

*А.В. МИЛАШИЧ, О.О. ЧЕПЕЛЮК***АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕЛЕ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ**

У статті проаналізовано функціональні особливості реле контролю температури від провідних виробників. Описано основні типи реле, їхні режими роботи, використовувані датчики температури та принципи функціонування. Особлива увага приділяється алгоритмам роботи термісторних реле та перспективам їх удосконалення з метою підвищення ефективності та надійності контролю температури.

Ключові слова: нагрів, температурний захист, контроль температури, реле, термістор, датчик опору, реле температурного захисту, реле контролю температури.

*A.V. MYLASHYCH, O.O. CHEPELIUK***ANALYSIS OF FUNCTIONAL FEATURES OF TEMPERATURE CONTROL RELAY**

The article analyzes the functional features of temperature control relays from leading manufacturers. The main types of relays, their operating modes, used temperature sensors and principles of operation are described. Special attention is paid to the algorithms of thermistor relays and the prospects for their improvement in order to increase the efficiency and reliability of temperature control.

Keywords: heating, temperature, temperature protection, temperature control, relay, thermistor, resistance sensor, temperature protection relay, temperature control relay.

Вступ. На сьогоднішній день реле контролю температури можна поділити на дві групи: реле температурного захисту та реле контролю (регулювання) або моніторингу температури.

Реле температурного захисту, до яких відносяться термісторні реле – це електричні апарати для захисту електричних машин чи інших електромеханічних систем від перегріву, реле контролю (регулювання) або моніторингу температури – це електричні апарати призначені для відстежування рівня температури та/або його регулювання.

Різниця між цими типами термореле полягає не лише в їх функціях, а й в датчиках, які вони використовують, та в технічній реалізації процесу контролю чи керування (мікропроцесорні або аналогові).

Термісторні реле, як правило, використовують РТС або NTC термістори з різкою зміною опору при наближенні до критичних значень температури, тоді як реле контролю та регулювання використовують термопару чи датчики опору RTD (Resistance Temperature Detectors) PT100 або PT1000, так як вони є більш точними, що важливо в системах регулювання та моніторингу, і є надлишковими в захисті, наприклад, обмоток асинхронних електродвигунів від перегріву.

Мета роботи – дослідження та аналіз функціональних особливостей сучасних контролю температури.

Термісторні реле. Структура термісторного реле з мікропроцесорним керуванням (рис. 1) має вісім основних складових, описаних нижче.

1. Мікропроцесор. Відповідає за обробку даних, виконання алгоритмів керування та режимів роботи системи.

2. ПЗП (постійний запам'ятовуючий пристрій). Відповідає за зберігання робочої програми (режимів роботи, алгоритмів керування тощо).

3. АЦП (аналого-цифровий перетворювач). Відповідає за конвертування аналогового сигналу в цифровий та передає дані мікропроцесору, може використовуватись, як вбудований АЦП, так і зовнішній пристрій.

4. Інтерфейс користувача (система вводу та

виводу інформації). Відповідає за програмування реле (задання режимів роботи, вибір типу температурного датчика, уставок тощо) та інформування користувача про стан реле, його активний режим роботи. Для роботи з інтерфейсом користувача можуть використовуватись:

- **Кнопки:** налаштування параметрів (поріг спрацювання, час затримки тощо).

- **ЖК-дисплей:** відображення поточних значень температури, стану пристрою, налаштувань.

- **Світлодіодний індикатор (LED):** індикація стану (робота, аварія, перевищення температури).

5. Драйвери комутаційної групи. Відповідають за подачу живлення на обмотки реле комутаційних груп.

6. Комутаційні групи 1 та 2. Два незалежні виходи, зазвичай релейні, які реагують на аварійні ситуації або перевищення температури. Кількість релейних груп може коливатись в залежності від виробника.

7. Температурні датчики. Відповідають за контроль температури обмоток асинхронних електродвигунів. Можуть використовуватись напівпровідникові РТС термістори(найбільш поширено), також NTC термістори або RTD типу PT100 чи PT1000.

8. Система бездротового зв'язку. Відповідає за передачу даних до інших систем або пристроїв, можуть використовуватись такі протоколи зв'язку як: **UART, RS-485** та інші.

Принцип роботи реле базується на безперервному вимірюванні температури контрольованого об'єкта. Термістори, встановлені у критичних точках (в обмотках електродвигуна, підшипникових вузлах), передають аналоговий сигнал до аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Останній перетворює його у цифрову форму та передає на обробку мікропроцесору.

