

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ ТА ЗВ'ЯЗКУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ЕКОНОМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ТРАНСПОРТУ

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту

Т. О. Телишева, С. О. Єфанов



**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.
ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ**

Навчально-методичний посібник
для студентів IV курсу
спеціалізації 6.092507.01 «Комп'ютерні інформаційно-керуючі системи
на залізничному транспорті»
денної та заочної форм навчання

Київ – 2010

УДК 621.078

Телишева Т.О., Єфанов С.О. Інформаційні технології. Теорія інформаційно-керуючих систем. Навчально-методичний посібник для студентів спеціалізації «Комп'ютерні інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» денної і заочної форм навчання.

Теоретичний матеріал систематизовано викладений і закріплений в практичних прикладах, які можуть розглядатися на практичних і лабораторних заняттях. Викладений математичний апарат цифрових систем, методика проектування цифрових систем і теорія керуючих автоматів. Це спрощує процес підготовки студентів, як до іспитів, так і до практичних і лабораторних занять.

Навчально-методичний посібник „Інформаційні технології. Теорія інформаційно-керуючих систем” призначений для студентів спеціалізації «Комп'ютерні інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» денної і заочної форм навчання і враховує н модульний принцип навчання, який дозволяє глибше і ширше перевірити знання з кожної частини курсу.

Посібник розраховано також на студентів напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» для денної та заочної форм навчання. Затверджений і рекомендований до друку рішенням засідання методичної комісії факультету ІРСЗТ (протокол № 5 від 23 .12.08 р.) та засідання кафедри АКІТТ(протокол № 2 від 27.09.08р)

Автори: **Телишева Т.О.**, кандидат технічних наук, доцент,
Єфанов С.О., кандидат технічних наук, доцент.

Рецензенти: **О.І. Стасюк**, доктор технічних наук, професор, зав. кафедри ІСТ ЗТ;
О.В.Федухін, д. т. н., провідний науковий співробітник Інституту проблем математичних машин і систем НАН України

ВСТУП

“Теорія інформаційно-керуючих систем” – дисципліна, яка має за мету надати теоретичний базис для розуміння процесу створення інтегральних інформаційно-керуючих систем для виробництва.

Системи, які призначені для «рівня виконання» ми називаємо інформаційно-керуючими системами (ІКС). У міжнародній термінології системи цього рівня позначаються як MES (Manufacturing execution systems).

Міжнародна організація MESA International (Асоціація постачальників MES) підготувала список функцій з керування виробництвом, які повинні входити в «повнофункціональну» MES-Систему:

Розподіл ресурсів і контроль їхнього стану – підготовляє інформацію про ресурси, включаючи устаткування, інструментальні засоби, трудові навички, матеріали та і інші об'єкти (наприклад, документація), які повинні бути доступні для роботи, щоб почати виробництво.

Оперативне планування – забезпечує складання графіків/виробничих завдань, заснованих на пріоритетах, на поточних обставинах, характеристиках і/або рецептах, пов'язаних з певними виробничими агрегатами, ділянками, цехами.

Диспетчеризація виробництва – управляє виробничими агрегатами, ділянками й цехами шляхом видачі планових завдань, розпоряджень по пуску/зупинці технологічного устаткування, розподілу партій сировини й напівфабрикатів, розпоряджень на виконання робіт.

Керування документами – управляє документообігом, що повинен супроводжувати виробничі процеси, включаючи робітничі інструкції, рецепти, креслення, розпорядження на виконання робіт, накладні на одержання матеріалів і інструмента, паспорта на партії продукції, зміни в технологічних

картах і регламентах, документи по передачі залишків продукції й напівфабрикатів між робочими змінами, звіти « план-факт».

Збір даних – забезпечує збір і розподіл даних про поточний стан всіх виробничих ресурсів.

Керування трудовими ресурсами – забезпечує керування персоналом в оперативному режимі.

Керування якістю – забезпечує аналіз у реальному масштабі часу інформації, що характеризує якість матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції, щоб вчасно виявляти й ідентифікувати проблеми, що вимагають уваги.

Керування виробничими процесами – контролює хід виробництва й автоматично виправляє або формує «пораду операторові» для того, щоб виправити й поліпшити виробничий процес.

Керування технічним обслуговуванням – контролює й організує дії, спрямовані на підтримку устаткування й інструментальних засобів в працездатному стані.

Моніторинг матеріальних потоків і Генеалогія – забезпечують контроль руху матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції в часі й просторі в процесі виробництва. Інформація про матеріальні потоки може включати дані про виробничий персонал, який зайнятий у виробництві (номери бригад, табельні номери); інформацію про постачальників сировини, напівфабрикатів; номери партій і серійні номери виробів; поточні технологічні параметри процесу; будь-які аварійні сигнали, інформацію про брак або інші відхилення, пов'язані з матеріалом або виробом.

Аналіз виконання – забезпечує поточний контроль фактичних результатів виробничих процесів, порівняння з минулою «історією» процесів і прогнозування очікуваних результатів.

Цей список настільки великий, що немає й, напевно, не буде жодного виробника MES-Систем, здатного у своїй продукції реалізувати всі функції. Тим більш, що конкретна їхня реалізація дуже відрізняється для різних типів виробництв і галузей промисловості. Інформаційні технології можуть істотно підвищити ефективність виробництва, причому важливо, щоб вони використовувалися на всіх рівнях керування. Для цього необхідна інтеграція різних систем, які використовують на підприємстві. Це дуже непросте завдання, тому що найчастіше на підприємстві одночасно функціонують системи різних поколінь, засновані на різних апаратних і програмних платформах.

Останніми роками у фокусі уваги фахівців з інформаційних технологій виявилися промислові платформи інтеграції додатків - Enterprise Application Integration (EAI). Успіхи розроблювачів у цьому напрямку дозволяють поєднувати в одній корпоративній інформаційній системі кращі у своєму класі додатки. Такий підхід становить серйозну конкуренцію виробникам ERP-Систем (**Enterprise Resource Planning, або ERP - система планування ресурсів підприємства**).

Навчальною програмою дисципліни з усього переліку функцій, які повинна виконувати ІКС, основну увагу приділено **збору даних та керуванню виробничими процесами** з використанням інформаційних технологій. Передбачено вивчення теоретичних засад теорії автоматичного керування, системного аналізу, технології збору, аналізу і обробки даних, що забезпечує розуміння і навички застосування знань для систем різних поколінь, які функціонують на різних апаратних і програмних платформах, що є характерним для підприємств і об'єктів залізничного транспорту.

Розділ 1. КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

В основу класифікації систем керування покладені різні ознаки, наприклад: типи об'єктів керування, види сигналів, принципи керування.

Основні об'єкти можна поділити на такі три класи як *біологічні*, *технічні* та *соціально-економічні*.

До першого класу відносять усі живі істоти та їх органи, наприклад: клітини, віруси, бактерії, тварини, люди.

До другого класу відносять наукові, технологічні процеси і виробництва, а також різні пристрої та обладнання.

Третій клас складають соціально-економічні утворення — установи, армія, держава і т.д.

