

Міністерство освіти і науки України
Національний університет харчових технологій

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

№ 14

Київ НУХТ 2003

УДК 681.3.072.1:32

Б.М. Гончаренко, д-р техн. наук
К.В. Коновалов, асист.

АНАЛІЗ КОРИГУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЦЕНТРУВАННЯ ЕТИКЕТКИ ЯК ІМПУЛЬСНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Загортальні автомати виконують певну послідовність операцій, що повторюються у кожному циклі роботи. Тому і коригувальна система центрування етикетки на виробі спрацьовує в кожному циклі. На основі аналізу дискретних сигналів від датчика мітки і синхронізатора вона виробляє дискретний коригувальний сигнал, який, керуючи роботою виконавчого двигуна, узгоджує положення мітки на стрічці обгорткового

матеріалу і роботу ножа, що відтинає комплект обгортки. Ніж є цикловим механізмом, що визначає, залежно від продуктивності автомата, темп проходження сигналів або частоту циклів.

Якщо в будь-якій системі хоча б один з її складових елементів є дискретним, тобто має дискретну вхідну або вихідну величину у вигляді послідовності імпульсів, то і вся система є дискретною, хоч вона, крім дискретної частини, містить також і неперервну [1]. Послідовність

© Б.М. Гончаренко, К.В. Коновалов, 2003

дискретних сигналів (імпульсів) згладжується неперервною частиною системи і перетворюється в неперервний сигнал, який у замкнених системах по каналу зворотного зв'язку, що замикає систему, знову потрапляє на вхід дискретного елемента.

Системи, що обробляють послідовність дискретних імпульсів (квантування за часом), належать до імпульсних [1]. Метод модулювання імпульсів залежно від закономірності змінення неперервної величини визначає вид імпульсної системи: амплітудна, широтна або часова. Система центрування етикетки загортального автомата з огляду на її спрацювання у кожному циклі може вважатися імпульсною і зводиться до функціональної схеми, що наведена на *рис.1, а*.

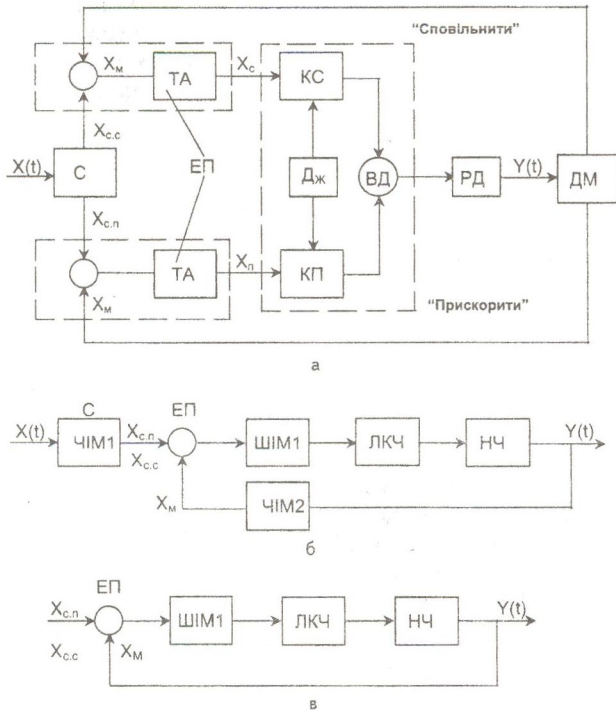


Рис. 1. Функціональні схеми системи центрування

Задавальним діянням $X(t)$ будь-якого коригувального каналу ("Прискорити" або "Сповідьнити") системи центрування є сигнал положення циклового механізму (відтигального ножа), відносно якого регулюється (центрується) мітка на стрічці обгортального матеріалу. Мірою положення ножа є сигнали синхронізатора С, що має однакову з ножем кутову координату: $X_{c,c}$ — для каналу "Сповідьнити" та $X_{c,n}$ — "Прискорити".