Мікропроцесор аналізує отримані дані та порівнює їх із заданими пороговими значеннями, які зберігаються у постійній пам'яті (ПЗП). Якщо температура залишається в межах норми, реле продовжує працювати у штатному режимі. При перевищенні критичного значення запускається програма аварійного реагування. У разі перегріву пристрій може виконувати кілька дій:

активувати світлодіодний або звуковий сигнал для попередження, відключити електродвигун чи інше навантаження чи передати аварійний сигнал через комутаційні групи, передати інформацію про аварію через бездротові інтерфейси (наприклад, UART або RS-485).

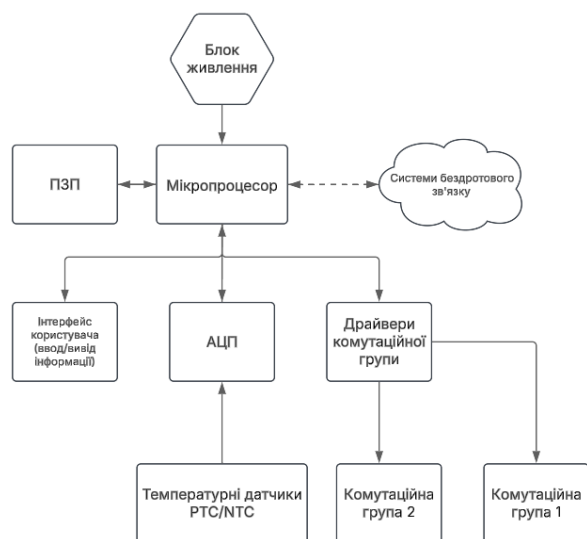


Рис. 1. Структурна схема мікропроцесорного термісторного реле захисту

Користувач може контролювати та налаштовувати параметри реле через вбудований інтерфейс. Для цього використовуються кнопки керування, ЖК-дисплей, для візуального відображення параметрів та стану пристрою, або також світлодіодні індикатори, які сигналізують про режим роботи, аварійне спрацювання чи перевищення температури.

Для візуалізації можливих режимів роботи та їх застосування виробники, в мануалах до своїх реле, надають опис режимів роботи або функціональні схеми.

Функціональні особливості термісторних реле. Незважаючи на те, що всі термісторні реле є схожі за принципом дії, вони все ж таки відрізняються низкою функціональних особливостей, які визначають їх ефективність у захисті електрообладнання та/або електричних машин.

Основними функціональними відмінностями є:

Типи термісторів:

- PTC (Positive Temperature Coefficient) – при зростанні температури опір термістора різко збільшується, що забезпечує чіткий поріг спрацювання;

- NTC (Negative Temperature Coefficient) – при зростанні температури опір термістора зменшується, цей тип термістора частіше застосовують в точному температурному моніторингу;

- комбіноване застосування – деякі реле здатні працювати з обома типами термісторів (наприклад, реле *Siemens 3RN* підтримує як PTC, так і NTC [1]).

Сучасні термісторні реле здатні не тільки ефективно захищати обмотки електродвигунів від перегріву, а й мають додаткові функціональні можливості, що підвищує ефективність захисту, діагностики, зручність використання та полегшує інтеграцію реле в існуючі схеми захисту та управління електродвигунами.

Основні режими роботи:

- нормальний або робочий режим – коли температура залишається в межах, яка зазначена класом ізоляції обмоток двигуна, реле підтримує роботу електродвигуна, контролюючи температуру;

- аварійне відключення – коли температура наближається до граничних, або більших значень опір термістора різко зростає, що є сигналом для термісторного реле для відключення електродвигуна;

- повернення у нормальний або робочий режим – після зниження температури електродвигуна можливі два варіанти повернення реле у робочий режим. Перший – це автоматичне скидання (самоповернення), коли реле самостійно повертається у нормальний режим після охолодження електродвигуна та зменшення опору термістора. Другий – без самоповернення (реле не повернеться до робочого режиму без втручання оператора, який повинен натиснути на лицьовій панелі кнопку «Reset»).

До додаткових режимів роботи можна віднести:

- самодіагностика – реле контролює справність підключених до нього температурних датчиків (термісторів) та буде сигналізувати про їх обрив або коротке замикання.

- гістерезис – визначає різницю між температурою спрацювання реле та температурою його повернення в нормальний стан, завдяки цьому можна уникнути ситуації з частими комутаціями електродвигуна через незначні температурні коливання (наприклад, реле **ABB CM-MSE** [2]).

- підключення декількох термісторів – реле може використовувати для контролю температури, як один термістор, так і декілька, найчастіше – три або шість.

Не зважаючи на те, що термісторні реле з мікропроцесорним керуванням, на сьогоднішній день, є більш актуальними та мають більше функціональних можливостей, однак свою частку ринку залишають за собою і термісторні реле з аналоговим керуванням.