За формою сигналів, що використовуються системами керування, вони поділяються на *аналогові* та *цифрові*.

У недавньому минулому найбільш поширеними були аналогові системи керування. Їх особливістю є використання аналогових величин як носіїв інформації: напруги, струму, частоти, фази і тощо. Перевагою аналогових систем керування є швидкодія і відносно недорога і компактна їх реалізація. Цифрові системи керування, основу роботи яких складає цифрова обробка сигналів і відповідно цифрове подання сигналів, посідають провідне місце серед сучасних комп'ютерних систем керування. Їх головна перевага — це висока точність роботи. Поряд з цим значно зросли їх надійність, завадостійкість і живучість у порівнянні з аналоговими системами. Крім того, цифрові системи керування мають високу гнучкість та універсальність. Цифрові системи на сьогодні зайняли монопольне положення в усіх сферах використання систем керування.

Проте обійтись без аналогових елементів цифрові системи та пристрої, в принципі, не можуть, тому правильно було б говорити не про цифрові системи керування, а про цифрові з елементами аналогових. Крім того, в багатьох сферах практичного застосування, де вимоги до точності не

настільки високі і необхідна висока швидкодія або низька вартість, досить ефективно використовуються аналогові системи керування.

За видом зв'язку системи керування поділяються на системи з *прямим і зворотним зв'язком*. У першому випадку інформація передається тільки від керуючого пристрою до об'єкта керування, а в другому - існує також передавання інформації в протилежному напрямку від об'єкта керування до керуючої системи.

Системи керування з прямим зв'язком називають ще *розімкненими* системами, а із зворотним - *замкненими*.

Системи керування з прямим зв'язком (розімкнені) використовуються у відносно простих випадках, коли вплив збурюючих факторів незначний або їх можна передбачити, а закон керування заздалегідь відомий.

У більш складних, найбільш поширених випадках, використовуються системи керування із зворотним зв'язком, тому що вони не потребують повної інформації про збурюючі дії та усіх характеристик об'єкта керування.

Однак наявність зворотного зв'язку може призвести до зниження, а то і до втрати стійкості системи керування. В результаті погіршиться якість керування або система взагалі може припинити свою роботу.

Наступна ознака для класифікації систем керування – **це рівень автоматизації об'єкта керування**.

Використання автоматичних пристроїв і систем для виконання *функцій керування* називається *автоматизацією*.

Ефект автоматизації виявляється насамперед у підвищенні продуктивності праці та якості продукції, а також у заміні людини автоматами у небезпечних і важкодоступних місцях, таких як шкідливі хімічні виробництва, ядерні двигуни і реактори, космічні апарати і тощо.

При автоматизації основні процеси одержання енергії, матеріалів або інформації здійснюються *автоматично*, тобто за програмою, без втручання людини.

Розрізняють такі три види автоматизації:

- Часткова, коли автоматизуються не пов'язані один з одним механізми та устаткування.
- Комплексна, коли автоматизуються як основні, так і допоміжні операції.
- Повна, у випадку автоматизації усіх агрегатів та устаткувань, що беруть участь у робочому процесі.

Відповідно до видів автоматизації системи керування поділяють на системи з *частковою, комплексною і повною* автоматизацією.

Системи з частковою і комплексною автоматизацією мають назву *автоматизованих*. В них як учасник процесу керування обов'язково присутня людина.

Людино-машинні системи, засновані на використанні економіко-математичних методів і технічних засобів для розв'язування різних задач у виробництві, науці, техніці, освіті, військовій справі, проектуванні, плануванні, називаються *автоматизованими системами керування*.

Передумовою створення автоматизованих систем керування є можливість автоматизації інформаційних процесів на основі цифрових ЕОМ. Основними функціями автоматизованих систем керування є збирання, передавання, зберігання і оброблення первинних даних, формування документів для управлінського персоналу, видавання довідкової інформації, вироблення рекомендацій щодо керування.

Автоматизовані системи керування залежно від об'єкта керування поділяються на ряд підкласів. З них найбільш відомі *автоматизовані системи керування підприємством* (АСКП) і *автоматизовані системи керування технологічним процесом* (АСКТП).

АСКП є системами керування виробничо-господарчою діяльністю підприємства, що базується на комплексному використанні економіко-математичних методів та сучасних засобів оброблення інформації. Необхідність створення і втілення АСКП пов'язана з великою кількістю об'єктів керування, масштабністю виробництва і високою їх

взаємозалежністю. Метою розроблення АСКП є поліпшення системи керування підприємством і, як наслідок, одержання більш високої якості продукції, що випускається, з меншими витратами.

АСКТП призначені для розв'язування задач керування технологічним процесом з *обов'язковою* участю *людини-оператора*.

Ці системи використовують у тому випадку, коли за будь-якими причинами неможливо автоматизувати усі задачі керування і тоді для їх розв'язування звертаються до людини. Вона звичайно приймає остаточне рішення, а завчасне оброблення інформації та її збирання здійснюють, як правило, цифрові пристрої та машини.

В АСКТП більшість контурів регулювання будують за ієрархічним принципом.

Перший нижній рівень ієрархії — це основні регулятори, які стабілізують технологічні параметри або змінюють їх відповідно до керуючих сигналів. Основні регулятори, як правило, безпосередньо впливають на виконавчі органи.

Другий рівень утворюють корегуючі регулятори, які керують основними регуляторами, тим самим непрямо впливаючи на технологічний процес.

На більш високих рівнях регулювання в АСКТП знаходяться обчислювальні комплекси, які прораховують оптимальні режими і змінюють завдання регуляторам, що знаходяться на нижніх рівнях ієрархії.

У разі повної або майже повної автоматизації використовують *автоматичні* системи керування (АСК).

Комплекс пристроїв, призначених для автоматичної підтримки бажаного режиму роботи об'єкта керування, називається *автоматичною* системою керування.

Метою автоматичного керування, як правило, є підтримка заданих значень керованих (регульованих) величин при повній автоматизації. Ця мета досягається за допомогою об'єднаних у систему автоматичних пристроїв, працюючих без втручання людини. Вони розв'язують більш прості завдання,

ніж автоматизовані системи, однак з більшою швидкістю і точністю. Ці системи звичайно входять як складова частина до автоматизованих систем керування, звільняючи людину від рутинної роботи і дають час для прийняття відповідальних рішень.

1.1. Автоматичні системи керування

Автоматичними системами керування називають системи керування, що вирішують завдання керування *без участі* людини.

Головними перевагами автоматичних систем керування є їх висока швидкість, надійність і добра якість керування.

Зазначені вище переваги призвели до того, що автоматичні системи керування є на сьогодні найбільш поширеним класом систем керування. Вони є на будь-якому виробництві, в наукових лабораторіях, космічних літальних апаратах, автомобілях, локомотивах, побутовій техніці.

Недоліком систем автоматичного керування є те, що вони здатні ефективно вирішувати тільки відносно прості задачі, в яких чітко визначена мета керування і формалізований алгоритм розв'язання. У разі розмитості мети і непередбачуваності поведінки об'єкта керування основним елементом системи керування є людина.

