

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П.

Дослідження релейного електронного регулятора температури

Методичні вказівки до лабораторної роботи
з курсу «Приводи та автоматика мехатронних систем»
для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності
«Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Тернопіль
2025

Методичні вказівки розроблено у відповідності з навчальним планом підготовки здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

Укладачі: к.т.н., доцент Капаціла Ю.Б.;
ст. викладач Шовкун О.П.

Рецензент: к.т.н., доцент Голотенко О.С.

Відповідальний за випуск: к.т.н., доцент Капаціла Ю.Б.

Розглянуто та схвалено на засіданні кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв (протокол №1 від 28 серпня 2025 року).

Затверджено та рекомендовано до друку науково-методичною комісією факультету прикладних інформаційних технологій та електроінженерії ТНТУ (протокол № 1 від 29 серпня 2025 року).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Основні теоретичні положення	5
1.1 Будова та опис роботи установки	5
1.2 Аналіз роботи системи.....	9
2 Послідовність виконання роботи	13
3 Зміст звіту	13
4 Питання для самоконтролю	14
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	15

ВСТУП

Метою цієї лабораторної роботи є дослідження релейного електронного регулятора температури.

Виконання лабораторної роботи сприяє формуванню в студента таких компетентностей:

- здатність застосовувати знання фізики, електротехніки, електроніки і мікропроцесорної техніки, в обсязі, необхідному для розуміння процесів в системах автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологіях;
- здатність обґрунтовувати вибір технічних засобів автоматизації на основі розуміння принципів їх роботи аналізу їх властивостей, призначення і технічних характеристик з урахуванням вимог до системи автоматизації і експлуатаційних умов; налагоджувати технічні засоби автоматизації та системи керування;
- здатність обґрунтовувати вибір структури систем автоматики, засобів автоматики та мікропроцесорних систем управління.

При виконанні лабораторної роботи необхідно дотримуватись вимог техніки безпеки, зокрема «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», виконувати роботу лише з дозволу викладача та під його контролем, дотримуватись порядку та чистоти на робочому місці, виконувати тільки ті дії, які передбачені методикою роботи. У разі несправності або аварійної ситуації негайно вимкнути обладнання та повідомити викладача.

Тема. Дослідження релейного електронного регулятора температури.

Мета роботи: ознайомлення з призначенням, конструктивними особливостями та сферою застосування релейного електронного регулятора температури, дослідження зміни температури в часі, набуття практичних навиків з налагодження терморегулятора.

1 Основні теоретичні положення

1.1 Будова та опис роботи установки

Нормальна робота майже всіх приладів і агрегатів істотно залежить від сталості температури навколишнього середовища або середовища їх чутливих елементів.

Прикладом, коли необхідно з тією чи іншою точністю підтримувати температуру на заданому рівні, може служити повітря камери напівпровідникових елементів в радіоелектронному апараті. Задана температура зазначеного середовища при будь-яких реальних температурних збурюваннях повинна автоматично підтримуватися регулятором, який разом з об'єктом регулювання являє собою систему стабілізації.

В процесі роботи елемент або пристрій піддаються зовнішнім і внутрішнім тепловим впливам. Зовнішні теплові впливи викликані змінами температури навколишнього середовища і тепловим потоком, що надходять до межі об'єкта, внутрішні – його власними тепловиділеннями. Системи стабілізації здійснюють теплове керування об'єктом з метою формування в ньому температурного поля з необхідними характеристиками.

В системах регулювання широкого поширення через свою простоту набули релейні регулятори, що працюють за принципом «увімкнено-вимкнено».

Об'єктом регулювання є піч. В середині печі для контролю температури поміщений термодавач. Давач підключають до входу терморегулятора W1209.

Програмований терморегулятор (рис. 1) призначений для контролю температури і може працювати в парі з нагрівачем або охолоджувачем.

