

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПЛИТИ В СЕРЕДОВИЩІ SCILAB/XCOS

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Розроблено комплекс моделей електричної плити з однією конфоркою, що включає вербальну, структурну, функціональні та імітаційну моделі. Структурна модель представлена у вигляді орієнтованого графа взаємозв'язків між блоками системи. Функціональні моделі описують динамічні та статичні характеристики кожного теплового блоку. Імітаційну модель реалізовано в середовищі Scilab/Xcos у вигляді замкненої системи автоматичного керування з PID-регулятором температури посуду. Результати моделювання підтверджують працездатність розробленої моделі та адекватність прийнятих спрощень.

Ключові слова: електрична плита, імітаційна модель, Scilab/Xcos, PID-регулятор, теплова динаміка, передавальна функція, структурна модель.

Abstract

A complex of electric stove models with a single burner has been developed, including verbal, structural, functional and simulation models. The structural model is represented as an oriented graph of interactions between system blocks. Functional models describe the dynamic and static characteristics of each thermal block. The simulation model is implemented in Scilab/Xcos as a closed-loop automatic temperature control system with a PID controller. Simulation results confirm the performance of the developed model and the adequacy of the accepted simplifications.

Keywords: electric stove, simulation model, Scilab/Xcos, PID controller, thermal dynamics, transfer function, structural model.

Вступ

Електрична плита є одним із найпоширеніших побутових теплотехнічних пристроїв. Сучасні моделі реалізують складні алгоритми керування тепловими процесами, що поєднують електричні, теплові та регуляторні підсистеми в єдину автоматизовану систему. Розробка та налагодження таких систем потребує значних витрат часу та ресурсів при реалізації на реальному обладнанні.

Імітаційне моделювання дозволяє досліджувати поведінку теплової системи без фізичного прототипу, що суттєво спрощує процес проектування та аналізу. Побудова адекватної імітаційної моделі складного об'єкта вимагає детального опису всіх його підсистем та взаємозв'язків між ними [2].

Метою роботи є розробка комплексу моделей електричної плити (одна конфорка), що включає вербальну, структурну, функціональні та імітаційну моделі, а також дослідження поведінки системи при автоматичному регулюванні температури засобами середовища Scilab/Xcos [1].

Вербальна модель

Електрична плита (одна конфорка) — теплотехнічний побутовий пристрій для нагрівання посуду та його вмісту шляхом перетворення електричної енергії на теплову. Система реалізує послідовний тепловий ланцюжок: нагрівач → конфорка → посуд з водою, з тепловтратами на кожному рівні.

Система складається з таких блоків [5]:

- **Нагрівач (ТЕН)** — основне джерело теплової енергії. Перетворює електричну потужність на теплоту та передає її конфорці. Має власну теплову ємність $C_n = 300$ Дж/К та коефіцієнт теплопередачі до конфорки $\alpha_{np} = 50$ Вт/К. Тепловтрати в середовище: $K_n = 3$ Вт/К.
- **Конфорка** — металева тепла маса, що акумулює теплоту від ТЕН та передає її посуду. Теплова ємність $C_{p1} = 690$ Дж/К, коефіцієнт теплопередачі до посуду $\alpha_{pk} = 30$ Вт/К, тепловтрати $K_{p1} = 5$ Вт/К.
- **Посуд з водою** — кінцевий споживач теплової енергії (1 л води). Теплова ємність $C_{p0s} = 4550$ Дж/К, тепловтрати в середовище $K_{p0s} = 8$ Вт/К. Температура посуду T_{p0s} — корисний вихідний параметр системи.
- **Регулятор потужності** — PID-регулятор, що автоматично формує ефективну потужність нагрівача на основі порівняння заданої та фактичної температури посуду. Обмежує потужність у діапазоні 0...2000 Вт.
- **Навколишнє середовище** — ізотермічний резервуар з постійною температурою $T_{нав} = 20^\circ\text{C}$. Виступає збурюючим фактором: тепловтрати кожного блоку пропорційні різниці температур.

