

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ САР ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ МАЕС-П

Показано можливість використання програм аналізу електронних схем для функціонального моделювання систем автоматичного регулювання.

Ключові слова: функціональне моделювання, МАЕС-П, система автоматичного регулювання, еквівалентна електрична схема.

ВСТУП

Необхідно відзначити, що об'єкти різної фізичної природи описуються системами звичайних диференціальних рівнянь (ЗДР). Це механічні, гідравлічні, теплові системи. Існує аналогія між цими системами, наприклад, аналогами електричної напруги є тиск, температура, швидкість; електричного струму – сили і потоки рідини, газу, теплоти. Існують і аналоги закону Кірхгофа I і II. Це свідчить про те, що інструментарій аналізу електричних схем може бути з успіхом застосований для аналізу систем іншої фізичної природи, особливо на функціональному рівні [1, 2].

Характерним прикладом задач, для функціонального моделювання яких з успіхом можна використувати програму МАЕС-П [3], є дослідження поведінки систем автоматичного регулювання (САР) або АСУТП, функціональні схеми яких складаються з типових функціональних блоків: диференціальних, інтегруючих, нелінійних, підсумовуючих і т. д.

Очевидно, що перетворення функціональних блоків об'єкта регулювання в еквівалентну електричну схему принципів труднощів не викликає. Труднощі виникають при створенні відповідної моделі регулятора. Як правило, регулятор – це складна програма, що реалізує закони управління і регулювання. І бажано, щоб ця програма без змін входила до його моделі на тій мові програмування, на якій написана, тому що відпрацювання цієї програми і є однією із задач моделювання САР.

Тому метою цієї роботи є теоретичне відпрацювання і практична демонстрація можливості використання програми схемотехнічного моделювання МАЕС-П для функціонального моделювання САР за рахунок розробки моделі регулятора у вигляді відповідної нелінійної функції.

МОДЕЛІ ТИПОВИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЛОКІВ САР

Будь який блок (ланку) САР у МАЕС-П можна представити моделлю у вигляді відповідного набору керованих джерел струму, опорів і ємностей, які показують залежність між вихідними і вхідними сигналами цих блоків.

Розглянемо побудову електричних моделей функціональних блоків на прикладі аперіодичного блока.

$$\text{Рівняння блока: } y = \frac{k}{Tp + 1} \cdot x.$$

Модель аперіодичного блока у вигляді еквівалентної електричної схеми наведена на рис. 1.

Джерело струму вищенаведеної схеми J_x відображає вхідний сигнал x з масштабом $M_x = J_x/x$, а напруга на ємності C – вихідний сигнал y з масштабом $M_y = J_y/y$.

Рівняння цього кола: $U_y = \frac{R}{RCp + 1} \cdot J_x$. Підставимо $U_y = M_y \cdot y$, $J_x = M_x \cdot x$ в рівняння моделі і отримаємо $y = \frac{M_x}{M_y} \cdot \frac{R}{RCp + 1} \cdot x$.

Із порівняння цього рівняння з рівнянням аперіодичного блока очевидно, що при $M_x = M_y = 1$ $R = k$, $R \cdot C = T$, а $C = T/R$. Значення вхідних і вихідних сигналів моделі і блока будуть однаковими.

Аналогічно розраховуються параметри моделей і інших функціональних блоків, наведених в табл. 1.

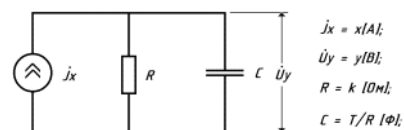
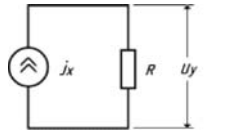
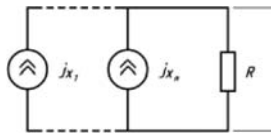
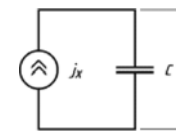
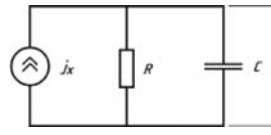
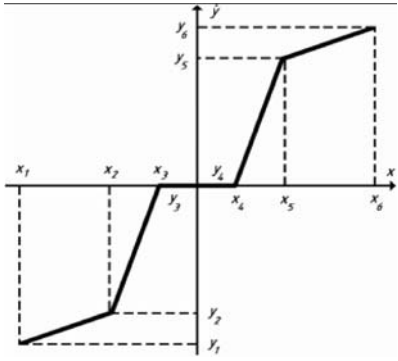
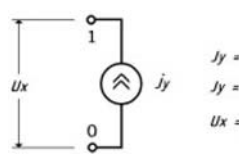


