочий терморезистор прогрівається швидше і його опір

змінюється на більшу величину, чим балансірного у вимірjuвальній діагоналі моста з'являється струм пропорційний швидкості зміни температури. При небезпечній швидкості зміни температури – формується сигнал тривоги. Схема побудови такого диференціального сповіщувача була реалізована в сповіщувачі ИП-101-2, за радянських часів він виготовлявся на Московському заводі електровимірjuвальних приладів.

3.2. Залежність термо-ЕРС від температури

Робота значної кількості теплових пожежних сповіщувачів базується на ефекті Зеебека. Який полягає в появі термоелектрорушійної сили (термо-ЕРС) в ланцюзі, складеному з двох різнорідних провідників за нерівності температур у місцях з'єднання цих провідників (рис. 4). Сукупність таких провідників називається термопарою. Сучасна фізика пояснює термоелектричні явища в таким чином. З одного боку, унаслідок розходження рівнів Фермі в різних металах при їх стиканні виникає контактна різниця потенціалів. З іншого боку, концентрація вільних електронів у металі залежить від температури. За наявності різниці температур у провіднику виникає дифузія електронів, що приводить до утворення електричного поля. Таким чином, термо-ЕРС складається із суми стрибків потенціалу в контактах (спаях) термопари і суми змін потенціалу, викликаних дифузією електронів, і залежить від роду провідників та їх температури.

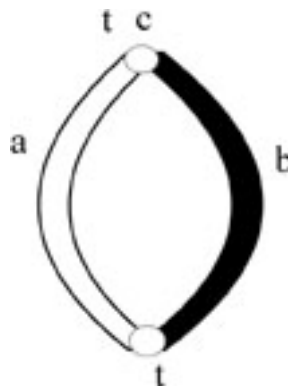


Рис. 4 – Термоелектричний ланцюг

Якщо в ланцюзі (рис. 4) температури місць з'єднання провідників а і b будуть однакові й рівні t , то й різниці потенціалів будуть рівні за значенням, але мати різні знаки:

$$e_{ab}(t) = -e_{ba}(t),$$

а сумарна термо-ЕРС і струм у ланцюзі будуть дорівнювати нулю:

$$E_{ab}(t, t) = e_{ab}(t) - e_{ba}(t) = 0.$$

Якщо $t \neq t_0$, то сумарна термо-ЕРС не дорівнює нулю:

$$E_{ab}(t, t_0) = e_{ab}(t) - e_{ab}(t_0) \neq 0,$$

тому що різниці потенціалів для тих самих провідників за різних температур не рівні: $e_{ab}(t) \neq e_{ba}(t_0)$. Результуюча термо-ЕРС залежить для даних провідників a і b від температур t і t_0 . Щоб одержати однозначну залежність термо-ЕРС від температури t , необхідно створити умови при яких температура t_0 буде залишатися постійною.

В пожежних сповіслювачах реалізовані різні способи з'єднання термопар. Найбільш розповсюджені з них – термобатарея (рис. 5) і диференціальна термопара (рис. 6). Для збільшення коефіцієнта перетворення термопари застосовують послідовне включення декількох термопар (термобатарею). При цьому термо-ЕРС, що розвивається термопарами, додається, тобто термо-ЕРС термобатареї, що складається з n термопар, у n раз більше термо-ЕРС окремої термопари. Таке включення застосовують для визначення малих різниць температур робочого t і вільного t_0 кінців. Для збільшення різниці температур між кінцями, а як наслідок величини термо-ЕРС, робочі кінці споряджають радіаторами з металу з високою теплопровідністю.

Дуже часто виникає необхідність виміру швидкості зміни температури. Для цього робочий спай термопари розташовують в одній із точок, а вільні кінці – в іншій точці. У цьому випадку термо-ЕРС, що розвивається на контактах схеми, буде визначатися температурами робочого спаю t_1 і вільних кінців t_2 :

$$E(t_1, t_2) = e(t_1) - e(t_2). \quad (2)$$

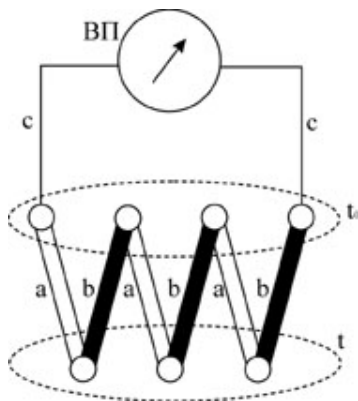


Рис. 5 – Термобатарея

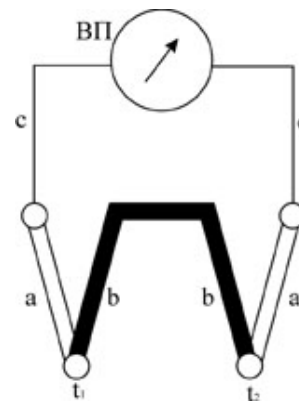


Рис. 6 – Диференціальна схема включення термопар

В разі розташування всієї термопари в середовищі з однаковою температурою робочий спай споряджають теплоприймачем, а вільні кінці залишаються без змін. За рахунок того, що робочий спай прогріється швидше ніж вільні кінці, вихідний сигнал також буде складати різницю термо-ЕРС між спаями.