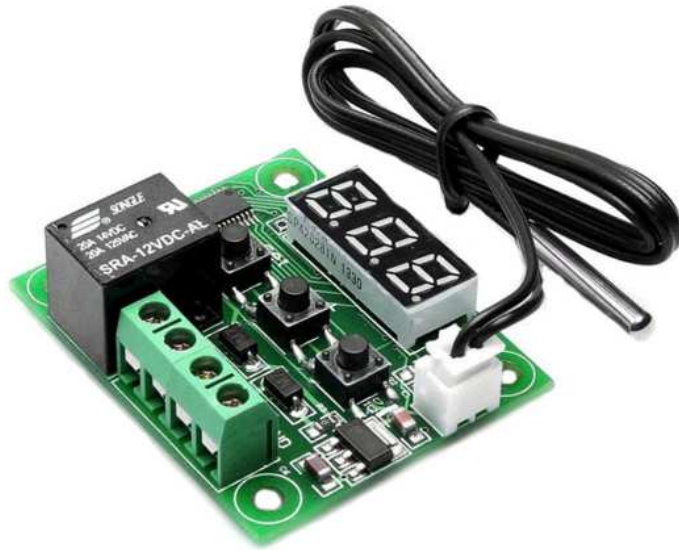


Рисунок 1 – Програмований терморегулятор W1209

Основні характеристики терморегулятора

Габаритні розміри: 40x48x14 мм.

Діапазон вимірювання та програмування температури: $-50^{\circ}\text{C} \dots 110^{\circ}\text{C}$.

Точність вимірювання: $0,1^{\circ}\text{C}$ в діапазоні від $-9,9^{\circ}\text{C}$ до $99,9^{\circ}\text{C}$; або $1,0^{\circ}\text{C}$ поза цим діапазоном.

Точність управління: $0,1^{\circ}\text{C}$ в діапазоні від $-9,9^{\circ}\text{C}$ до $99,9^{\circ}\text{C}$; або $1,0^{\circ}\text{C}$ поза цим діапазоном.

Точність гістерезису: $0,1^{\circ}\text{C}$.

Гістерезис: $0,1 \dots 15^{\circ}\text{C}$.

Час оновлення показань: 0,5 секунд.

Напруга живлення, В: 12 VDC.

Датчик: NTC 10K 0.5%, довжина кабелю 0,3 м, водозахист.

Максимальний струм навантаження: 5A/220VAC; 15A/14VDC.

Температура довкілля: $-10 \dots 60^{\circ}\text{C}$.

Вологість довкілля: 20 – 85. %

Споживаний струм: 30 mA

Струм при роботі реле: 65 mA.

Спосіб підключення навантаження: електромагнітне одноканальне реле (5A/220VAC).

Принципова електрична схема терморегулятора зображена на рис. 2.

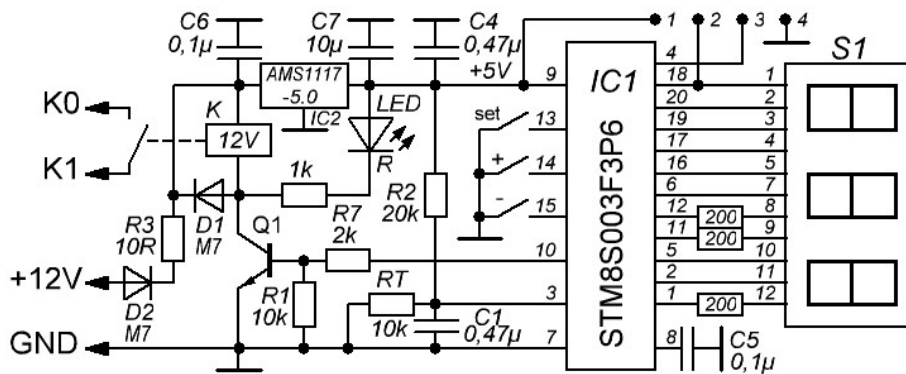


Рисунок 2 – Принципова електрична схема терморегулятора

Призначення виводів, елементів керування та індикації наведені на рис. 3.