На рис. 2 зображено принципову базову електричну схему аналогового термісторного реле захисту.

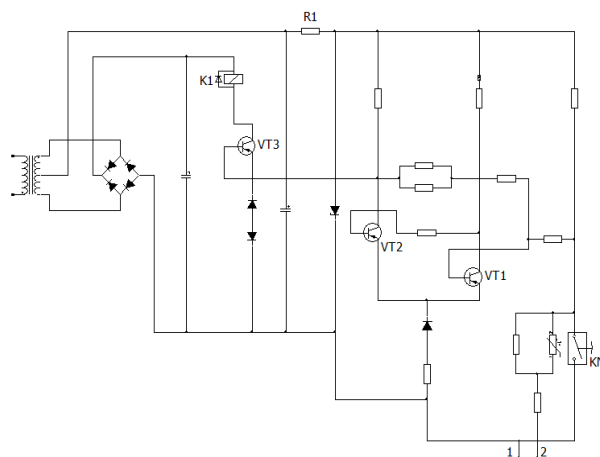


Рис. 2. Приклад електричної схеми аналогового термісторного реле температурного захисту

Принцип дії: до контактів 1, 2 (рис. 2) підключаються термістори, встановлені в асинхронному двигуні

(рис. 3). Транзистори VT1 та VT2 утворюють тригер Шмітта і працюють у ключовому режимі, а VT3 керує реле K, яке подає сигнал на пускач електродвигуна.

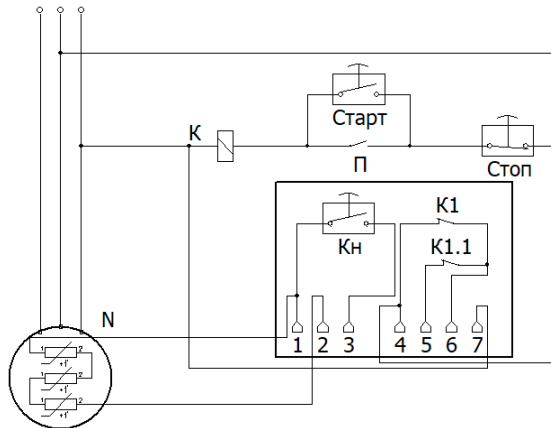


Рис. 3. Схема підключення термісторного реле захисту до двигуна

Нормальний режим – при допустимій температурі двигуна опір термісторів малий. Внаслідок цього: VT1 закритий, VT2 відкритий, VT3 закритий, а напруга на реле K недостатня для його спрацювання і двигун працює.

Зі зростанням температури опір термісторів збільшується. Коли він досягає порогового значення - тригер спрацьовує: VT2 закривається, VT3 відкривається, реле K активується, розмикаючи ланцюг живлення пускача, двигун відключається від мережі. Завдяки емітерному та колекторному зворотному зв'язку тригер працює в релейному режимі, забезпечуючи чітке перемикання між станами [3].

Реле контролю температури. Реле контролю температури є важливою частиною сучасних систем автоматизації та безпеки, забезпечуючи надійний моніторинг і регулювання температурних параметрів у різних галузях промисловості. Провідні виробники, такі як ABB, Siemens, Schneider Electric та інші, пропонують широкий спектр таких пристроїв з різноманітними функціональними можливостями.

Режими роботи реле контролю температури. Реле контролю температури можуть працювати в різних режимах, залежно від специфіки застосування та вимог користувача. Основні режими включають:

- **Режим контролю граничних значень:** реле спрацьовує при досягненні температурою встановленого порогу. Спрацювання може відбуватися, як при перевищенні заданого значення так і при його пониженні.

- **Диференційний режим:** реле реагує на різницю температур між двома точками. Це корисно в системах опалення, де необхідно підтримувати певний температурний діапазон.

- **Програмований режим:** деякі реле дозволяють задавати складні алгоритми роботи з урахуванням часу доби, днів тижня тощо.

- **Багатоканальний режим:** реле контролює відразу декілька зон, як незалежно одна від одної, так і

об'єднуючи зони в єдину автоматизовану систему.

Датчики температури. Для забезпечення точного контролю температури реле використовують різні типи датчиків:

- **Термістори (NTC/PTC):** Ці датчики змінюють свій опір залежно від температури. Наприклад, Schneider Electric пропонує датчики NTC з високою чутливістю та точністю, які використовуються в системах вентиляції та кондиціонування. Такі датчики здатні визначати лише порогові значення температур.

- **Термопары:** Використовуються для вимірювання температур.

- **PT100 та PT1000:** застосовуються для забезпечення максимальної точності вимірювання температури, цей тип датчиків є одним з самих точних, але й одним з самих дорогих.