Рис. 1. Еквівалентна електрична схема аперіодичного блока

Таблиця 1. Еквівалентні електричні схеми типових блоків САР

Тип блока	Рівняння блока	Еквівалентна електрична схема
Підсилювач	$y(t) = k \cdot x(t)$	 $J_x = x[A];$ $U_y = y[B];$ $R = k [Oм];$
Суматор	$y(t) = k_1 \cdot x_1(t) + \dots + k_n \cdot x_n(t)$	 $J_{x_1} = k_1 x_1 [A];$ $J_{x_n} = k_n x_n [A];$ $U_y = y [B];$ $R = 1 [Oм];$
Інтегратор	$T \frac{dy(t)}{dt} = x(t); y(t) = \int_0^t \frac{1}{T} x(t) dt; y = \frac{1}{PT} x$	
Аперіодичний	$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot X(t);$ $y = \frac{k}{Tp + 1} x$	 $J_x = x[A];$ $U_y = y[B];$ $R = k [Oм];$ $C = T/R [Ф];$
Нелінійний		 $J_y = f(U_x) = ТАБХ(x);$ $J_y = y[A];$ $U_x = x[B];$ <p>ЭЛЕМЕНТЫ: JY,0-1 = F3(0,0, ТАБХ#U1); ТАБЛИЦЫ: ТАБХ = x1, y1, x2, y2, x3, y3, x4, y4, x5, y5, x6, y6;</p>

ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ РЕАЛЬНОЇ САР

Розглянемо функціональну модель типової САР на прикладі САР палива парового котла АСУ ТП ТЕЦ (рис. 2).

Ця САР підтримує тиск пари в барабані котла та в магістралі на заданому рівні, регулюючи подачу палива. Вона складається з виконавчого органа, об'єкта регулювання (барабана котла та магістралі), датчиків тиску пари в барабані і в магістралі; аналого-цифрових перетворювачів АЦП і регулятора, де UP – подача палива; PR – ознака вмикання/вимикання двигуна ($PR = 1$ – включення двигуна на збільшення подачі палива, $PR = -1$ – на зменшення подачі палива, $PR = 0$ – двигун виключений); $P_б, P_н, P_м$ – тиск пари в барабані, відбір пари споживачем, тиск пари в магістралі, $I_рб, I_рм$ – струм датчика тиску пари в барабані, струм датчика тиску пари в магістралі; Δ – ціна одного розряду АЦП; $P_б^н, P_б3^н$ – коди поточного і заданого тиску пари в барабані; $P_м^н, P_м3^н$ – коди по-

точного і заданого тиску пари в магістралі; $PR = f(P_б^н, P_м^н)$ – функція регулятора.

Перетворимо функціональну схему САР відповідно до табл. 1 в її еквівалентну електричну схему (рис. 3), яка може бути описана вхідною мовою будь-якої з програм моделювання електронних схем, зокрема вхідною мовою програми МАЕС-П.

Виконавчим органом є клапан подачі палива з електроприводом. Робоча характеристика виконавчого органа відповідає інтегруючому блоку з обмеженням. Рівняння виконавчого органа в еквівалентній електричній схемі САР (рис. 3) моделює інтегруючий блок в складі джерела $J1$ і ємності $C1$, де $J1 = f(E2, E3)$ – джерело струму, що моделює функцію регулятора. Напруга $UC1$ відображає подачу палива UP . Обмеження напруги на ємності $C1$, що відображає обмеження подачі палива, може бути реалізоване за допомогою іншого джерела струму $Jk = f(UC1)$, яке включене паралельно до джерела $J1$ і компенсує його дію при досягненні обмеження.