Якщо в інтервалі температур $t_1 \div t_2$ залежність термо-ЕРС від температури (2) може бути апроксимована лінійною залежністю, то рівняння прийме вид:

$$E(t_1, t_2) = k (t_1 - t_2).$$

Така лінійна апроксимація звичайно справедлива для будь-якої термопари за різниці температур, що не перевищує 20–25 °С.

При технічній реалізації диференційних пожежних сповіщувачів термопари включені за диференційною схемою поєднують в батарею для збільшення величини термо-ЕРС на виході сповіщувача. Наприклад, в сповіщувачах ДПС-038 (виробництва завод "Мікроприлад" м. Львів) вихідна термо-ЕРС складає 17 мВ, для підключення сповіщувача до приймально-контрольного приладу пожежного застосовується проміжний виконавчий орган ПІО-017, який за допомогою високо поляризованих реле перетворював термо-ЕРС в розмикання ланцюга шлейфу.

3.3. Залежність лінійних розмірів чутливого елемента від температури.

В основу принципу дії цих сповіщувачів покладена властивість матеріалів розширюватися при збільшенні температури. При цьому коефіцієнт лінійного розширення залежить від природи матеріалу. Наприклад, якщо взяти два стрижні однакової довжини в нормальних умовах, то при зміні температури довжина стрижнів уже буде різнитися. Знаючи коефіцієнт лінійного розширення використовуваних матеріалів і різницю в довжині стрижнів можна обчислити вимірювану температуру.

Датчики температури, побудовані на такому принципі, називаються ділатометричними. Чим більше різниця в коефіцієнтах лінійного розширення й чим довжина стрижня більша, тим меншу зміну температури можна зафіксувати. Звичайно ділатометричну систему виконують у вигляді трубки з латуні й інварового стрижня (рис. 7).

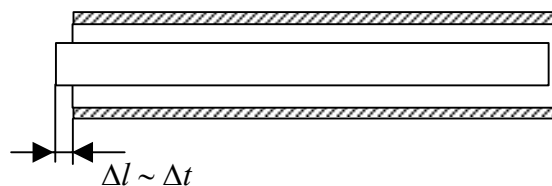


Рис. 7 – Ділатометричний датчик температури

Якщо дві пластини з різними коефіцієнтами лінійного розширення з'єднати між собою, то при збільшенні температури система буде деформуватися у бік пластини з меншим коефіцієнтом лінійного розширення.

Біметалеві пластини застосовуються в різного роду термореле, для замикання (розмикання) контактів і вимірниках температури.

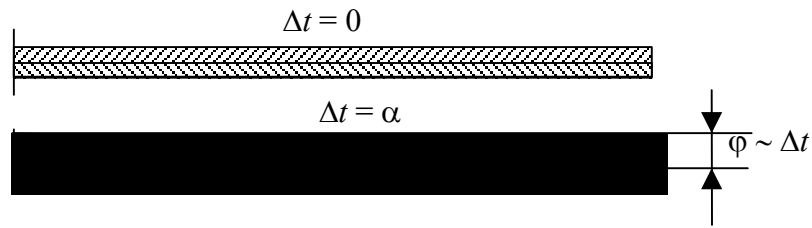


Рис. 8 – Біметалеві пластини

3.4. Використання легкоплавких сплавів

В основу принципу дії таких сповіщувачів покладена властивість сплавів металів плавитися при температурах істотно більш низьких, чим температури плавлення чистих металів, що входять до складу сплаву. Пожежні сповіщувачі працюючі на даному принципі мають підпружинені контакти, запаяні легкоплавким сплавом Вуда. При досягненні небезпечної температури сплав розплавляється й контакти розмикаються.

Сплав ВУДА – легкоплавкий ($t_{пл}$ 68 °C) сплав Bi (50%), Pb (25%), Sn (12,5%) і Cd (12,5%). Застосовується в деяких протипожежних пристроях і сигнальних апаратах, для виготовлення ливарних моделей, заливання металографічних шліфів і т.д. Запропонований в 1860 англійським інженером Б. Вудом.

На сьогоднішній день розглянутий принцип в побудові пожежних сповіщувачів не використовується, тому що такі сповіщувачі є не відновлювальними, то б то одноразової дії.