Регульованою величиною $Y(t) = \Delta L$ системи центрування є відхилення довжини етикетки L , що визначається за положенням мітки на стрічці матеріалу відносно ножа. Відносно положення мітки і ножа визначає непогодження системи, яке вимірюється взаємним положенням сигналів X_m датчика міток ДМ і сигналів $X_{c,c}$ або $X_{c,n}$ синхронізатора С, а саме часом запізнення зрізу імпульсу X_m від фронту імпульсу $X_{c,n}$ або зрізу $X_{c,c}$ від фронту X_m . Зміна непогодження положень ножа і мітки визначається подаванням стрічки з мітками за цикл автомата. Положення мітки і ножа контролюються в кожному циклі, тобто періодично із частотою, визначеною продуктивністю автомата. Якщо непогодження немає, то сигнал X_m вкладається в проміжок між сигналами $X_{c,c}$ і $X_{c,n}$. Синхронізатор С перетворює неперервний кут повороту ножа в послідовність імпульсів $X_{c,c}$ і $X_{c,n}$, відносна тривалість яких $\gamma = t_1 / T_c$ (відношення тривалості імпульсу до тривалості циклу) залежить від налагодження синхронізатора. Кут розхилу обтюратора

синхронізатора в реверсивних системах центрування, град, визначають так:

$$\alpha = 180(1 - 2b/L), \quad (1)$$

де L — крок етикетки (мітки); b — ширина мітки.

Тривалість імпульсу синхронізатора становить майже 0,3 с при 100 циклах/хв і 0,08 с при 1000 циклів/хв. Сигнали синхронізатора обґрунтовано можна вважати прямокутними, бо час перемикання фототранзисторів, що їх створюють, на 5-6 порядків менший за тривалість імпульсу. Отже, синхронізатор є безінерційною ланкою з коефіцієнтом передачі тривалості імпульсу $K_t = 1$, яка здійснює в дискретні моменти часу часоімпульсну модуляцію першого виду (ЧИМ1), що визначається розміщенням фотодатчика синхронізатора С та зсувом останнього відносно ножа.

Тривалість сигналу X_m датчика міток ДМ на порядок менша за тривалість сигналів синхронізатора С і при певній продуктивності автомата визначається шириною мітки. Відхилення мітки змінюється в часі, тому послідовність сигналів X_m промодульована в часі відповідно до зміни непогодження, тобто ДМ здійснює часоімпульсну модуляцію другого виду (ЧИМ2).

Непогодження визначається елементом порівняння ЕП, яким є логічні схеми збігу — кон'юнкції (ТА). За виконуваними функціями ЕП є модулятором тривалості імпульсів, бо слугує для перетворення неперервних сигналів X_m та $X_{c,n}$ і $X_{c,c}$ на вихіді ЕП в прямокутні імпульси керувальних діянь X_n ("Прискорити") або X_c ("Сповідьнити"), які виникають у разі збігу вхідних сигналів схеми ТА і відносна тривалість яких $\gamma = t_1 / T_c$ визначається непогодженням. Тому схема збігу елемента порівняння здійснює широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ) керувальних діянь X_n або X_c .

Керувальні діяння X_c та X_n за допомогою ключів КС в каналі "Сповідьнити" та КП в каналі "Прискорити" визначають момент подання напруги від джерела живлення ДЖ на реверсивний виконавчий двигун ВД, що через редуктор РД коригує подання стрічки з мітками до ножа на відтинання. Положення міток, як вказувалося, фіксує датчик міток ДМ.