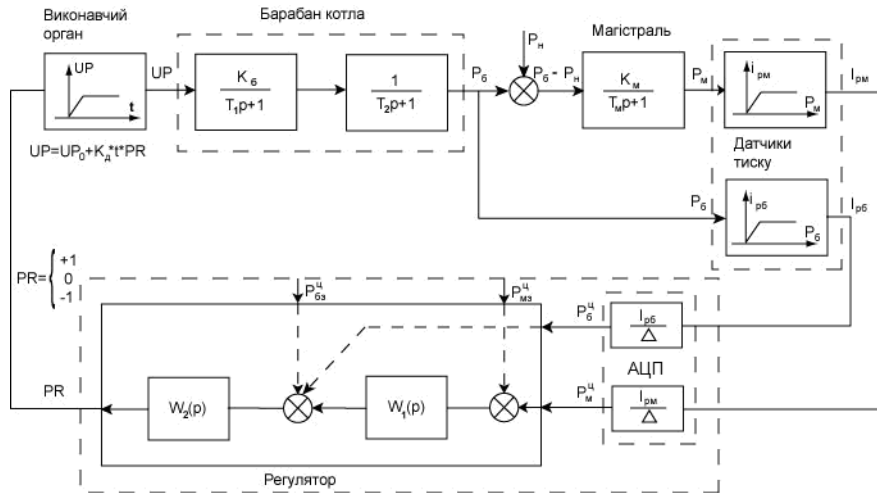


Рис. 2. Функціональна схема САР палива

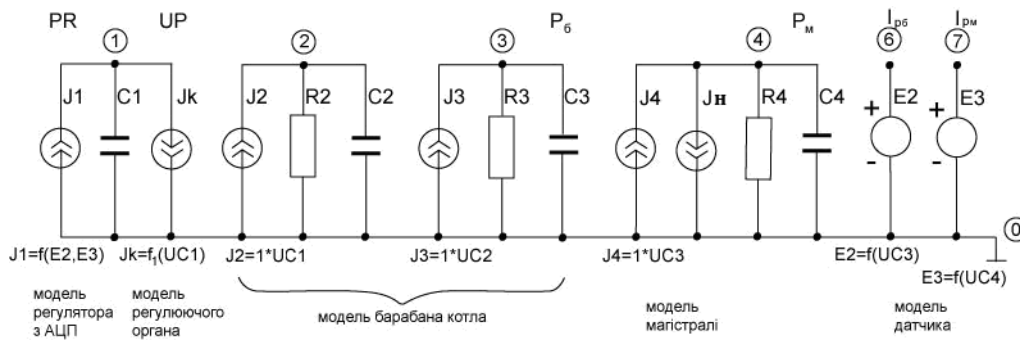


Рис. 3. Еквівалентна електрична схема функціональної моделі САР

Модель барабана котла – це два аперіодичні блоки. На рис. 3 вони відображені елементами J_2 , R_2 , C_2 і J_3 , R_3 , C_3 , де джерело струму $J_2 = 1 \cdot UC_1$ повторює вхідний сигнал UP , джерело струму $J_3 = 1 \cdot UC_2$ повторює величину UC_2 , а напруга UC_3 відображає тиск пари $P_б$ в барабані.

Модель магістралі – це аперіодичний блок, у якого вхідний сигнал має дві складові: сигнал $P_б$ та навантаження $P_н$. Навантаження $P_н$ (зміна тиску пари за рахунок відбору пари споживачами) задається таблицею $P_н = f(t)$. На еквівалентній схемі САР (рис. 3) це відповідні джерела струму $J_4 = 1 \cdot UC_3$ і $J_н$, а також конденсатор C_4 , напруга на якому відображає тиск пари $P_м$ в магістралі.