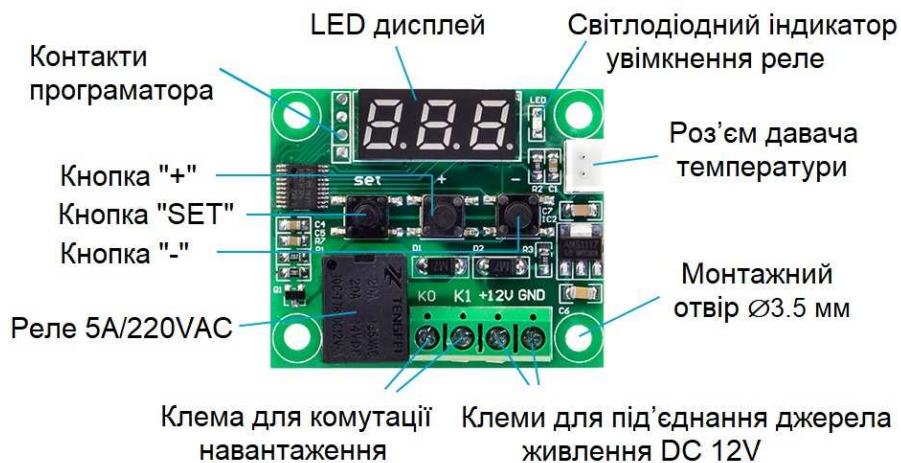


Рисунок 3 – Призначення виводів, елементів керування та індикації

Для встановлення температури необхідно короткочасно натиснути кнопку «SET», індикатор почне блимати, далі кнопками «+» та «-» встановити значення температури, що підтримується. Натиснути знову «SET» і терморегулятор запам'ятає значення та перейде у режим підтримки заданої температури.

Для того, щоб увійти в режим програмування, потрібно натиснути і

утримувати близько 5 секунд кнопку «SET», після чого активується меню основних налаштувань. Щоб перемикаєти режими P0 ... P8, потрібно натискати «+» або «-». Щоб змінити режими P0 ... P8, слід натиснути кнопку «SET», потім «+» або «-». При довгому натисканні SET (близько 5 с) або протягом 10 секунд, якщо жодна кнопка не натиснута відбудеться запам'ятовування стану та вихід з меню.

Установки, доступні в меню налаштувань, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Меню терморегулятора

Код/параметр	Опис параметра	Діапазон налаштування	Значення за замовчуванням
P0	Режим роботи терморегулятора: охолодження (Cooling) / нагрівання (Heating)	C / H	C
P1	Гістерезис, °C	0,1...15	2
P2	Верхня межа температури, яка підтримується, °C	+110	110
P3	Нижня межа температури, яка підтримується, °C	-50	-50
P4	Корекція температури, °C	-7...+7	0
P5	Затримка часу увімкнення реле, хв.	0...10	0
P6	Верхня межа температури відключення (захист від перегріву, °C	OFF або ON (при ON від 0°C до 110°C)	OFF

Додатково LED дисплей може відображати такі значення:

«LLL» – давач не під'єднано;

«NNN» – температура поза діапазоном (менше -50°C або більше 110°C);

«---» – перевищення меж, заданих в параметрі P6.

Для скидання контролера в заводські налаштування (за замовчуванням), необхідно, відключити живлення; натиснути одночасно і утримувати кнопки «+» та «-»; далі подати живлення на терморегулятор. На LED дисплеї з'явиться напис «888», після чого відображається поточна температура.

1.2 Аналіз роботи системи

Для аналізу роботи, розглянутої вище системи регулювання температури, необхідно скласти рівняння стану системи. Це рівняння можна одержати з рівнянь її елементів (див. функціональну схему, рис. 4).