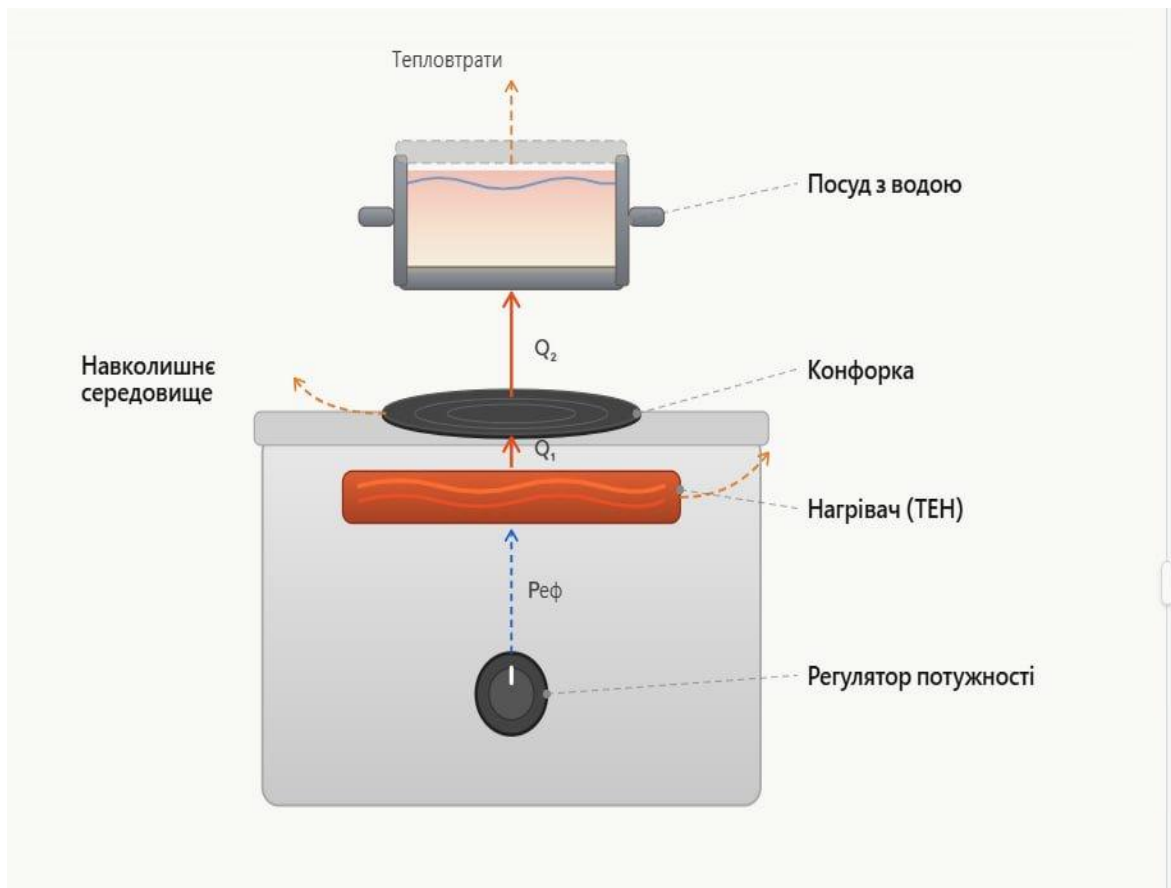


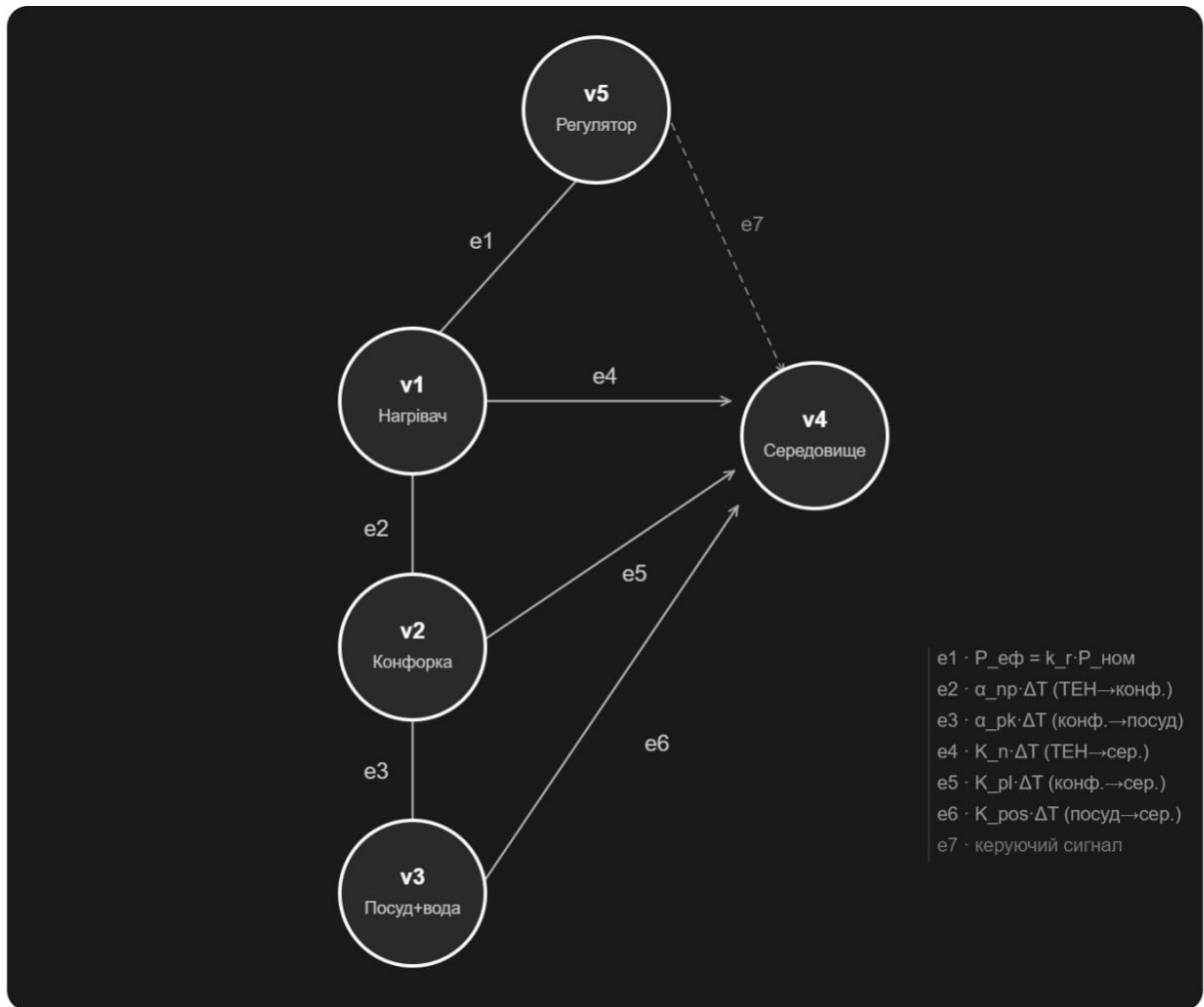
Рисунок 1 — Основні компоненти електричної плити

Структурна модель (граф)

Структурна модель системи представляється у вигляді орієнтованого графа $G\{V, E\}$, де множина вершин V відповідає блокам системи, а множина дуг E — потокам теплової енергії та керуючим сигналам.

Множина вершин: $v1$ — Нагрівач (ТЕН); $v2$ — Конфорка; $v3$ — Посуд + вода; $v4$ — Навколишнє середовище; $v5$ — Регулятор потужності.

Множина дуг: $e1$: $v5 \rightarrow v1$ — керуючий сигнал (потужність $P_{\text{еф}}$); $e2$: $v1 \rightarrow v2$ — тепловий потік нагрівач \rightarrow конфорка; $e3$: $v2 \rightarrow v3$ — тепловий потік конфорка \rightarrow посуд; $e4$ – $e6$: тепловтрати до середовища; $e7$: $v3 \rightarrow v5$ — зворотний зв'язок за температурою.



Функціональні моделі блоків

Для кожного функціонального блоку системи визначено тип моделі — статичний або динамічний [2]. Динамічні блоки описують зміну температури у часі через диференційні рівняння теплового балансу.