Моделі датчиків тиску $P_б$ і $P_м$ – це підсилюючі блоки з обмеженнями, які на рис. 3 зображені джерелами напруги $E_2 = f(UC_3)$ і $E_3 = f(UC_4)$, що відображають відповідні характеристики датчиків тиску $I_{рб} = f(P_б)$, $I_{рм} = f(P_м)$.

Модель регулятора представлена на рис. 3 нелінійним джерелом струму $J_1 = f(E_2, E_3)$, що описується спеціальною нелінійною функцією, в яку входять програма контролера ($PR = f(P_б^д, P_м^д)$) і моделі АЦП, що перетворюють аналогові сигнали $P_б$ та $P_м$ в цифрову форму для контролера-регулятора.

МОДЕЛЬ РЕГУЛЯТОРА

Програма МАЕС-П має спеціальний механізм введення нових нелінійних функцій самим користувачем, чого не мають інші аналогічні програми. Це дозволяє ввести програму регулятора як нелінійну функцію в МАЕС-П. Якщо контролер регулятора сумісний з IBM PC, то його програма переноситься в нелінійну функцію без змін.

Програма МАЕС-П написана мовою FORTRAN-77 і, якщо програма контролера написана іншою мовою, наприклад С, то нелінійна функція повинна складатися з оболонки, яка написана на FORTRAN-77, для об'єднання програми МАЕС-П з програмою контролера на мові С без змін у вигляді підпрограми.

В оболонці реалізовано також модель аналого-цифрового перетворювача (АЦП), алгоритм циклічної видачі управляючих імпульсів з заданим робочим тактом і узгодження з ним змінного кроку інтегрування, особливо в разі його відкидання при незбіжності ітерацій Ньютона. Цю нелінійну функцію F59 зроблено відповідно до правил розробки нових нелінійних функцій для програми МАЕС-П.

Блок-схема алгоритму нелінійної функції регулятора з АЦП наведена на рис. 4.