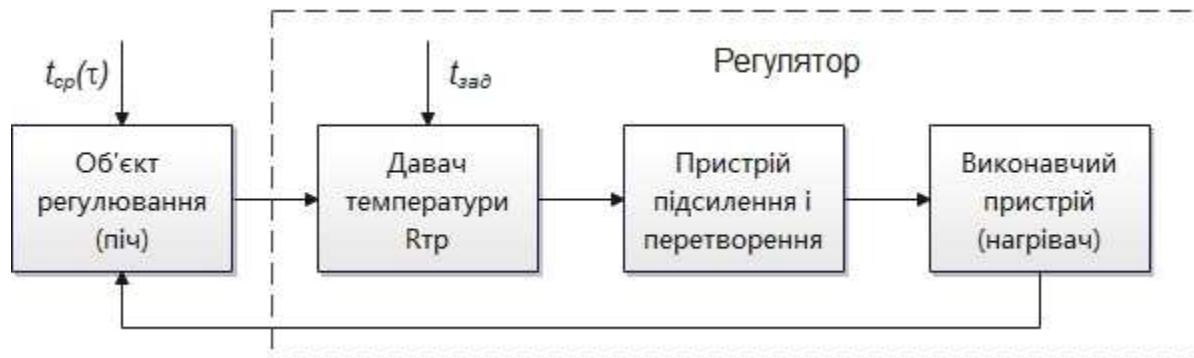


Рисунок 4 – Функціональна схема системи регулювання температури

Позначимо через m масу печі, C – її питому теплоємність, t – її температуру, t_{cp} – температуру навколишнього повітря, S – площа поверхні печі, α – коефіцієнт тепловіддачі поверхні. Температурне поле печі (корпус і об'єкт) приймемо умовно рівномірним. Рівняння теплового балансу в довільний момент часу при потужності нагрівання q_n буде:

$$mcdt + \alpha S(t - t_{cp})dt = q_n d\tau. \quad (1)$$

Поділивши на $\alpha S dt$ обидві частини рівняння (1), отримаємо рівняння об'єкта регулювання:

$$T_0 \frac{dt}{d\tau} + t = K_1 q_n + t_{cp}, \quad (2)$$

де $T_0 = \frac{mc}{\alpha S}$ – стала часу об'єкта;

$K_1 = \frac{1}{\alpha S}$ – коефіцієнт підсилення об'єкта.

Рівняння (2) є справедливим для ділянки нагрівання, для ділянки охолодження рівняння набуде вигляду ($q_n=0$):

$$T_0 \frac{dt}{d\tau} + t = t_{cp}. \quad (3)$$

Позначимо добуток $R_1 q_n$ через q , тоді рівняння (2) набуде вигляду:

$$T_0 \frac{dt}{d\tau} + t = q + t_{cp}. \quad (4)$$

Розв'язок рівнянь (3) і (4) приводить до такого виразу для зміни температури печі:

$$t_n = C_1 \exp\left(-\frac{1}{T_0} \tau\right) + q + t_{cp}, \quad (5)$$

$$t_{ox} = C_2 \exp\left(-\frac{1}{T_0} \tau\right) + t_{cp}, \quad (6)$$

де C_1 і C_2 – постійні інтегрування, які обумовлені початковими умовами

Простежимо процес регулювання в досліджуваній системі, пов'язуючи його з рівняннями (5) і (6).

Як впливає з характеристики (рис. 5), нагрівання об'єкта не припиняється в точці 1, яка відповідає заданій температури t_z , а продовжується за рахунок нечутливості регулятора Δr далі до точки 2. Величина нечутливості регулятора Δr складається в основному з величини обумовленою тепловою інерцією давача (електричного термометра опору) і величини, обумовленої часом спрацьовування реле.

