

УДК 681.31.001.8

А.І. Корнійчук, к.т.н., доц.
Житомирський інженерно-технологічний інститут
Ю.О. Подчашинський, ст. викл.
Житомирський інженерно-технологічний інститут

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ ТА ЕЛЕКТРОННОЇ МОДЕЛЕЙ БІНАРНОГО УПРАВЛІННЯ ПОСЛІДОВНІСТЮ ПОДІЙ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ

Розроблено новий метод моделювання процесу бінарного управління послідовністю подій для виробничої технологічної лінії. Метод поєднує математичну модель у формі рівнянь управління механізмами технологічної лінії і електронний аналог цієї моделі у формі цифрової електричної схеми, яка складається з тригерів та елементів затримки. Отримана модель може бути використана при проектуванні автоматизованих систем управління виробничими процесами.

Сучасні системи управління технологічними процесами засновані на широкому застосуванні мікропроцесорів (мікроконтролерів). Налаштування їх на конкретний технологічний процес здійснюється шляхом занесення відповідної програми в постійний запам'ятовуючий пристрій системи управління [2]. Але для цього необхідно мати математичну модель управління технологічним процесом – систему рівнянь, вирішення якої визначає, який з механізмів необхідно включити, а який виключити, в даний момент часу. Оскільки мова йде про бінарне управління технологічною лінією, то система рівнянь, яка описує алгоритм управління нею, є системою булевих рівнянь. В роботі [1] викладено методику отримання рівнянь управління такими об'єктами.

Програмування мікроконтролера системи управління за отриманими рівняннями без перевірки правильності останніх недоцільно, тому що вони можуть мати помилки. Ці помилки можуть виникнути через неврахування деяких особливостей управління тим чи іншим механізмом в даному технологічному процесі. Помилки можуть мати і чисто механічний характер.

Програмування мікроконтролерів є досить трудомісткою операцією і не може бути проведено багаторазово. Тому перед програмуванням треба бути впевненим у правильності складання алгоритму управління.

Для аналізу отриманих рівнянь управління доцільно застосовувати стандартні програми. Найбільш професійною серед них є програма Micro-Cap [3]. Ця програма призначена для аналізу електронних схем як аналогових, так і логічних (цифрових). Для цього алгоритм управління необхідно звести до відповідної схеми.

Схеми з аналоговими елементами доцільно застосовувати для аналізу систем автоматичного регулювання, в яких окремі елементи описуються диференціальними або алгебраїчними рівняннями. Системи бінарного управління механізмами технологічних ліній описуються булевими або рекурентними булевими рівняннями, яким відповідають схеми на логічних або цифрових елементах.

Таким чином, задача зводиться до зображення алгоритму управління у вигляді електронної логічної схеми.

При розробці методики складання рівнянь управління механізмами технологічних ліній будемо вважати, що в основу математичної моделі управління покладено RS-тригер [1]. В моделі можуть бути три типи таких тригерів: контрольний тригер ТК, тригер управління ТУ та додаткові тригери (математичні датчики).

Контрольний тригер ТК має одну команду, яка переводить його в одиничний стан. Ця команда надходить, як правило, від оператора, від пускової кнопки "Попередній запуск". Решта команд цього тригера є команди на виключення при порушенні того чи іншого параметра механізму або його привода. Якщо в моделі вважати, що тригер має один R-вхід, то всі команди на виключення необхідно об'єднати елементом "АБО".

Логіка роботи контрольної частини досить проста і зводиться до наступного: подати сигнал оператору про порушення якогось з контрольних параметрів; виключити механізм при порушенні якогось з його параметрів, якщо він був включений; не включати механізм при порушенні якогось з його параметрів, якщо він не був включений.

Таким чином, для аналізу алгоритму управління достатньо враховувати лише управляючу частину математичної моделі, яка складається з тригерів управління ТУ. Крім них в математичну модель можуть входити додаткові тригери, які імітують датчики або виконують роль пам'яті про виконання механізмом тих чи інших дій.

Кожне рівняння включення або виключення цих тригерів є кон'юнкція тих чи інших змінних, тому необхідно вводити в електронну модель елементи "І". Якщо є декілька рівнянь включення або декілька рівнянь виключення одного і того ж тригера, то необхідно ввести в електронну модель елементи "АБО".