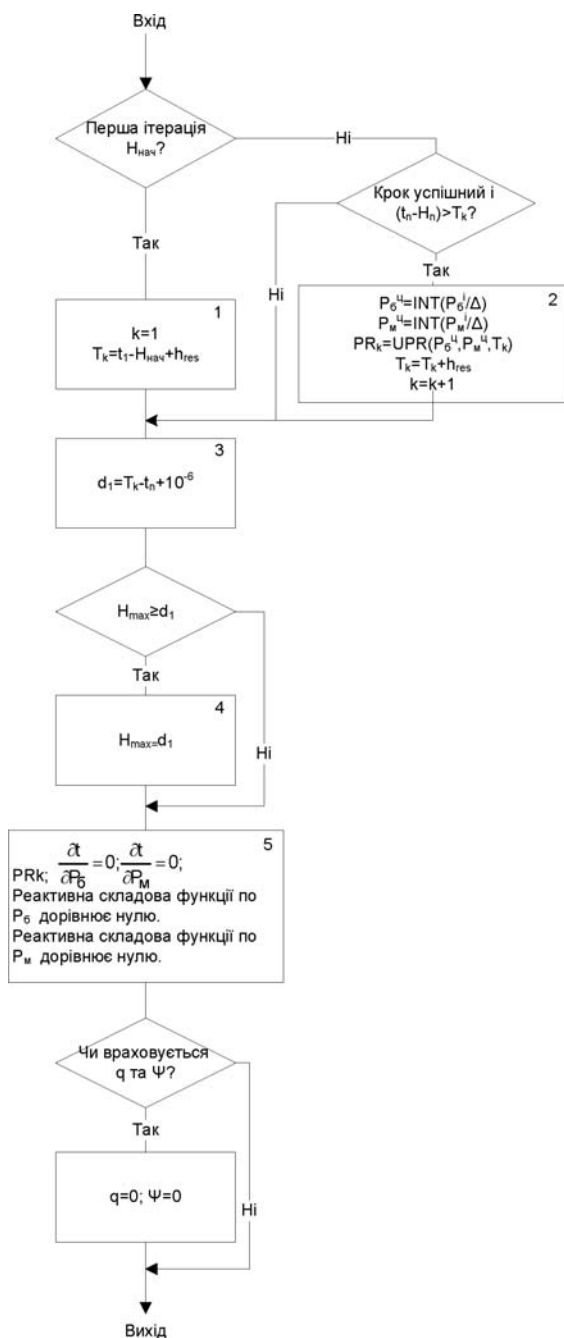


Рис. 4. Блок-схема алгоритму нелінійної функції регулятора з АЦП

На вхід нелінійної функції як аргументи надходять напруги джерел $E2$ і $E3$, що відповідають показанням датчиків тиску $I_{p6} = f(P_6)$ і $I_{pm} = f(P_m)$. В оболонці нелінійної функції вони перетворюються з аналогових величин в цифрові P_6^u , P_m^u і надходять до підпрограми регулятора $UPR(P_6^u, P_m^u, h_{res})$, де порівнюються з заданими значеннями і формується управляючий сигнал PR . Глобальними змінними є t_n – поточний час інтегрування, h_n – поточний крок інтегрування, параметри h_{res} – крок управління, $T_k = k \cdot h_{res}$ – кінцевий час k -го кроку управління.

Виходом функції є значення всіх складових нелінійної функції, які беруть участь у формуванні матриці провідностей і правої частини: повне і безреактивне значення функції і частинні похідні вихідної змінної (реактивні і безреактивні) по кожному з аргументів функції. Але оскільки виходом функції є імпульсний сигнал без будь-яких затримок, то всі ці складові дорівнюють нулю, за винятком, безумовно, значення самої функції, яке виробляє підпрограма регулятора UPR .

Якщо розрахунок тільки починається, тобто виконується перша ітерація початкового кроку інтегрування $h_n = h_{нач}$, $t_n = t_{нач}$, то, щоб розрахувати кінцевий час першого кроку управління $T1$, необхідно повернутися в точку $t = 0$, тобто $T1 = (t_n - h_{нач}) + h_{res}$.

На цьому кроці управління блок 2 з моделями АЦП і підпрограмою регулятора не підключається, тому що $PR = 0$ (початкове значення), процес інтегрування йде з кроком h_n , що автоматично вибирається і обмежується блоком 4 до значення $d1$, що дорівнює відрізка часу від точки $t = t_n$ до точки $t = T1$, для того, щоб останній успішний крок інтегрування попав в точку $t = T1 + D$ ($D = 0,000001$ для гарантії, що точку $T1$ пройдено).

На наступних кроках управління, якщо останній був успішним на k -му кроці управління, крок інтегрування h_{n-1} попав в точку $t = T_k + 0,000001$ і вибрано новий крок h_n , тобто $t_{n-1} + h_n > T_k$, то в точці $t = t_n - h_n = T_k + 0,000001$ підключається блок 2 з моделями АЦП і підпрограмою регулятора, який виробляє черговий імпульс управління PR_k і встановлює черговий крок управління, кінцевий час якого $T_k = T_k + h_{res}$.

Вихідний імпульс PR залишається незмінним на протязі всього кроку управління, поки процес інтегрування не дійде кінця цього кроку, і тоді знову підключається підпрограма регулятора і формується новий управляючий імпульс, і так далі.