Регулятор потужності є статичним елементом з параметрами PID-регулятора:

$$P = 50, \quad I = 2, \quad D = 0$$

Нагрівач є динамічним блоком. Передавальна функція має вигляд:

$$W_1(s) = \frac{1}{5 \cdot s + 1} \quad (1)$$

де постійна часу $\tau_1 = 5$ с визначає теплову інерцію нагрівача.

Посуд з водою є найбільш інерційним елементом системи. Передавальна функція:

$$W_2(s) = \frac{1}{20 \cdot s + 1} \quad (2)$$

де постійна часу $\tau_2 = 20$ с обумовлена великою тепловою ємністю води.

Система диференціальних рівнянь теплового балансу (повна математична модель):

$$300 \cdot \frac{dT_n}{dt} = P_{\text{еф}} - 50 \cdot (T_n - T_{\text{пл}}) - 3 \cdot (T_n - 20) \quad (3)$$

$$690 \cdot \frac{dT_{\text{пл}}}{dt} = 50 \cdot (T_n - T_{\text{пл}}) - 30 \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{пос}}) - 5 \cdot (T_{\text{пл}} - 20) \quad (4)$$

$$4550 \cdot \frac{dT_{\text{пос}}}{dt} = 30 \cdot (T_{\text{пл}} - T_{\text{пос}}) - 8 \cdot (T_{\text{пос}} - 20) \quad (5)$$

Імітаційна модель у середовищі Scilab/Xcos

Імітаційну модель електричної плити реалізовано в середовищі Scilab з використанням графічного редактора Xcos. Модель являє собою замкнену систему автоматичного керування температурою посуду з PID-регулятором [1, 3]. Час симуляції — 200 с.

Підсистема керування реалізує замкнений контур регулювання. STEP_FUNCTION задає стрибок уставки від 20°C до 100°C на 10-й секунді. PID-регулятор формує сигнал потужності, обмежений блоком SATURATION у діапазоні 0...2000 Вт.

Теплова підсистема реалізує каскадну теплопередачу через два блоки CLR: конфорка ($\tau = 5$ с) та посуд з водою ($\tau = 20$ с). Зворотний зв'язок замикається від виходу CLR №2 (температура посуду) до першого суматора (похибка регулювання).

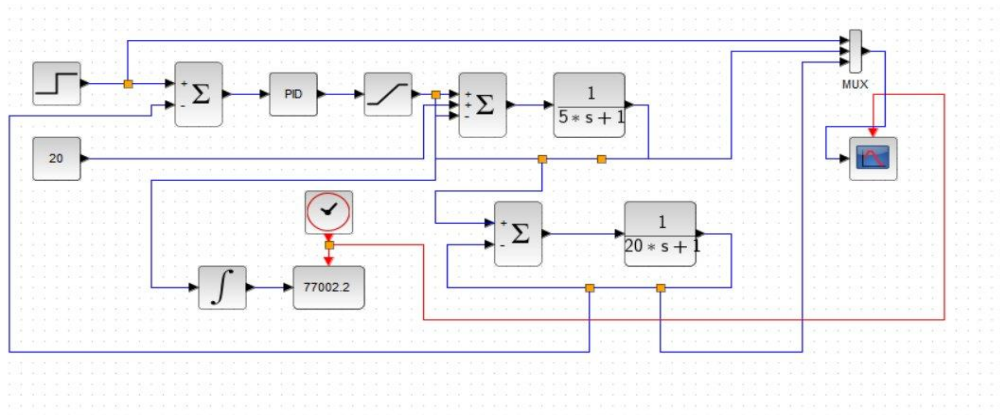


Рисунок 2 — Схема імітаційної моделі електричної плити в середовищі Scilab/Xcos

Результати моделювання

Результати симуляції наведено на рис. 3. На графіку відображено три криві: уставка температури (чорна), температура конфорки CLR №1 (зелена) та температура посуду з водою CLR №2 (червона).

На початку (0–10 с) система перебуває в рівноважному стані при температурі 20°C. На 10-й секунді задається стрибок уставки до 100°C. PID-

регулятор формує максимальну потужність 2000 Вт, що спричиняє швидкий нагрів конфорки — її температура перевищує уставку (перерегулювання до 120°C). Це фізично коректно: конфорка перегрівается для «проштовхування» тепла у воду.