Автоматичні системи керування залежно від характеру і виду операцій, що реалізуються ними, поділяються на **ряд класів, таких, як автоматичні системи регулювання, контролю, стеження, адаптивного керування.**

1.1.1. Автоматичні системи регулювання (АСР) вирішують завдання підтримки в заданих межах параметрів об'єкта керування. При цьому регульована величина в процесі керування може залишатися в заданих межах або змінюватися відповідно до програми.

У першому випадку автоматичні системи керування називають *системами стабілізації*, а у другому - системами *програми* керування.

Наприклад, завданням стабілізації буде завдання підтримки в заданих межах температури і вологості в салоні автомобіля, а завданням програмного керування - рух літака за допомогою автопілоту.

Іншим прикладом стабілізації, що є класичним, - стабілізація кількості обертів двигуна за допомогою відцентрованого регулятора Уатта.

Автоматична система регулювання в загальному вигляді містить об'єкт регулювання і систему регулювання, до якої входять задавальний пристрій (задатчик), елемент порівняння і регулюючий пристрій (рис.1.1).

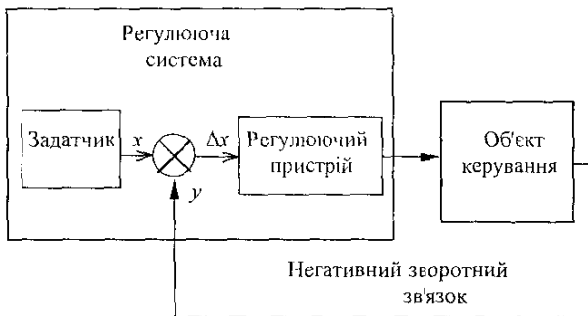


Рисунок 1.3. Система автоматичного регулювання

Рис. 1.1. Узагальнена функціональна схема автоматичної системи регулювання

Робота автоматичної системи регулювання відбувається таким чином. Із задатчика на пристрій порівняння надходить сигнал x , який є завданням для регульованої величини y , а сигнал y характеризує реальний стан параметра y і по ланцюгу зворотного зв'язку надходить до пристрою порівняння. Внаслідок порівняння цих сигналів на виході пристрою порівняння виробляється сигнал : $\Delta x = x - y$. Зворотній зв'язок, який розглядається - має назву *негативного*.

Якщо сигнал зворотного зв'язку y є відносно сигналу x позитивним, то він посилює дію сигналу x , приєднуючись до нього. У цьому разі $\Delta x = x + y$. Такий зворотній зв'язок називається *позитивним*. У задачах регулювання він використовується рідко. Негативний зворотний зв'язок регулює фактичне

значення регульованого параметра y так: якщо y зменшується, то Δx збільшується, а якщо y збільшується, то Δx зменшується, що, в свою чергу, призводить до роботи регулюючого пристрою на збільшення чи зменшення y . В результаті будь-яке відхилення величини y на виході об'єкта регулювання від величини x – що визначається пристроєм порівняння, або від функції $x = x(t)$, що змінюється за часом, буде зменшуватися.

Це зменшення досягається за допомогою регулюючого пристрою, який перетворює величину сигналу Δx відповідно до деякої заданої функції F . Вихідний сигнал з регулюючого пристрою, підсилений до необхідного значення, подається на виконавчий механізм, який діє на об'єкт регулювання. У результаті регульована величина y встановлюється рівною значенню сигналу завдання, що встановлено в задатчику.

1.1.2. Системи автоматичного контролю (САК) вирішують завдання автоматичного контролю параметрів об'єкта керування, необхідних керуючій системі для керування цим об'єктом. Тому в тому або іншому вигляді системи автоматичного контролю наявні у будь-якій системі керування. Вони, як правило, не втручаються в технологічний процес.

Схематично САК складається з датчиків, підсилювачів, елементів передавання і зв'язку, сигналізуючих пристроїв, вимірювальних і реєструючих приладів (рис. 1.2).

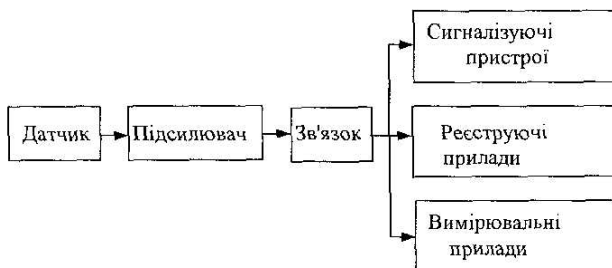


Рисунок 1.4. Блок-схема системи автоматичного контролю

Рис. 1.2. Блок-схема системи автоматичного контролю

Датчик вимірює значення параметра, що контролюється, і перетворює його в сигнал, зручний для підсилення і передавання. Зазвичай використовують датчики, що перетворюють неелектричні величини в електричні. Отримані сигнали підсилюються до необхідної величини, перетворюються за потреби в іншу форму, необхідну для передавання і відображення, і передаються через канал зв'язку до кінцевих пристроїв. За останні використовуються реєструючі, вимірювальні і сигнальні пристрої.

1.1.3. Системи стеження відрізняються від систем автоматичного регулювання тим, що вихідна величина відтворює з певною точністю вхідну, характер зміни якої *заздалегідь невідомий*. Однак система стеження не може впливати на вхідну величину.

Системи стеження використовують для різних цілей. Як вхідні величини системи стеження можна розглядати абсолютно різні фізичні величини. Одним з найбільш поширених застосувань систем стеження є їх включення до системи керування положенням об'єктів. Наприклад, це стеження за рухом літака або ракети, що знаходиться в зоні дії радіолокатора. Інший приклад - ручний маніпулятор. Його робота ґрунтується на стеженні за діями рук оператора.

Таким чином, в системі стеження задатчиком є об'єкт із заздалегідь невідомою поведінкою.

1.1.4. Адаптивні, або самоприспосовні системи - такі автоматичні системи керування, у яких автоматично змінюється спосіб функціонування керуючої частини для здійснення в певному значенні найкращого керування.

Адаптивні системи керування поділяються на ряд підкласів:

- Адаптивні системи функціонального регулювання, для яких керуючий вплив є функцією якого-небудь параметра, наприклад, функції потужності двигуна.

- Адаптивні системи екстремального регулювання, які забезпечують підтримку крайнього значення одного або декількох параметрів в об'єкті, наприклад, найбільшої швидкодії.
- Адаптивні системи оптимального регулювання. Для них виробляється узагальнений критерій оптимальності, відповідно до якого здійснюється зміна регульованих параметрів. Наприклад, ставиться завдання обробки деталей з мінімальною вартістю і максимальною продуктивністю.

Адаптивні системи керування здатні в процесі виконання основного завдання керування доповнювати інформацію, якої не вистачає, про об'єкт керування і навколишнє середовище, завдяки чому поліпшується якість керування.

Застосування адаптивних систем є найбільш ефективним засобом керування об'єктів з недостатньо вивченими характеристиками що змінюються за часом, тобто нестационарними об'єктами.

Усі відомі адаптивні системи керування поділяються на *параметричні* і *непараметричні* системи.