Вхідними сигналами отриманої електронної схеми у загальному випадку будуть такі змінні: стан диспетчерських ключів для визначення режиму роботи механізмів або технологічної ділянки; стан операторських кнопок управління; стан датчиків положення механізмів та технологічного матеріалу.

Якщо система нормально працює в автоматичному режимі, то перевіряти здатність до роботи в ручному режимі немає потреби. Тому диспетчерські та операторські змінні можна виключити. Залишаються лише датчики положення механізмів та датчики положення технологічного матеріалу.

В технологічному вузлі, як правило, датчик технологічного матеріалу визначає певний цикл роботи механізмів цього вузла. При виконанні механізмами певної операції цей датчик змінює свій стан на протилежний. Але перехід в початковий стан повинен здійснюватися тільки під дією технологічного матеріалу. Тому його стан повинен задаватися при аналізі роботи системи управління. Імітатором (моделлю) технологічного матеріалу може бути генератор імпульсів, який включає (виключає) датчик технологічного матеріалу. Можна ввести в програму режим, при якому цей датчик приймає початковий стан тоді, коли всі механізми виконали необхідні операції і повернулися в початкове положення. Тому зміна стану датчика технологічного матеріалу повинна проводитися через певний час, який пропорційний реальному часу роботи механізмів вузла. Такий режим аналізу дозволяє проглянути декілька циклів роботи механізмів.

Вхідними сигналами електронної схеми будуть також сигнали датчиків положення механізмів. Стан датчиків змінюється при роботі механізмів. Тому такі датчики необхідно імітувати за допомогою тригерів. Якщо стан датчика змінюється відразу після включення механізму, то цей тригер повинен змінити свій стан при появі сигналу включення механізму. Якщо датчик переключається в кінці руху механізму, то переключення тригера повинно відбуватися з затримкою, яка пропорційна часу руху цього механізму. Якщо порушити деякі зв'язки цього тригера, то можна імітувати пошкодження датчика і перевірити роботу механізмів при цьому пошкодженні.

Таким чином, електронна модель алгоритму управління механізмами технологічних ліній є схема на зворотних зв'язках.

Подібний аналіз алгоритму управління можна проводити не тільки для реальних систем, а й для тих технологічних ліній, які тільки проектується. Такий аналіз дозволяє перевірити роботу всіх "встановлених" на лінії механізмів, знайти той вузол або механізм, який визначає продуктивність роботи всієї лінії. Це дозволяє визначити рівняння управління такою лінією ще до її монтажу і значно скоротити час на провадження системи управління. Це особливо важливо для фірм, які виготовляють як технологічні лінії, так і системи управління для них.

Розглянемо практичний приклад аналізу роботи технологічної ділянки. Нехай маємо технологічну ділянку для вибивки ливарних форм (рис. 1).

Форми з відлитими деталями переміщуються транспортером. Коли форма опиниться в зоні дії реверсивного механізму М1-2 ($X_1 = 1$), останній переміщує її на проміжний стіл № 1 і повертається в початкове положення. Коли форма опиниться на проміжному столі, а механізм М1-2 повернеться в початкове положення, реверсивний механізм М3-4 переміщує її на вібростіл і повертається в початкове положення.

Наступна форма буде переміщена на проміжний стіл № 1. Механізм М3-4, переміщуючи наступну форму на вібростіл, перемістить попередню на проміжний стіл № 2. Після цього реверсивний механізм М5-6 перемістить порожню форму на транспортер.

Дозволяється одночасна робота механізмів М1-2 та М5-6. Решта механізмів одночасно працювати не можуть.

Датчик X_1 визначає положення форми. Решта датчиків визначають положення механізмів.

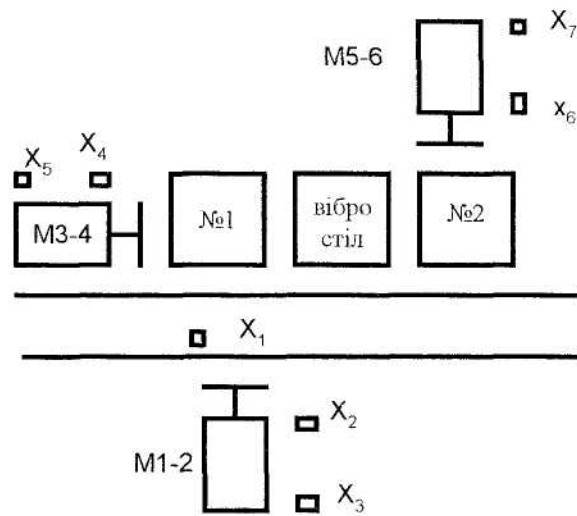


Рис. 1. Технологічна ділянка вибівки ливарних форм

Складемо рівняння управління механізмом М1. Його можна включити, якщо:

- а) є форма на транспортері ($X_1 = 1$);
 - б) механізм М2 виключений ($2TУ = 0$);
 - в) механізм М3 знаходиться в крайньому положенні ($X_5 = 1$) і не включений ($3TУ = 0$).
- Тоді рівняння включення механізму М1 має вигляд:

$$1TУ_s = X_1 \cdot \overline{2TУ} \cdot X_5 \cdot \overline{3TУ}$$

Механізм М1 виключається тоді, коли він буде в своєму крайньому положенні ($X_2 = 1$).

Рівняння виключення має вигляд:

$$1TУ_R = X_2$$

Механізм М2 включається тоді, коли $X_2 = 1$ при виключеному механізмові М1 ($1TУ = 0$), а виключається при $X_3 = 1$.

Рівняння управління механізмом М2 мають вигляд:

$$2TУ_s = X_2 \cdot \overline{1TУ};$$

$$2TУ_R = X_3$$

Механізм М3 повинен пересунути форму на вібростіл. Але датчика, який вказував би на наявність форми на проміжному столі, немає. Створимо його штучно. Для цього введемо тригер 1Т, який включається тоді, коли працював механізм М1 (без форми він не працює), а виключається тоді, коли механізм М3-4 повертається в початкове положення:

$$1T_s = 1TУ;$$

$$1T_R = 4TУ$$

Тепер можна скласти рівняння включення механізму М3. Його можна включити, якщо:

- а) працював механізм М1 ($1T = 1$);
- б) механізм М1 знаходиться в початковому стані ($X_3 = 1$) і не включений ($1TУ = 0$);
- в) не працює механізм М4 ($4TУ = 0$).

Рівняння включення М3 має вигляд:

$$3TУ_s = 1T \cdot X_3 \cdot \overline{1TУ} \cdot \overline{4TУ}$$

Виключається механізм від датчика Х4:

$$3TУ_R = X_4$$

Механізм М4 включається тоді, коли $X_4 = 1$ при виключеному М3, а виключається при $X_5 = 1$:

$$4TУ_s = X_4 \cdot \overline{3TУ};$$

$$4TУ_R = X_5$$

Механізм М5 може працювати одночасно з механізмом М1. При цьому його перше переміщення буде "холостим", тому що в його зоні ще немає форми. Але це не має принципового значення з точки зору технології. По закінченні роботи лінії на вібростолі залишиться одна форма, що теж не має значення. Рівняння управління механізму М5 мають вигляд:

$$\begin{aligned} 5T_{U_S} &= 1TU \cdot \overline{6TU}; \\ 5T_{U_R} &= X6. \end{aligned}$$

Рівняння управління механізму М6 мають вигляд

$$\begin{aligned} 6T_{U_S} &= X6 \cdot \overline{5TU}; \\ 6T_{U_R} &= X7. \end{aligned}$$

Робота механізмів М5 та М6 не обмежена станом та положенням механізмів М3 та М4, тому що при роботі механізму М1 ці умови враховані.

Таким чином, алгоритм управління механізмами технологічної ділянки описується системою булевих рівнянь:

$$\begin{aligned} 1T_{U_S} &= X1 \cdot \overline{2TU} \cdot X5 \cdot \overline{3TU}; \\ 1T_{U_R} &= X2; \\ 2T_{U_S} &= X2 \cdot \overline{1TU}; \\ 2T_{U_R} &= X3; \\ 1T_S &= 1TU; \\ 1T_R &= 4TU; \\ 3T_{U_S} &= 1T \cdot X3 \cdot \overline{1TU} \cdot \overline{4TU}; \\ 3T_{U_R} &= X4; \\ 4T_{U_S} &= X4 \cdot \overline{3TU}; \\ 4T_{U_R} &= X5; \\ 5T_{U_S} &= 1TU \cdot \overline{6TU}; \\ 5T_{U_R} &= X6; \\ 6T_{U_S} &= X6 \cdot \overline{5TU}; \\ 6T_{U_R} &= X7. \end{aligned} \tag{1}$$

В цих моделях рівняння зі знаком "S" є рівняння включення механізму або рівняння включення RS-тригера. Рівняння зі знаком "R" – рівняння виключення RS-тригера.