Температура посуду зростає плавно та досягає 100°C приблизно на 50–60-й секунді. Перерегулювання температури посуду становить близько $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$, що є прийнятним показником якості регулювання. У сталому режимі PID підтримує температуру 100°C із нульовою статичною похибкою.

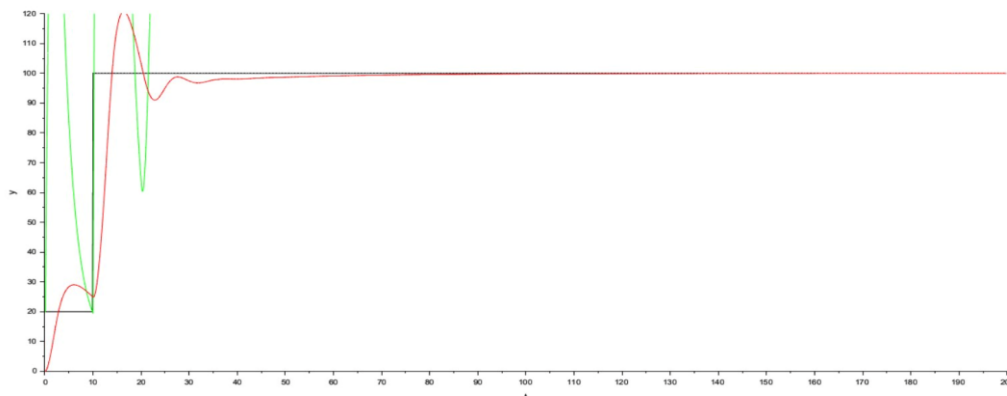


Рисунок 3 — Графіки результатів моделювання: чорна — уставка (100°C); зелена — температура конфорки (CLR №1); червона — температура посуду (CLR №2)

Висновки

У роботі розроблено комплекс імітаційних моделей електричної плити (одна конфорка) в середовищі Scilab/Xcos. Побудовано вербальну модель, що описує принцип функціонування теплового ланцюжка, а також структурну модель у вигляді орієнтованого графа з 5 вершинами та 7 дугами.

Для функціональних блоків системи визначено тип моделі та отримано відповідні математичні описи. Імітаційну модель реалізовано у вигляді замкненої системи автоматичного керування з PID-регулятором та двома тепловими ланками (конфорка і посуд з водою).

Результати моделювання підтверджують працездатність розробленої системи. PID-регулятор забезпечує нагрів посуду до заданих 100°C із мінімальним перерегулюванням та нульовою статичною похибкою. Прийняті спрощення не знижують адекватності моделі в межах поставлених задач.

Розроблений комплекс моделей може бути використаний для дослідження режимів роботи електричної плити, налаштування параметрів регулятора та проектування систем керування без необхідності створення фізичного прототипу.

Список використаної літератури

- Дубовой В. М., Юхимчук М. С., Лещенко Ю. Я. Імітаційне моделювання в системі Scilab/Xcos : електронний навч. посіб. — 2-е вид., переробл. та доповн. — Вінниця : ВНТУ, 2024. — 119 с.
- Дубовой В. М., Кветний Р. Н., Михальов О. І., Усов А. В. Моделювання та оптимізація систем : підручник. — Вінниця : ТД «Едельвейс», 2017. — 804 с.
- Дубовой В. М., Никитенко О. Д., Юхимчук М. С., Галушак А. В. Моделювання об'єктів і систем : лаб. практикум. — Вінниця : ВНТУ, 2021. — 157 с.
- Хоменко О. В. Електричні плити та їх технічне обслуговування. URL: <https://www.searshomeservices.com/blog/how-does-an-electric-stove-work>
- Побутові нагрівальні прилади: будова та принцип роботи. URL: <https://elib.lntu.edu.ua>

Лайтер Дмитро Валентинович — студент групи 1АКІТР-24б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: dimanworkout7@gmail.com

Науковий керівник: Дубовой Володимир Михайлович — д-р техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем управління, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Dmytro Laiter — group 1AKITR-24b, Faculty of Intelligent Information Technologies and Automation, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Supervisor: Volodymyr Dubovoy — Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Computer Control Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.