У перших використовується алгоритм керування з *фіксованою* структурою, а у других - алгоритм керування заздалегідь не фіксується, а виробляється в процесі розв'язування задачі керування.

Дуже часто в основі роботи адаптивних систем керування використовують стохастичну модель, яка моделює випадкові величини і процеси.

Останніми роками в теорії адаптивних систем керування швидко розвивається напрям, що використовує навчальні та ігрові ситуації. У таких системах відбувається накопичення досвіду в процесі їх роботи, і з часом вони працюють все більш ефективно.

Багато які адаптивні системи керування використовують у своїй структурі пристрої і програми *ідентифікації* параметрів об'єкта керування. Необхідність ідентифікації виникає у випадку, коли апріорні оцінки об'єкта

керування грубі і коли заздалегідь відомо, що параметри об'єкта керування в процесі його роботи змінюються непередбачено в широких межах.

1.1.5. Лінійні автоматичні системи регулювання що використовують лінійні закони регулювання.

За допомогою таких систем керування не завжди вдається ефективно вирішувати завдання керування і насамперед тих, що пов'язані з автоматизацією нестационарних технологічних процесів.

1.1.6. Нелінійні системи керування.

Автоматичні системи керування, в яких параметри динамічної настройки, алгоритми функціонування, а також структура змінюються стрибкоподібно згідно з вибраним логічним законом залежно від стану параметрів, що контролюються, називаються *нелінійними* системами керування.

У схемотехнічному відношенні названі системи являють собою нелінійні пристрої, що містять ключові логічні елементи, які відповідно до певного алгоритму розривають або відновлюють зв'язки між функціональними пристроями системи. Крайнім випадком таких систем керування є чисто логічні *релейні*, або *позиційні* системи.

З точки зору керування принцип змінності структури і алгоритму функціонування системи керування означає те, що регулюючий вплив стрибкоподібно змінюється в той або інший бік, набуваючи при цьому кінцевого значення в певному інтервалі часу.

У нелінійних системах керування поєднуються позитивні властивості як лінійних, так і релейних систем керування. За допомогою таких систем керування вдається керувати технологічними процесами при таких збуреннях, які недопустимі у разі використання лінійних систем керування. Крім того, в нелінійних системах керування значно підвищується стійкість, завдяки чому є можливість автоматизувати структурно нестійкі об'єкти. До нелінійних систем керування не висуваються високі вимоги щодо стабільності і точності

налагоджень динамічних параметрів, що дозволяє значно спростити схемотехніку і надійність систем загалом.

Одним із широко розповсюджених способів реалізації нелінійних алгоритмів керування є спільне застосування регулюючих пристроїв з типовими лінійними пропорційно-інтегральними (ПІ), пропорційно-диференційними (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференційними (ПІД) законами регулювання і ряду блоків, які реалізують логічні операції.

Як правило, ця апаратура вимагає широкого використання засобів керуючої обчислювальної та мікропроцесорної техніки і складного програмного забезпечення.

1.2. Узагальнена структура автоматичних систем керування та її аналіз

Сукупність об'єктів керування та технічних засобів дії на них називається *системою керування*.

Технічні засоби, призначені для цілеспрямованої дії на об'єкт керування, називають *керуючими системами*.

Так, наприклад, водій та автомобіль сумісно утворюють систему керування, в якій об'єктом керування є автомобіль, а керуючою системою водій. Процес керування складається при цьому з вироблення водієм керуючих дій (команд) на органи керування автомобіля — кермо, коробку передач, газ, гальма, прилади освітлення, опалення і т.д.

Керуюча система та об'єкт керування з'єднуються через їх виходи і входи в єдину *систему керування* (рис. 1.3). Основні параметри системи керування такі: швидкодія, ємність пам'яті, надійність, живучість. Вона складається у загальному випадку із інформаційної системи, керуючих пристроїв, засобів збирання і передавання даних, виконавчих та регулюючих механізмів, засобів відображення інформації та пультів керування.

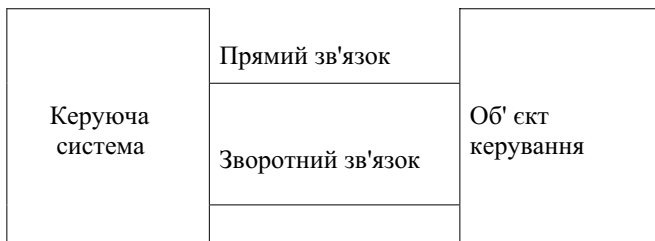


Рис. 1.3. Узагальнена структура системи керування

Одна й та сама за своїми функціями система керування може бути реалізована за допомогою різних засобів, що відрізняються своїми характеристиками, наприклад, надійністю і швидкістю. Завданням керуючих засобів є вироблення керуючих дій, що надходять через виконавчі та регулюючі органи на об'єкт керування. Ці засоби є комплексом різних апаратних і програмних засобів у вигляді різного типу перетворювачів інформації як аналогових, так і цифрових, виконавчих органів (електричних, електропневматичних та електрогидравлічних сервомеханізмів) і регулюючих органів.

Регулюючі органи являють собою різні засувки, заслінки, клапани, помпи і т.д. Вони змінюють, наприклад, витрату палива, температуру, тиск пари, величину струму, навантаження і кількість обертів двигуна.

Наприклад, в автомобілі регулюючими органами будуть кермо, педаль газу, гальма, а виконавчими – руки і ноги водія.

Інформаційна система апріорно збирає всю необхідну інформацію про об'єкт керування, а також мету, критерії та програми керування, утворюючи тим самим інформаційну модель об'єкта керування. З метою підвищення ефективності прийняття керуючих рішень у цю модель за необхідності вводяться також математична модель об'єкта керування.

Очевидно, що більш складну інформаційну модель має людина. Вона утворює її протягом усього свого життя, починаючи з раннього дитинства. У цій моделі містяться взаємопов'язані блоки за різними видами його

професійної та суспільної діяльності. Її особливостями є гнучкість і великі адаптаційні здібності до навколишніх обставин, а також здатність до самонавчання. Тому багато систем керування не можуть обійтись без участі в них людини. Наприклад, це стосується автомобіля, тому що для того, щоб його вести, необхідно достатньою мірою володіти інформацією про будову автомобіля, його технічний стан, правила дорожнього руху, знати мету і маршрут поїздки, стан шляху, погодні умови і багато інших факторів. Водій повинен гнучко, залежно від обставин, використовувати свої знання в процесі руху і тільки тоді може бути одержаний задовільний результат від його поїздки.

Система збирання і передавання даних призначена для збирання і передавання інформації про параметри об'єкта керування. Ці дані знімаються у вигляді сигналів з датчиків, що знаходяться безпосередньо на об'єкті керування. За необхідності сигнали підсилюються і за допомогою системи передавання даних надходять до керуючої системи на елемент порівняння. Так, в автомобілі системи збирання і передавання даних розв'язують задачі інформування водія про кількість бензину в баку, швидкість руху, температуру двигуна і т.д.