3.5. Залежність магнітної проникності матеріалу від температури.

В основу принципу дії таких сповіщувачів покладена залежність магнітних властивостей феритів від температури. Температура при якій ферити втрачають свої магнітні властивості називається точкою Кюрі. Для різних феритів точка Кюрі має різне значення, що дозволяє розробляти сповіщувачі з таким принципом для різних граничних рівнів.

До складу такого сповіщувача входить геркон — скляна трубка, наповнена інертним газом, з магнітокерованими контактами. На герконові закріплені два кільцевих магніти, між якими розташований ферит з низькою точкою Кюрі, разом вони утворюють магнітну систему. Під дією магнітного поля цієї системи контакти геркона замкнуті. Якщо температура навколишнього середовища досягає точки Кюрі застосовуваного фериту, його магнітна проникність різко зменшується, зменшуючи магнітне поле магнітної системи. Контакти геркона розмикаються, і формується сигнал тривоги.

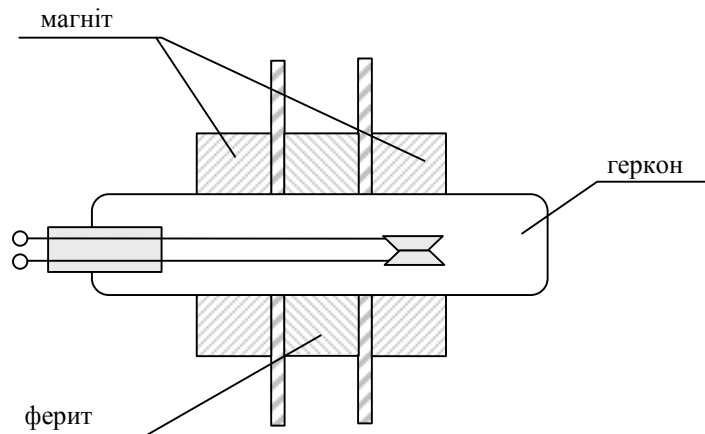


Рис. 9 – Схема теплового магнітного сповіщувача

Для зменшення інерційності сповіщувача між магнітами й феритом установлюються тепло радіатори.

3.6. Залежність об'ємного розширення від температури.

В основу принципу дії таких сповіщувачів покладене рівняння Менделєєва – Клапейрона для ідеальних газів.

$$PV = RT$$

Тоді для замкнутого об'єму, тиск газу буде змінюватись пропорційно температурі.

$$P = \frac{R}{V}T$$

Конструктивно такий датчик температури являє собою герметичний сильфон. При зміні температури тиск повітря усередині сильфона змінюється й сильфон розширюється пропорційно зміні температури.

Диференційний сповіщувач, що працює на цьому принципі, містить у конструкції сильфона капілярний отвір. Завдяки отвору, при повільній зміні температури тиск усередині й зовні сильфона залишається однаковим. При швидкій зміні температури повітря не встигає вийти через капіляр і усередині сильфона з'являється надлишковий тиск пропорційне швидкості зміні температури.

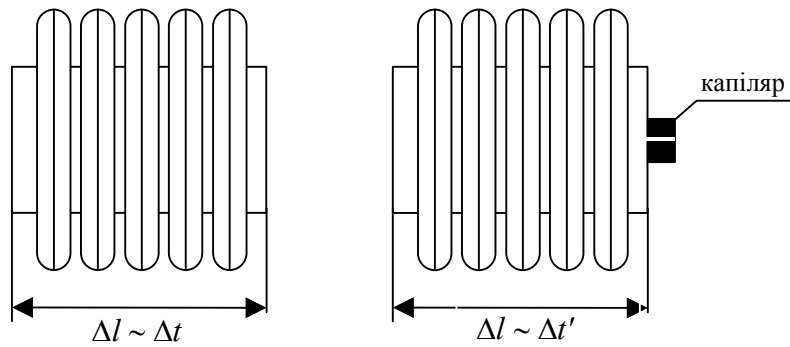


Рис. 10 – Максимальний і диференціальний манометричний датчик температури

Розглянутий принцип реалізований в точкових сповіщувачах закордонного виробництва. Сповіщувачі AHR-871 ("Horing Lih Industrial Co., Ltd", Тайвань) та HL 873-20 ("HL Electronics, Ltd") є тепловими диференційними сповіщувачами. Також даний принцип застосовується в сповіщувачах теплових лінійних швейцарської фірми Securiton SecuriSense® ADW 511, мова про які піде нижче.

Завдання на самопідготовку

1. Бубырь Н.Ф. и др., Пожарная автоматика. С. 9-25.
2. Системи пожежної та охоронної сигналізації. Текст лекцій С. 28- 46