Аналізу та складанню структурної схеми системи центрування етикетки має передувати деяке перетворення її функціональної схеми. У вихідній схемі (*рис.1,а*) елементи з ЧИМ увімкнені так: один (С) — поза замкнених контурів системи, а другий (ДМ) — у замкнені. Сигнали $X_{c,n}$, $X_{c,c}$ і X_m мають дискретний часоімпульсний характер, але послідовності імпульсів непогодження і керувальних діянь X_c або X_n уже широтно-модульовані. Тобто схема збігу ТА елемента порівняння ЕП перетворює вид імпульсної модуляції. Тому, щоб спростити аналіз, зручніше перетворити схему системи центрування, як показано на *рис.1,б*, де, як і у вихідній схемі, один з імпульсних елементів (С) увімкнено поза замкненим контуром, а другий (ДМ) — у замкнений і обидва імпульсні елементи є часовими, бо здійснюють ЧИМ1 або ЧИМ2. Вони лише визначають дискретність сигналів X_m , $X_{c,n}$, $X_{c,c}$, не впливаючи на динамічні властивості системи. Тому можна еквівалентно замінити ці ЧИМ-елементи одним ШИМ-елементом на виході елемента порівняння ЕП, як показано на *рис.1,в*, де неперервна частина системи центрування позначена НЧ, а логічна керувальна частина — ЛКЧ.

У системі центрування ЛКЧ як імпульсний модулятор перетворює неперервний сигнал непогодження $\Delta L(t)$ в послідовність (*рис. 2, а*) імпульсів напруги $U(t)$, що подається в коло керування одним з ключів (КС або КП) виконавчого двигуна з амплітудою U_{max} . Тривалість імпульсу напруги в n -му циклі (періоді) пропорційна

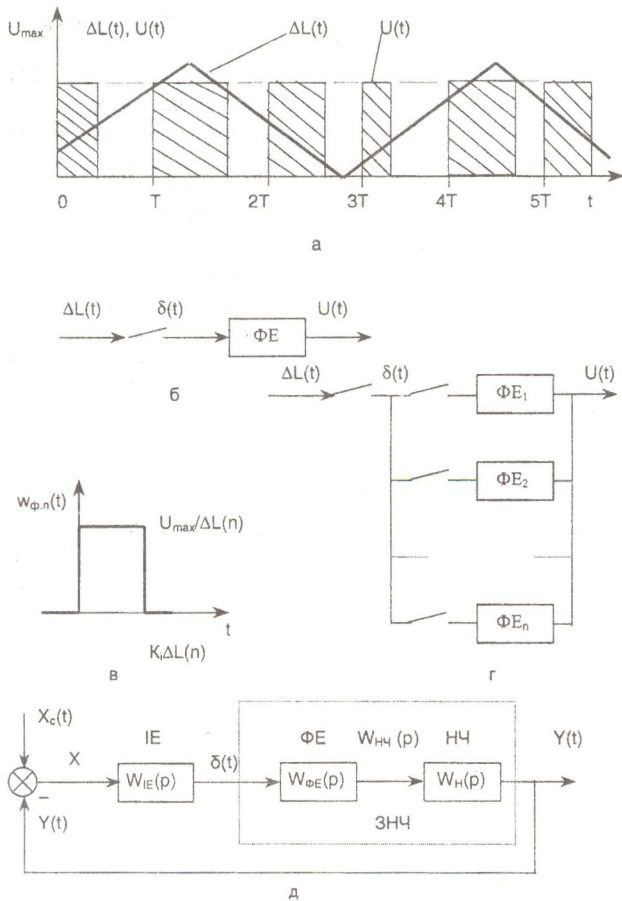


Рис. 2. Еквівалентні схеми системи центрування

значенню непогодження $\Delta L(n)$ в той же момент часу в тому ж циклі автомата, тобто

$$\Delta t(n) = K_1 \Delta L(n), \quad (2)$$

де K_1 — коефіцієнт широтної модуляції. Цей модулятор зводиться [2] до такого, що генерує миттєві імпульси виду $\Delta(t)$ — функції і має в складі формувальний елемент ΦE (рис. 2, б). Якщо на вхід цього елемента подати імпульс $\Delta(t)$, то на його виході виникає прямокутний імпульс з амплітудою U_{max} і тривалістю $\Delta t(n)$. Тому імпульсна перехідна (вагова) функція $w_{\phi,n}(t)$ стосовно ΦE має вигляд прямокутного імпульсу з амплітудою $U_{max} / \Delta L(n)$ і тривалістю $K_1 \Delta L(n)$ (рис. 2, в), а його передавальна функція буде

$$W_{\phi}(p) = [U_{max}(p) / \Delta L(n)] / [(1 - \exp(-K_1 \Delta L(n)p)) / p]. \quad (3)$$