На елементі порівняння отримані сигнали порівнюються з сигналами, що надходять від інформаційної системи. В результаті визначається величина розходження – відхилення реальних параметрів об'єкта відносно необхідних їх значень.

За допомогою керуючих засобів це розходження усувається шляхом вироблення ними відповідних дій на виконавчі пристрої, які в свою чергу, діють на регулюючі органи. Останні змінюють параметри об'єкта керування таким чином, щоб існуюче розходження знизити до мінімуму, а в ідеалі – до нуля, в чому і полягають мета і завдання будь-якого керування.

Система відображення інформації необхідна у тих випадках, коли в контурі керування перебуває людина. Вона розв'язує задачу подання їй

інформації у зручному вигляді, наприклад, у формі графіків, таблиць, мнемограм і т.ін.

Пульт керування призначений для організації дії на хід керування оператором. Він може через цей пульт впливати у самому загальному випадку на будь-який блок керуючої системи, вносячи в його роботу необхідні корективи.

Входи і виходи керуючої системи та об'єкта керування призначені також для організації *прямих* і *зворотних* зв'язків у системі керування, узагальнена структура якої наведена на рис. 1.3. Зв'язок від керуючої системи до об'єкта керування називається *прямим*, а від об'єкта керування до керуючої системи — *зворотним*.

За допомогою прямого зв'язку здійснюється процес керування об'єктом — змінення його станів у бажаному напрямку, а за допомогою зворотного зв'язку передається інформація про реальний стан об'єкта керування — керуючої системи. Порівняння цього стану з бажаним визначає величину розходження і, отже, визначає подальші дії керуючої системи щодо змінення станів об'єкта керування.

Звичайно процес керування здійснюється таким чином: від об'єкта керування до керуючої системи передається інформація про значення параметрів об'єкта керування. Керуюча система порівнює їх з потрібними значеннями параметрів, що зберігаються у її пам'яті, і визначає величину їх розходження. Потім вибирається засіб усунення цього розходження, який потім реалізується керуючою системою.

Так, водій, дивлячись на приладний щит автомобіля, визначає реальну його швидкість і порівнює її з потрібною. Потім, враховуючи стан шляху, погодні умови та інші фактори ризику, розганяє свій автомобіль до потрібної швидкості.

Системи керування в реальних обставинах працюють в умовах *зовнішніх* і *внутрішніх* збурень.

Під зовнішніми збуреннями, або завадами, розуміють збурення, що надходять із зовнішньою середовища, а під внутрішніми - завади, або відмови, що виникають у самій системі керування.

Тому важливою проблемою, яка вирішується при проектуванні системи керування, є підвищення її *безпеки, надійності, завадостійкості та живучості*.

Сукупність властивостей системи керування, яка дозволяє уникнути аварії, називається її *безпекою*.

Здатність системи керування виконувати свої функції протягом заданого відрізка часу, називається її *надійністю*.

Здатність системи керування виконувати свої функції в умовах завад називається *завадостійкістю*.

Можливість виконання системою керування своїх основних функцій при відмові частини обладнання називається *живучістю*.

Сучасні системи керування так чи інакше вирішують ці завдання, однак вимоги до них постійно зростають, і тому боротьба із зовнішніми і внутрішніми збуреннями в системах керування є на сьогодні актуальним завданням.

Питання для самоконтролю

1. Які ознаки покладені в основу класифікації систем керування ?
2. Які розрізняють види автоматизації ?
3. Визначіть недоліки і переваги систем автоматичного керування.
4. Назвіть класи систем автоматичного керування залежно від характеру і вигляду операцій, що реалізуються ними.
5. Які властивості систем керування є важливими при проектуванні ?
6. Які системи називають лінійними автоматичними системами регулювання?
7. Які системи називають нелінійними системами керування?
8. Адаптивні або самопристосовні системи. Їхні особливості.
9. Інформаційні системи та їх призначення.

Розділ 2. ЕОМ У СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

Багато завдань у системах керування вимагають формування таких складних законів керування об'єктами, які не можуть бути реалізовані традиційними елементами й пристроями автоматики. Так, наприклад, у системах керування об'єктами, що рухаються, потрібні складні обчислення з перетворенням координат, рішенням прямокутних і сферичних трикутників, численням шляху й т.п. Дуже складні обчислення виробляються в адаптивних системах керування. Ці завдання вирішують за допомогою сучасних засобів обчислювальної техніки, що вводяться в контур керування динамічною системою або використовуваних для різноманітних розрахунків і пошуків оптимальних рішень.

Системи керування, до складу яких входять ЕОМ або інші пристрої, що здійснює обробку цифрової інформації, прийнято називати *цифровими системами автоматичного керування*.

Форма подання й спосіб обробки інформації визначають основну особливість роботи цифрових систем і методів синтезу цифрових регуляторів. Дискретний характер сигналів у керуючій ЕОМ викликає необхідність використання дискретних алгоритмів керування, які можуть бути побудовані перетворенням відповідних безперервних регуляторів. Разом з тим використання ЕОМ у контурі зворотного зв'язку призводить до низки особливостей цифрової системи, обумовлених специфікою взаємодії її функціональних елементів, а для побудови аналітичної моделі цифрової системи необхідно брати до уваги апаратні засоби системи й процеси обміну інформацією між ними.

2.1.Цифрові системи керування

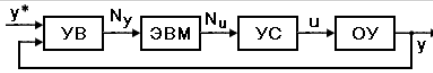


Рис. 2.1._Схема цифрової системи керування

Укрупнена схема цифрової системи керування наведена на рис. 2.1. Вона містить керуючу ЕОМ, об'єкт керування ОУ, пристрій введення інформації УВ і пристрій, призначений для сполучення ЕОМ з об'єктом, що одержали назву пристрою сполучення УС. Керований процес (об'єкт), як правило, має аналогову природу, і пов'язані з ним сигнали $y(t)$ і $u(t)$ є аналоговими. Керуюча ЕОМ (а також й будь-який інший цифровий елемент або контролер) має справу тільки із цифровою інформацією і сигнали на її входах N_y і виходах N_u представлені цифровим кодом.

До складу об'єкта керування входять різноманітні виконавчі і вимірювальні пристрої аналогового й цифрового типу. Так, у системах керування механічними об'єктами (верстатами, транспортними засобами) можуть використовувати, як традиційні аналогові виконавчі пристрої (наприклад, електроприводи), які розраховані як на аналогові вхідні сигнали постійного або змінного струму, так і на цифрові пристрої (крокові й цифрові електроприводи), які здатні сприймати цифрову інформацію в коді. Застосування цифрових виконавчих пристроїв дозволяє уникнути необхідності перетворення цифрового коду в аналоговий сигнал і спростити структуру пристроїв сполучення УС.

Сучасними вимірювальними пристроями є різноманітні датчики аналогової природи, виходом яких є електричні сигнали постійного або змінного струму $y(t)$, кодові датчики, що забезпечують одержання цифрового коду N_y , а також імпульсні вимірювальні пристрої, на виході яких утворюється імпульсна послідовність n_y . Цифрові вимірювальні пристрої сумісні із цифровими процесами в керуючій ЕОМ, що спрощує пристрої введення УВ.