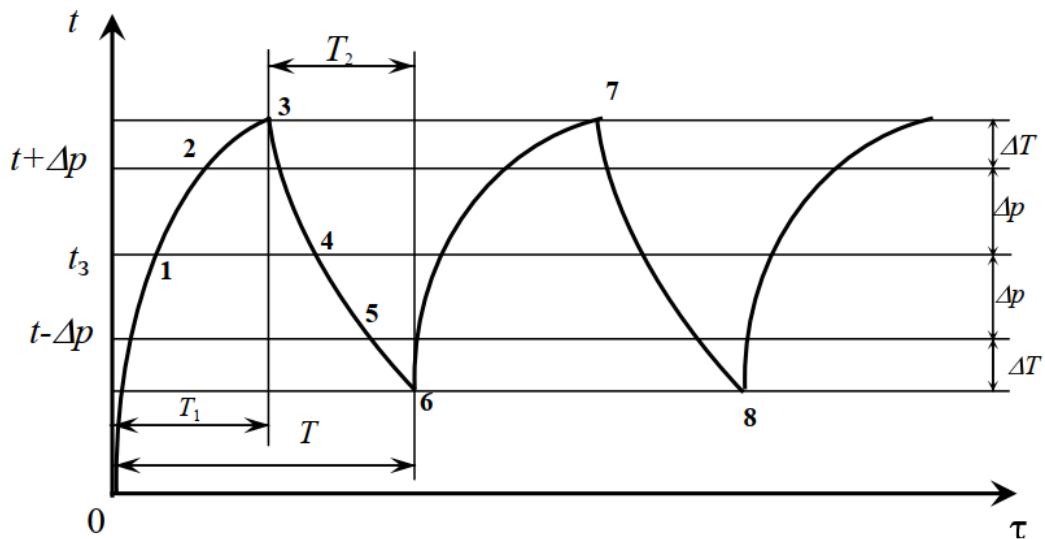


Рисунок 5 – Залежність температури об'єкта від часу

В точці 2 відбудеться відключення нагрівального елемента. Однак температура буде ще зростати до точки 3 внаслідок теплової інерції об'єкта ΔT , а потім стане спадати по кривій 3-6. В точці 5 відбудеться увімкнення нагрівача. Зміна температури на ділянках 0-3, 6-7 відбувається за рівнянням (5), а на ділянках 3-6, 7-8 – за рівнянням (6).

Для ділянок нагрівання за початкові умови потрібно прийняти значення температури $t_3 - \Delta_p - \Delta_T$, для ділянок охолодження $t_3 + \Delta_p + \Delta_T$. Зображений на рисунку 2 процес регулювання можна побудувати за рівняннями (5), (6) методом «припасовування». Цей метод зводиться до послідовного нанесення кривих процесу регулювання температури по ділянках. При нанесенні кривих на межі ділянок кінцеве значення температури попередньої ділянки приймається за початкове значення наступної ділянки. Цим усі розв'язки по ділянках зв'язуються в єдиний цілий розв'язок.

При побудові кривих процесу регулювання відлік часу на кожній наступній ділянці зручно вести відлік не від початку координат, а від кінцевої точки попередньої ділянки. Визначимо основні параметри процесу регулювання температури. Для цього скористаємося рівняннями (5) і (6). Постійна інтегрування C_1 визначається за початковою температурою $t_3 - \Delta_p - \Delta_T$, а C_2 – за початковою температурою $t_3 + \Delta_p + \Delta_T$.

Рівняння (5) і (6), при цьому набудуть вигляду:

$$t_n = (t_3 - q - t_{cp} - \Delta_p - \Delta_t) \cdot \exp\left(-\frac{1}{T_0} \tau\right) + q + t_{cp}, \quad (7)$$

$$t_{ox} = (t_3 - q - t_{cp} + \Delta_p + \Delta_T) \cdot \exp\left(-\frac{1}{T_0} \tau'\right) + t_{cp}, \quad (8)$$

де T_0 – нова змінна часу, яка відраховується від точки кінця нагрівання об'єкта (точка 3).

Процес регулювання температури, який досліджується, як видно з рис. 5, є автоколивальним, амплітуда коливань $\Delta_p + \Delta_T$, що являє собою помилку регулювання, і період T автоколивань залежать від зони нечутливості регулятора й теплової інерції об'єкта.