Коефіцієнти виразу $U_{max}(p) / \Delta L(n)$ і $K_1 \Delta L(n)$ зберігають своє значення тільки впродовж одного циклу (періоду повтору імпульсів), а в наступному вони стрибком змінюються відповідно до зміни непогодження $\Delta L(n)$. Класичний підхід теорії автоматичного керування пропонує таке змінення властивостей ΦE апроксимувати паралельним увімкненням великої кількості формувальних елементів ΦE_n (за кількістю можливих значень непогодження в циклі) (рис. 2, г). Проте в будь-якому n -му періоді частотна характеристика ΦE визначиться виразом

$$W_{\phi}(j\omega = K_1 U_{max} [\sin((K_1 \Delta L(n)/2)\omega)] / [(K_1 \times \Delta L(n)/2)\omega \exp(-j(K_1 \Delta L(n)/2)\omega)]. \quad (4)$$

Розгляд частотних властивостей системи центрування становить інтерес лише до частоти зрізу ω_m , що визначена за умовою передачі інформації без спотворень за теоремою Котельникова. Якщо частота ω_m мала, то всі частотні характеристики може замінити одна, що відповідає максимальному вхідному сигналу Δ_m . Така заміна обґрунтовує заміну широтного модулятора лінійним ам-

плітудним, що формує імпульс тривалістю $\Delta t_m = K_1 \Delta L_m$, який дорівнює тривалості широтно-модульованого імпульсу при максимальному вхідному сигналі та має однакову з ним площу. Умовою допустимості такої заміни при розбігу характеристик до 5% є вираз

$$\Delta t_m = 1,1 / \omega_m. \quad (5)$$

Максимальну суттєву частоту ω_m спектра неперервної функції за теоремою Котельникова вибирають як

$$\omega_m < \omega_c / 2,$$

де $\omega_c = 2\pi/T_c$ — частота проходження імпульсів; T_c — тривалість циклу.

Залежно від продуктивності автомата (в межах від 400 до 1000 циклів/хв) частота ω_c коливається від 41,8 до 105,0 рад/с (від 6,67 до 16,7 Гц). Це визначає значення суттєвої частоти ω_m в межах від 3 до 8 Гц. Максимально допустиме непогодження Δt_m , при якому ще справедлива вказана заміна типу модулятора для тих же продуктивностей, становить від 0,368 до 0,138 с. Якщо зважити на 15 мм реального максимального непогодження, що може статися за умови автоблокування подавання обгортки, то це становить лише від 0,0245 до 0,0097 с або ж близько 1/15 максимальної суттєвої частоти. Отже, наведена заміна типу модулятора допустима, бо не вносить помітної похибки, але суттєво спрощує аналіз.

Тоді показані на рис. 2, д імпульсний елемент ІЕ з передавальною функцією $W_{IE}(p)$ і формувальний елемент ΦE з $W_{\phi E}(p)$ замінюють широтно-імпульсний модулятор на рис. 1, в. Це суттєво, бо система з широтною ІМ належить до класу нелінійних систем, аналіз яких затруднений, а з амплітудною ІМ — до лінійних, апарат аналізу яких добре відпрацьований.