Центральним елементом системи є керуюча ЕОМ, що за заданим алгоритмом здійснює обробку інформації від вимірювальних пристроїв і виконує функції пристрою керування (цифрового регулятора).

Найважливішими особливостями керуючої ЕОМ як цифрового регулятора є її дискретність, циклічний характер обробки інформації й наявність запізнювання в процесі обробки сигналів. Дискретність обумовлена квантуванням за рівнем і часом всіх обчислювальних процесів, а, отже, і дискретним характером сигналів на вході $N_y(kT)$ і виході ЕОМ $N_u(kT)$. Інтервал квантування за часом задається за допомогою таймера, а збільшення за рівнем залежить від розрядності ЕОМ. Для ЕОМ з досить великою розрядною сіткою квантуванням за рівнем як правило зневажають. Тоді сигнали $N_y(kT)$ і $N_u(kT)$ розглядаються як стандартні амплітудно-модульовані імпульсні послідовності (градчасті функції).

Запізнювання, внесені керуючою ЕОМ, викликані втратами часу на введення-виведення інформації й обчислення за заданим алгоритмом. З урахуванням запізнювання виходом ЕОМ варто вважати дискретний сигнал $N_u(kT-\tau)$, зміщений щодо ідеального сигналу на величину τ . Для спрощення моделі системи запізнюванням або зневажають, або приймають рівним одному інтервалу дискретизації з вихідним сигналом $N_u((k-1)T)$.

Надалі будемо вважати, що робота всіх пристроїв цифрової системи синхронізована й відбувається з інтервалом дискретності T , а їхні розрядні сітки однакові.

У функції пристроїв сполучення з об'єктом входить проміжне зберігання цифрової інформації й (при необхідності) перетворення аналогових сигналів у цифрові й навпаки.

Еквівалентна схема цифрової системи керування. Для побудови математичної моделі цифрової системи введемо в розгляд деякі спеціальні блоки:

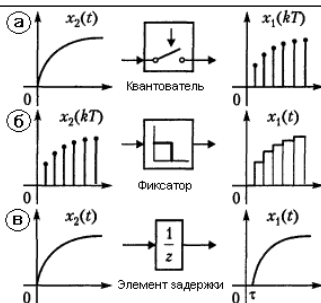


Рис. 2.2. Спеціальні блоки

- квантователь неперервних сигналів (рис. 2.2, а), що має характеристику

$$x_1(kT) = x_2(t) \text{ при } t = kT; \quad (2.1.1)$$

- фіксатор, або екстраполятор нульового порядку (рис. 2.2,б), який описаний виразом:

$$x_1(t) = x_2(kT) \text{ при } t = [kT, (k+1)T); \quad (2.1.2)$$

- ланка запізнювання (елемент затримки на час τ , рис. 2.2,в) з характеристикою

$$x_1(t) = x_2(t - \tau). \quad (2.1.3)$$

Функціональна схема цифрової системи з об'єктом керування аналогової природи наведені на рис. 2.3 і 2.4. Схема представлена ОУ з аналоговими вимірювальними й виконавчими пристроями, які є керованим ЕОМ, таймером T , що забезпечує тактування процесів з інтервалом T і пристроями аналогового вводу-виводу. При розгляді зневажимо ефектом квантування сигналів за рівнем і розходженням між аналоговими й цифровими сигналами, беручи до уваги, що спосіб кодування інформації не впливає на інформаційний зміст сигналів. Робота цифрових систем керування аналоговими процесами із цифровими вимірювальними й виконавчими пристроями, інкриментними датчиками й іншими типами цифрових пристроїв може розглядатися за тією самою схемою й приводить до ідентичної математичної моделі.

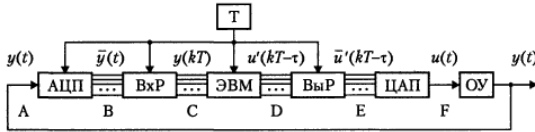


Рис. 2.3. Функціональна схема цифрової системи

Функціональна схема містить АЦП, вхідним сигналом якого є безперервний сигнал $y(t)$ (вхід А), а вихідним - дискретний сигнал

$y(t) = y(kT)$ (вхід В), що надходить на вхід наступного блока - вхідного регістра ВхР. Виходом останнього служить шина керуючої ЕОМ (вхід З), на якій у моменти уведення інформації $t = kT$ з'являється імпульсний сигнал $y(kT)$. Таким чином, перші два блоки системи перетворюють безперервний сигнал $y(t)$ у квантований за часом дискретний сигнал $y(kT)$ (гратчасту функцію), тобто являють собою квантувач, при цьому ефект квантування викликаний періодичними короткочасними обігами ЕОМ до вхідного регістра.

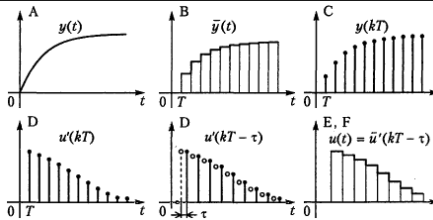


Рис. 2.4. Сигнали на виході блоків цифрової системи

Дискретний сигнал $y(kT)$ надходить у процесор ЕОМ, де відбувається розрахунок поточних значень керуючого впливу. В ідеальному випадку на виході ЕОМ (вхід D) миттєво формується дискретний сигнал $u'(kT)$, з урахуванням запізнювання - зміщена імпульсна послідовність $u'(kT - \tau)$, де $\tau < T$, або, вважаючи для простоти $\tau = T$, сигнал $u'((k-1)T)$.

У моменти часу $t = kT - \tau$ сигнал з виходу ЕОМ $u'(kT - \tau)$ надходить на вихідний регістр ВиР, що забезпечує його збереження протягом інтервалу T . Тим самим забезпечується перетворення імпульсної послідовності в кусочно-безперервний сигнал $\bar{u}'(kT - \tau)$ (вхід E). Цей елемент схеми є фіксатором.

Цифроаналоговий перетворювач, як ми вже відзначали, є пасивним

елементом і тому сигнал на його виході (вхід F) по інформаційному змісту збігається із вхідним сигналом і є вхідним сигналом об'єкта керування.

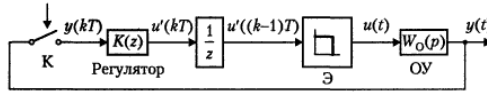


Рис. 2.5. Еквівалентна схема цифрової системи керування

Еквівалентна схема цифрової системи керування, що відповідає її математичній моделі для випадку лінійного об'єкта керування, лінійного регулятора й запізнювання ЕОМ $\tau = T$ наведена на рис. 2.5. До складу схеми входить ОУ з передатною функцією $W_O(p)$, цифровий регулятор з передатною функцією $K(z)$, елемент затримки $1/z$ і екстраполятор «Э». У загальному вигляді модель може включати канали задавальних впливів і зворотні зв'язки по різних змінних системи.