Обчислимо значення періоду T і його складових T_1 і T_2 , де T_1 – час нагрівання, T_2 – час охолодження. Для визначення скористаємося рівнянням (7). Приймаючи, що $\tau = T_1$ і $t = t_3 + \Delta_p + \Delta_T$, одержимо

$$T_1 = T_0 \cdot \ln \left[1 - \frac{2(\Delta_p + \Delta_T)}{t_3 + \Delta_p + \Delta_T - q - t_{cp}} \right]. \quad (9)$$

Для визначення T_2 скористаємося рівнянням (8). Приймавши, що $\tau' = T_2$ і $t_3 = \Delta_p - \Delta_T$, одержимо

$$T_2 = T_0 \cdot \ln \left[1 + \frac{2(\Delta_p + \Delta_T)}{t_3 - \Delta_p - \Delta_T - t_{cp}} \right]. \quad (10)$$

Рівняння (9) і (10) встановлюють зв'язок між складовими T_1 і T_2 і амплітудою $(\Delta_p - \Delta_T)$ автоколивань. Період автоколивань при цьому $T = T_1 + T_2$.

2 Послідовність виконання роботи

1. Ознайомитися з теоретичною частиною лабораторної роботи.
2. Ознайомитися з будовою лабораторної установки.
3. Отримати завдання та допуск до роботи.
4. Увімкнути живлення терморегулятора.
5. Встановити згідно завдання значення температури.
6. Увімкнути нагрівач печі.
7. За показами індикатора температури зняти криву зміни температури в часі для електронного регулятора. Значення температури записувати через 1 хв. з точністю $0,5^{\circ}\text{C}$. Орієнтуючись на перемикання світлодіода відзначити моменти вмикання та вимикання нагрівача. Значення температури в момент спрацьовування регулятора можна не записувати. В результаті експерименту повинні бути отримані дані для 2-х повних циклів (нагрівання-охолодження) процесу регулювання.
8. Результати вимірювань оформити у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати вимірювання температури

№ з/П	Час		Температура, $t, ^{\circ}\text{C}$
	хв.	с	

9. Вимкнути живлення установки.
10. За даними таблиці 2 побудувати графік зміни температури в часі.
11. Зробити відповідні висновки і оформити звіт з лабораторної роботи.

3 Зміст звіту

1. Тема і мета роботи.
2. Послідовність виконання роботи.

3. Функціональна схема системи регулювання температури.
4. Таблиця з результатами вимірювань.
5. Графік зміни температури в часі.
6. Висновки.

4 Питання для самоконтролю

1. Призначення і основні характеристики релейного електронного регулятора температури.
2. Які параметри доступні в меню налаштувань терморегулятора?
3. Переваги і недоліки релейних електронних регуляторів температури.
4. Від чого залежить точність підтримання заданої температури?
5. Які фактори впливають на швидкість зміни температури в процесі нагрівання / охолодження?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Біляковський І.Є. Електромехатронні перетворювачі систем автоматики. Львів.: Магнолія. 2024. 155 с.
- 2 Бабіченко А.К., Бабіченко Ю.А., Тошинський, В.І. Основи вимірювань та автоматизації технологічних процесів. Харків: Вид-во ТОВ «С.А.М.», 2009. 616 с.
- 3 Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. Виконавчі пристрої систем автоматизації. Львів: Львівська політехніка, 2020. 220 с.
- 4 Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. 324 с.
- 5 Проць Я.І. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с.
- 6 Програмований терморегулятор W1209. URL: https://tracker--pi-com-ua.translate.google.ua/p853131431-programmiruemyj-termoregulyator-w1209.html?_x_tr_sl=ru&_x_tr_tl=uk&_x_tr_hl=uk&_x_tr_pto=sc (дата звернення: 13.07.2025).
- 7 Roger W. Haines, Douglas C. Hittle. Control Systems for Heating, Ventilating, and Air Conditioning. 6th Edition. New York. Springer Science & Business Media, 2006 . 377 p.