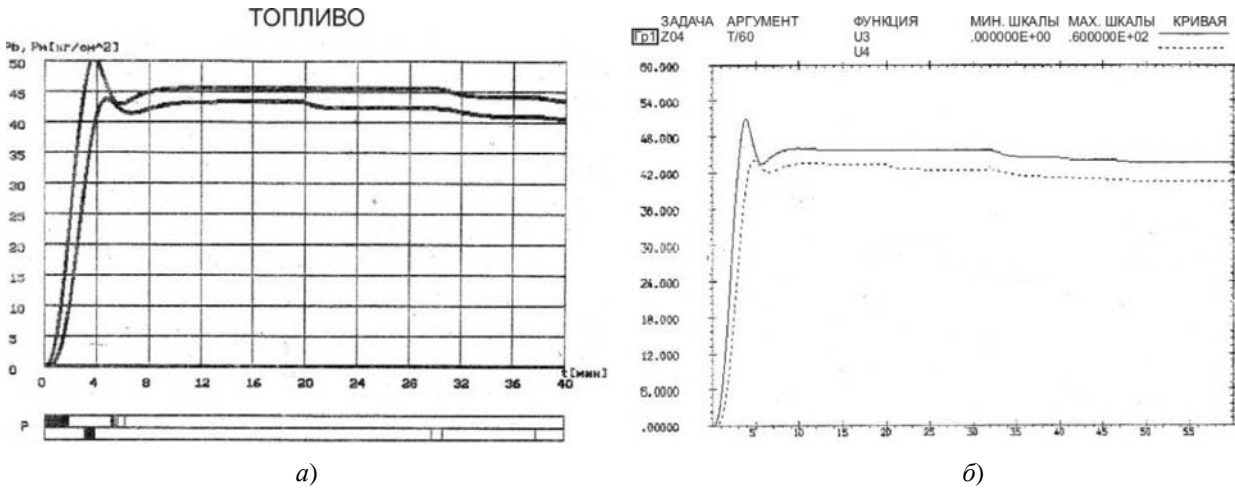


Рис. 5. Перехідний процес встановлення тиску в барабані котла P_b та в магістралі P_m :

a – копія екрана спеціалізованої програми АСУТП; *б* – результати функціонального моделювання

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ

Авторами було проведено моделювання перехідного процесу встановлення тиску пари в котлі реальної САР палива в АСУТП Коровинецького цукрового заводу на спеціалізованій програмі функціонального моделювання САР (рис. 5, *a*) і на програмі МАЕС-П (рис. 5, *б*).

Результати моделювання повністю співпадають.

ВИСНОВКИ

В статті наведені електричні схеми моделей типових функціональних блоків регулювання і розроблена еквівалентна електронна схема функціональної моделі реальної САР. Показана особливість настроювання і керування роботою регулятора у складі функціональної моделі САР. Наведений приклад доказує адекватність такого підходу до функціонального моделювання.

Набір даних, що був отриманий під час роботи спеціальної програми САР палива, характеризує перехідний процес встановлення тиску в барабані котла. Ці дані співпадають з результатами, які дає сеанс функціонального моделювання за допомогою програми МАЕС-П.

Період часу функціонального моделювання значно менший за час спрацьовування регулятора реальної АСУТП. Це підтверджує практичну цінність виконаної роботи. Випереджаючий характер функціонального моделювання може значно спростити процес прийняття рішення з попереднім передбаченням наслідків.

Таким чином, показано можливість використання програми МАЕС-П для функціонального моделювання САР. Це дозволяє при наявності програми схемотехнічного моделювання відмовитись від придбання спеціалізованої програми функціонального моделювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Норенков, И. П.* Введение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем / И. П. Норенков. – М.: Высш. школа, 1986. – 304 с.
2. *Петренко, А. И.* Автоматизация схемотехнического проектирования в машиностроении / Петренко А. И., Ладогубец В. В., Чкалов В. В. – Киев: УМК ВО, 1988. – 180 с.
3. *Піза, Д. М.* Моделювання радіоелектронних пристроїв: навчальний посібник / Піза Д. М., Тімовський А. К., Лугін А. І. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. – 258 с.

Надійшла 13.05.2010
Після доробки 19.11.2010

Тімовський А. К., Голдобин А. А.

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ САР С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ МАЕС-П

Показана возможность использования программ анализа электронных схем для функционального моделирования систем автоматического регулирования.

Ключевые слова: функциональное моделирование, МАЕС-П, система автоматического регулирования, эквивалентная электрическая схема.

Timovsky A. K., Goldobin A. A.

FUNCTIONAL MODELING OF ACS USING THE MAES-P PROGRAM

Functional modeling of automatic control systems using the programs of electronic circuits analysis.

Key words: functional modeling, MAES-P, automatic control system, equivalent electric circuit.