Імпульсний елемент ІЕ формує імпульси виду $\delta(t)$ -функції з площею, що дорівнює значенню вхідного сигналу формувального елемента ΦE . ΦE є неперервною частиною, його реакція на імпульс $\delta(t)$ збігається з імпульсами на виході реального імпульсного елемента і є імпульсною перехідною функцією $w_{\phi,n}(t)$. Оскільки зображення Лапласа миттєвого імпульсу дорівнює одиниці ($L[\delta(t)] = 1$), то зображення імпульсної перехідної функції дорівнює передавальній функції того ж елемента, тобто

$$L[w_{\phi,n}(t)] = W_{\phi}(p) L[\delta(t)] = W_{\phi}(p). \quad (6)$$

Для прямокутного імпульсу з амплітудою K_1 вираз (3) набуває вигляду

$$W_{\phi,n}(p) = K_1 [(1 - \exp(-\gamma T p)) / p], \quad (7)$$

де $\Delta t_i = \gamma T = K_1 \Delta L(n)$ — тривалість імпульсу.

При $\gamma \ll 1$ чисельник (7) спрощується розкладанням у ряд Маклорена в околі $\gamma = 0$ і вибором, з огляду на його швидку сходимость, тільки перших членів:

$$1 - \exp(-\gamma T p) \approx \gamma T p, \quad (8)$$

а передавальна функція ΦE за рівнянням (7) набуває вигляду

$$W_{\phi E}(p) = K_1 \gamma T. \quad (9)$$

Щоб спростити аналіз, застосуємо відносний масштаб часу $\theta = t / T$. Тоді імпульсна перехідна функція ΦE зобразиться так:

$$w_{\phi,n}(t) = w_{\phi,n}(\theta T) = w(\theta). \quad (10)$$

Позначимо

$$L[w(\theta)] = W(q) \quad (11)$$

і за теоремою про змінення масштабу часу дістанемо

$$L[w_{\phi,n}(\theta T)] = (1/T) W(q/T). \quad (12)$$

Оскільки $w(\theta) = w_{\phi,n}(\theta T)$, то згідно з рівняннями (11) і (12) запишемо

$$L[w(\theta)] = W(q) = (1/T) W(q/T), \quad (13)$$

вираз (7) у відносному масштабі часу стане

$$W_{\phi}(q) = K_1 [1 - \exp(-\gamma q)] / q, \quad (14)$$

а вираз (9), відповідно,

$$W_{\phi E}(q) = (1/T) (K_1 \gamma T) = K_1 \gamma. \quad (15)$$

Тепер еквівалентну схему імпульсної системи центрування одержимо, якщо послідовно з'єднаємо найпростіший імпульсний елемент з передавальною функцією $W_{\text{ф.п}}(p)$ (або ж $W_{\text{ф.п}}(q)$) і неперервну частину НЧ системи з передавальною функцією $W_{\text{нч}}(p)$ (рис. 2, д). Неперервні частини системи (ФЕ і НЧ) об'єднаємо узведену неперервну частину (ЗНЧ) з передавальною функцією

$$W_{\text{нч}}(p) = W_{\text{ф.п}}(p) W_{\text{нч}}(p). \quad (16)$$

Оскільки вираз $W_{\text{ф.п}}(p)$ визначено вище, то динамічні властивості системи центрування можна буде проаналізувати після визначення $W_{\text{нч}}(p)$ відомими методами аналізу лінійних систем.

Висновок. Проаналізовано нелінійну систему центрування етикетки з широтно-імпульсною модуля-

цією, що дає можливість здійснити еквівалентну заміну її лінійною системою з амплітудною модуляцією. Обґрунтовано правомірність такої заміни.

ЛІТЕРАТУРА

1. Александров С.С., Козлов Е.П., Кузнецов Б.І. Автоматичне керування рухомими об'єктами і технологічними процесами: У 2 т.: Том 1. Теорія автоматичного керування. — Х.: НТУ "ХПІ", 2002.
2. Кваско М.З., Піргач М.С., Аверіна Т.В. Проектування і розрахунок дискретних автоматичних систем керування технологічними процесами. — К.: НТУУ "КПІ", 2000.

Надійшла до редколегії 15.05.02 р.