Алгоритм роботи. Загальний алгоритм роботи реле контролю температури можна описати наступним чином:

- **Вимірювання температури:** датчик встановлюється в контрольованій зоні та постійно вимірює поточну температуру.

- **Передача сигналу:** отримане значення температури перетворюється в електричний сигнал, який передається на вхід реле.

- **Порівняння з заданим значенням:** реле порівнює отримане значення температури з встановленим порогом або діапазоном.

- **Прийняття рішення:** якщо температура виходить за межі допустимого діапазону, реле спрацьовує, активуючи або деактивуючи підключене обладнання.

- **Зворотний зв'язок:** після нормалізації температури реле повертається в початковий стан, відновлюючи роботу системи.

Такий алгоритм забезпечує надійний контроль температурних параметрів, запобігаючи перегріву або переохолодженню обладнання та підтримує оптимальні умови роботи.

Деякі моделі таких реле можуть мати декілька незалежних каналів вимірювання температури та відповідно також два незалежні релейних виходи, наприклад реле від ABB моделі CM-TCN [4] має загалом три канали, один з яких є незалежним від двох інших.

Реле температурного захисту по праву набули популярності через їх ефективність та простоту, та саме через це багато мультифункціональних реле мають, в якості додаткової функції, порт для підключення температурних датчиків. Такі реле можуть мати як функції температурного захисту, так і регулювання температури.

Висновок. У результаті аналізу функціональних можливостей термісторних реле захисту та реле контролю температури можна зробити наступні висновки:

- Термісторні реле є ефективним засобом захисту асинхронних електродвигунів від перегріву та забезпечують швидке спрацювання при досягненні критичних температур.

- Реле контролю температури забезпечують досить точний моніторинг та надають можливість

регулювання температури в промислових виробничих ланцюгах.

• Додаткові функціональні можливості, такі як: самодіагностика, гістерезис, підтримка кількох термісторів та бездротова передача даних, роблять сучасні реле більш гнучкими у застосуванні.

Подальший розвиток реле температурного захисту доцільно зосереджувати на підвищенні точності вимірювання температури, розширенні функціональних можливостей, вдосконалення алгоритмів роботи, а саме, оптимізація логіки керування та інтеграції з бездротовими технологіями.

Список літератури

- 1 Термісторне реле Siemens 3RN [Електронний ресурс] <https://cache.industry.siemens.com> (дата звернення 16.02.2025).
- 2 Термісторне реле серії CM-MSE [Електронний ресурс] <https://new.abb.com/products/cm-mse> (дата звернення 16.02.2025).
- 3 Схема керування аналогового термісторного реле [Електронний ресурс] <https://www.electricalterminology.com> (дата звернення 30.02.2025).

- 4 Температурне реле ABB CM-TCN [Електронний ресурс] <https://search.abb.com/library/> (дата звернення 20.01.2025).
- 5 Універсальний блок захисту UBZ-302M [Електронний ресурс] <https://novatek-electro.com/ru/shop/gotovye-resheniya-dlya-promyshlennoy-avt/profesiyniy-zakhist-trifaznogo-promi/universalnyy-blok-zashhity-ubz-302m.html> (дата звернення 30.01.2025).

References (transliterated)

- 1 Siemens 3RN thermistor relay [Electronic resource] <https://cache.industry.siemens.com> (data zvernennia 16.02.2025r.).
- 2 CM-MSE series thermistor relay [Electronic resource] <https://new.abb.com/products/cm-mse> (data zvernennia 16.02.2025r.).
- 3 Control circuit of analogue thermistor relay [Electronic resource] <https://www.electricalterminology.com> (data zvernennia 30.02.2025r.).
- 4 Temperature relay ABB CM-TCN [Electronic resource] <https://search.abb.com/library/> (data zvernennia 20.01.2025r.).
- 5 Universalnyi blok zakhystu UBZ-302M [Elektronnyi resurs]. <https://novatek-electro.com/ru/shop/gotovye-resheniya-dlya-promyshlennoy-avt/profesiyniy-zakhist-trifaznogo-promi/universalnyy-blok-zashhity-ubz-302m.html> (data zvernennia 30.01.2025r.).

Надійшла (received) 12.05.2025

Відомості про авторів / About the authors

Милашич Андрій Володимирович (Mylashych Andrii Vlodymyrovych) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант, кафедра електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3849-6139>; e-mail: mr.milashich@gmail.com.

Чепелюк Олександр Олександрович (Chepelyuk Oleksandr Oleksandrovych) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри електричних апаратів; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4522-9821>; e-mail: chep1@i.ua.