Особливості цифрових систем. Основною особливістю цифрової системи є спосіб обробки інформації в регуляторі (керуючої ЕОМ), що передбачає використання тільки арифметичних операцій і дозволяє реалізовувати алгебраїчні алгоритми керування, включаючи рекурентні процедури рішення різницевих рівнянь. При цьому можливість безпосередньої реалізації динамічних алгоритмів керування, записаних у вигляді диференціальних або інтегральних рівнянь, виключається, і подібні алгоритми також повинні бути приведені до рекурентної форми.

Приклад 1. Найпростіший пропорційний алгоритм керування має вигляд:

$$u = ДО\Box, \Box = y^* - y.$$

Вирази містять операції додавання й множення й легко реалізуються на ЕОМ (рис.2.6,а).

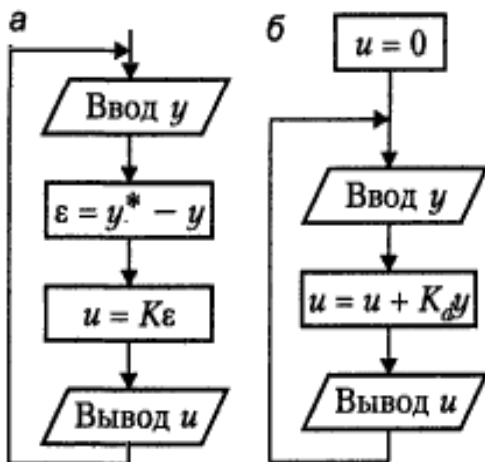


Рис. 2.6. Алгоритм пропорційного закону керування

Приклад 2. Найпоширенішим елементом динамічних регуляторів є інтегруюча ланка, яка описана диференціальним рівнянням

$$u(t) = K \cdot y(t), \quad u(0) = u_0.$$

В інтегральній формі:

$$u(t) = u_0 + K \int_0^t y(t) dt.$$

Чисельне інтегрування:

$$u(k \cdot T) = u_0 + K \cdot T \sum_{i=0}^{k-1} v(i \cdot T).$$

Для одержання рекурентної форми знайдемо значення u у момент часу $(k+1)T$:

$$u((k+1) T) = u_0 + K \cdot T \sum_{i=0}^k v(iT) = u(k \cdot T) + K \cdot T y(k \cdot T).$$

Таким чином, цифровий спосіб обробки інформації в АСК викликає

необхідність використання дискретних моделей регуляторів. З огляду на безперервну природу більшості реальних керованих процесів, модельна особливість цифрової системи полягає в тому, що вона є дискретно-безперервною, і описується як різницевидами, так і диференціальними рівняннями. Сполучення цих двох частин моделі здійснюється за допомогою квантувача й екстраполятора нульового порядку, а також ланки запізнювання для обліку затримки обробки інформації.

Зазначені вище особливості моделей цифрових систем і їхня дискретно-безперервна природа обумовлюють основні труднощі аналізу й проектування. У зв'язку із цим набули поширення два підходи до дослідження цифрових систем:

- з використанням теорії безперервних систем;
- з використанням теорії дискретних систем.

Перший підхід передбачає побудову безперервного регулятора, і його наступну дискретизацію. Основний недолік такого підходу полягає в наявності певної методичної помилки при заміні безперервної функції $y(t)$ кусково-безперервною функцією, і не дозволяє врахувати ефект запізнювання цифрового регулятора. Проте, цей підхід одержав широке поширення через його простоту й можливість досягнення гарної якості процесів при використанні швидкодіючих обчислювальних пристроїв з малим значенням інтервалу квантування T .

Другий підхід припускає дискретизацію самого об'єкта керування, а потім синтез дискретного регулятора. Можна вважати його більше перспективним, хоча й трохи більше складним.

Питання для самоконтролю

1. Яка узагальнена структура цифрової системи керування ?
2. Які особливості сучасних вимірювальних пристроїв для ЦАСК ?
3. Особливості керуючої ЕОМ як цифрового регулятора або контролера?

4. Визначення математичної моделі ЦАСК.

5. Як відрізняється функціональна схема ЦАСК з об'єктом керування аналогової природи від аналогової АСК ?

6. Які основні особливості цифрової системи при обробці інформації?

7. Які методи аналізу ЦАСК?

2.2. ЕОМ у контурах систем керування

Універсальність цифрових обчислювальних машин як засіб рішення найрізноманітніших завдань, величезні обсяги інформації, що переробляються й збережені в ЕОМ, потужні алгоритмічні можливості зробили ЕОМ ефективним засобом вирішення сучасних завдань керування.

У сучасній теорії й практиці керування динамічними системами використовуються електронно-обчислювальні машини (ЕОМ) різних типів, що відрізняються принципом дії, складом елементної бази, можливостями використання в системах керування.

ЕОМ загального призначення. Це така архітектура обчислювальних засобів і програмного забезпечення, що дозволяє одноманітно вирішувати більшість виникаючих технічних завдань, включаючи завдання сполучення з ЕОМ широкої номенклатури зовнішніх пристроїв і датчиків.

Використання ЕОМ загального призначення спрощує й прискорює процес розробки стандартного проекту в області автоматизації, однак кінцеве рішення звичайно не є оптимальним. ЕОМ загального призначення містить у собі стандартний набір компонентів:

- Центральний процесор (один або більше) і арифметичний співпроцесор.
- Швидкодіючий запам'ятовувальний пристрій.
- Зовнішні накопичувальні пристрої різної природи.
- Термінал користувача (дисплей, клавіатура, миша й т.п.).

- Засоби мережної підтримки.
- Можливість підключення додаткових інтерфейсних пристроїв, у тому числі і у вигляді контролерів, що приєднуються до шини ЕОМ.
- Можливість установки різноманітного програмного забезпечення, замість наявного в стандартній поставці.

Останні дві властивості надзвичайно важливі, тому що відповідають відкритості архітектури таких ЕОМ. Саме відкритість архітектури РС сумісних комп'ютерів в 80-ті роки ХХ століття зіграла рішучу роль у повсюдному поширенні цієї техніки. Властивість відкритості архітектури є неодмінною умовою універсальності при широкому застосуванні.

На сьогоднішній день цим вимогам в основному задовольняють типові персональні РС-сумісні комп'ютери й контролери на базі їхньої архітектури. Саме на такій базі будують системи автоматики, якщо до них не висувають підвищені вимоги. Часто ПК використовують на початковому етапі проектування системи, коли потрібно прискорено одержати працездатну версію системи, необхідну для подальшої розробки. Звичайно таким розробкам властиві такі характерні недоліки:

- невисока надійність, як апаратної, так і програмної частини;
- вузький температурний діапазон, особливо у бік негативних температур;
- низька якість виконання материнських плат і плат контролерів;
- підвищений рівень перешкод і пульсацій по шинах живлення, що ускладнює завдання підключення точних пристроїв.

Проте, ПК із успіхом використовуються як інтелектуальні вимірювальні прилади. Наприклад, осцилограф на базі ПК дозволяє, крім зручного й наочного відображення процесів, проводити їхній запис на диск для протоколювання й передавати по мережі узагальнюючу інформацію для диспетчерського керування більше високого рівня.