Для побудови електронної моделі необхідно отримати рівняння управління датчиками положення.

Датчик X1 включається технологічним матеріалом. В електронній моделі імітувати технологічний матеріал може генератор імпульсів з частотою f або періодом $T = 1/f$. Форми в зоні механізму М1 будуть з'являтися через час T . Цей час повинен бути пропорційним дійсному часу появи форм.

Виключається датчик X1 при початку руху механізму М1. Тоді рівняння, які описують роботу датчика X1, мають вигляд:

$$\begin{aligned} X1_S &= T; \\ X1_R &= 1TU. \end{aligned} \tag{2}$$

Датчик X2 включається тоді, коли механізм М1 зробив свій повний хід, а виключається відразу після початку руху механізму М2. Тоді рівняння, які описують роботу датчика X2, мають вигляд:

$$\begin{aligned} X2_S &= 1TU \rightarrow t(p1) \rightarrow; \\ X2_R &= 2TU, \end{aligned} \tag{3}$$

де $\rightarrow t(p1) \rightarrow$ – часова затримка на час $t(p)$.

Час $p1$ пропорційний часу повного ходу механізму М1.

Датчик X3 виключається на початку руху механізму М1, а включається тоді, коли закінчив рух механізм М2. Тоді рівняння, які описують роботу датчика X3, мають вигляд:

$$X3_S = 2TU \rightarrow t(p2) \rightarrow; \tag{4}$$

$$X3_R = 1TU .$$

Датчик X4 включається тоді, коли механізм M3 виконав свій повний хід, а виключається тоді, коли почав рух механізм M4. Тоді рівняння, які описують роботу датчика X4, мають вигляд:

$$\begin{aligned} X4_S &= 3TU \rightarrow t(p3) \rightarrow ; \\ X4_R &= 4TU . \end{aligned} \tag{5}$$

Датчик X5 виключається тоді, коли почав рух механізм M3, а включається тоді, коли закінчив рух механізм M4. Тоді рівняння, які описують роботу датчика X5, мають вигляд:

$$\begin{aligned} X5_S &= 3TU ; \\ X5_R &= 4TU \rightarrow t(p4) \rightarrow . \end{aligned} \tag{6}$$

Датчик X6 включається при кінці руху механізму M5, а виключається при початку руху механізму M6. Тоді рівняння, які описують роботу датчика X6, мають вигляд:

$$\begin{aligned} X6_S &= 5TU \rightarrow t(p5) ; \\ X6_R &= 6TU . \end{aligned} \tag{7}$$

Датчик X7 включається тоді, коли закінчив рух механізм M6, а виключається тоді, коли почав рух механізм M5. Тоді рівняння, які описують роботу датчика X7, мають вигляд:

$$\begin{aligned} X7_S &= 6TU \rightarrow t(p6) \rightarrow ; \\ X7_R &= 5TU . \end{aligned} \tag{8}$$

Час роботи механізмів однаковий, тому всі часові затримки однакові.

Таким чином, алгоритм роботи механізмів технологічної ділянки з урахуванням переключення датчиків описується рівняннями (1) – (8).

За наведеними рівняннями можна скласти електронну модель алгоритму управління даною технологічною ділянкою (рис. 2).

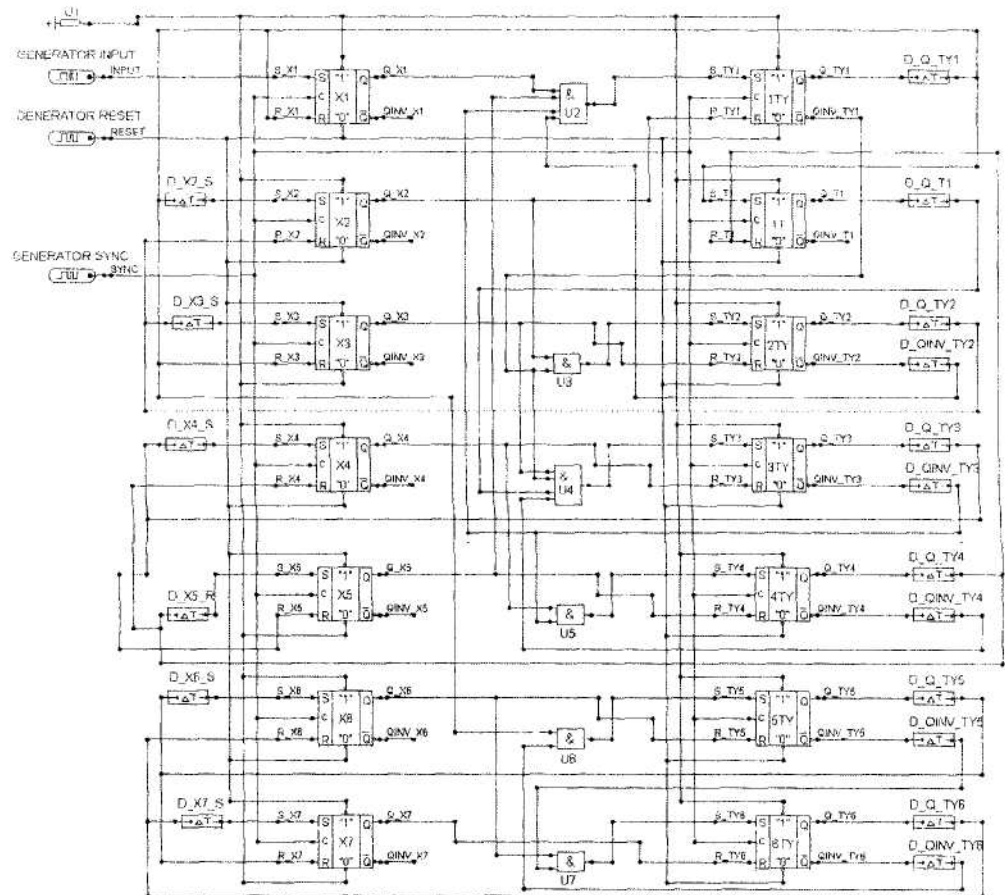


Рис. 2. Електронна модель алгоритму управління

Опис моделі в програмі Micro-Cap має вигляд:

```
*** DIGITAL GENERATOR INPUT
.DEFINE INPUT
+0S 0
+1LABEL=START
+4S INCR BY 1
+6S INCR BY 1
+20S GOTO START -1 TIMES
+1800S 0

*** DIGITAL GENERATOR RESET
.DEFINE RESET
+0mS 1
+300mS 0
+500mS 1

*** DIGITAL GENERATOR SYNC
.DEFINE SYNC
+0S 0
+3S 1
+1800S 0

*** MODELS OF DIGITAL ELEMENTS
.MODEL D1 UDLY (DLYMN=2s DLYTY=2s DLYMX=2s)
.MODEL D2 UDLY (DLYMN=100ms DLYTY=100ms
+DLYMX=100ms)
.MODEL D0_GATE UGATE ()
.MODEL D0_GFF UGFF ()
.MODEL D3 UDLY (DLYMN=0s DLYTY=0s DLYMX=0s)
```

Далі в програмі Micro-Cap можна виконати аналіз отриманої моделі.

Таким чином, запропоновано новий метод моделювання процесу бінарного управління послідовністю подій для виробничої технологічної лінії. Для цього розроблено математичну модель в формі рівнянь управління механізмами технологічної лінії і електронний аналог цієї моделі в формі цифрової електричної схеми, яка складається з тригерів та елементів затримки. Отримана модель може бути використана при проектуванні автоматизованих систем управління виробничими процесами.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Корнійчук А.І. Методика складання рівнянь управління логічних об'єктів. – Житомир: ЖІТІ, 2000. – 196 с.
2. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. – С-Пб.: Певский диалект, 2001. – 557 с.
3. Разевиг В.Д. Система схемотехнического моделирования Micro-Cap 5. – М.: СОЛОН, 1997. – 274 с.

КОРНИЙЧУК Анатолій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та управління в технічних системах Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– автоматизація технологічних процесів.

ПОДЧАШИНСЬКИЙ Юрій Олександрович – старший викладач кафедри автоматики та управління в технічних системах Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– методи алгоритмічної обробки інформації в технічних системах.

Подано 20.12.2002 р.