Спеціалізовані ЕОМ і обчислювальні комплекси. Це ЕОМ, що мають функціональні можливості й конструктивні особливості, що дозволяють

використовувати їх для ефективного рішення обмеженого класу завдань у певних умовах навколишнього середовища. Відмінності від ЕОМ загального призначення можуть бути різноманітними, наприклад, процесор зі спеціальною системою команд. Типовий приклад - процесори цифрової обробки сигналів (DSP), ефективні в завданнях цифрової фільтрації в складі комплексу обробки даних ультразвукової локації. За рахунок цього можна підвищити надійність, знизити вартість, підвищити швидкодію.

Обчислювальний комплекс (ОК) - це комплекс засобів ОТ, що вирішує прикладне завдання. У ОК можуть входити різні компоненти. Звичайно доводиться застосовувати спеціалізовані обчислювальні засоби або проблемно-орієнтовані спеціалізовані ЕОМ і ОК для оптимізації остаточного рішення при проектуванні АСК. Іншим прикладом спеціалізованої ЕОМ у складі ОК є сукупність нижнього й середнього рівнів системи автоматизації на основі відповідно локальних контролерів і ПК.

Керуючі ЕОМ (КЕОМ), що керують ОК (КОК) і промислові ПК. КЕОМ і КОК характеризуються набором можливостей роботи в режимі реального часу. Ці можливості стосуються як підсистеми вводу-виводу, так і властивостей операційної системи. Також слід зазначити можливості виявлення збоїв і швидкого відновлення після них. Промислові (індустріальні) ПК - це спеціально спроектовані ПК, сумісні зі стандартними архітектурно й програмно, але відрізняються конструктивним виконанням. Ціль - підвищення надійності, заводо захищеності й розширення діапазону параметрів навколишнього середовища нормального функціонування (температурний діапазон і т.п.). Перевага таких ПК - можливість налагодження програмного забезпечення на звичайних ПК.

Робочі станції. Зазвичай це персональні комп'ютери, що перебувають на робочих місцях співробітників, що вирішують конкретне завдання за допомогою ЕОМ. Тому робочі станції обладнані всіма необхідними пристроями вводу-виводу. Звичайно робочі станції входять у мережу, у якій також є потужні сервери, що постачають інформаційні ресурси й необхідне мережне

програмне забезпечення, зберігання якого на робочих станціях недоцільно. Робочі станції не призначені для роботи в реальному часі й використовуються на диспетчерському рівні АСК й на робочих місцях розроблювачів.

Керування системами на базі ЕОМ. Використання ЕОМ у контурі керування динамічними автоматичними системами пов'язане з рішенням низки проблем, що впливають із особливостей ЕОМ як дискретної системи. У АСК з ЕОМ необхідно вирішувати питання зв'язку ЕОМ з об'єктом керування й роботи ЕОМ у реальному масштабі часу, у ритмі роботи об'єкта керування. Зв'язок ЕОМ з об'єктами керування ускладнюється при використанні цифрових машин для керування безперервними автоматичними системами.

ЕОМ у системі автоматичного керування здійснює обробку інформації про стан об'єкта, забезпечує програмне й оптимальне керування об'єктом. На рис. 2.7 наведений приклад схеми автоматичного керування технологічним процесом на базі ЕОМ.

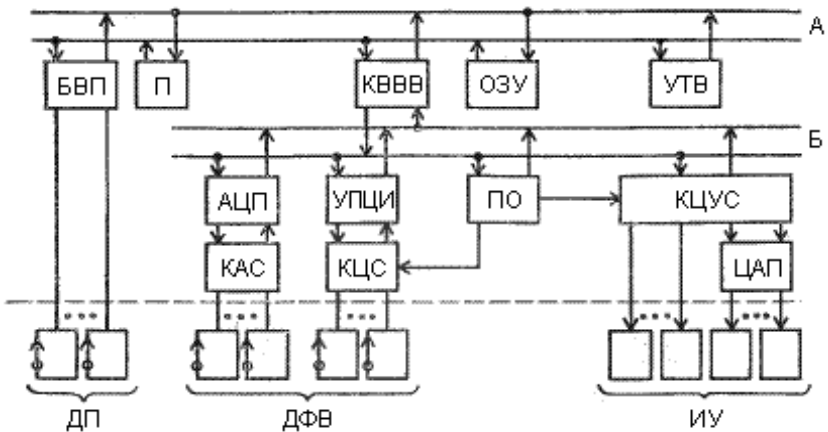


Рис. 2.7. Схема автоматичного керування технологічним процесом на базі ЕОМ

Вся сукупність пристроїв, приєднана до інтерфейсу Б, утворить систему зв'язку ЕОМ з об'єктом. Стан об'єкта характеризує інформація, що надходить від датчиків фізичних величин (ДФВ). Ця інформація після перетворення у відповідних ланках системи зв'язку з об'єктом надходить в ЕОМ і становить

потік вимірювальної інформації. Від ЕОМ на входи виконавчих пристроїв (ВП), що приводять об'єкт у необхідний стан, надходить потік керуючої інформації у вигляді цифрових або аналогових сигналів. Керуюча інформація з каналів вводу-виводу (КВВВ) надходить у комутатор цифрових керуючих сигналів (КЦКС), з якого передається або безпосередньо на виконавчі пристрої дискретного типу, або в цифроаналоговий перетворювач (ЦАП) для перетворення й наступної передачі на входи аналогових виконавчих пристроїв.

До інтерфейсу А разом з каналами вводу-виводу підключений блок зовнішніх переривань (БЗП) процесора (П) і пристрій поточного часу (ППЧ). ВВП по сигналах від датчиків переривання (ДП), пов'язаних з об'єктом керування, і сигналам від УТВ формує різні цикли обробки інформації й керування об'єктом.

Комутатор аналогових сигналів (КАС) і комутатор цифрових сигналів (КЦС), пов'язаний із пристроєм прийому цифрової інформації (УПЦИ), становлять вхідний комутатор системи керування, що здійснює роздільне в часі підключення датчиків. Комутатор цифрових керуючих сигналів (КЦУС) є вихідним комутатором, що здійснює роздільне в часі підключення входів виконавчих пристроїв.

Виконавчі пристрої використовують або аналогові сигнали або дискретні, причому тривалість дискретних сигналів зазвичай значно перевищує тривалість сигналів керуючої інформації. У зв'язку із цим система зв'язку ЕОМ з об'єктом керування повинна містити технічні засоби, що запам'ятовують керуючу дискретну інформацію до заміни її новою інформацією або формуючі керуючі впливи, що сприймаються входами виконавчих пристроїв.

Зв'язок ЕОМ з об'єктом у системі автоматичного керування може бути синхронний, асинхронний й комбінований.

При синхронному зв'язку процес керування за допомогою тактових сигналів пристрою поточного часу (УТВ) розбивається на цикли однакової тривалості. Кожний цикл починається з появою тактового сигналу на вході блоку переривання. На початку циклу здійснюється послідовне опитування

датчиків, що контролюють стан об'єкта керування. Сигнали датчиків перетворюються у форму, необхідну для введення цих сигналів в ЕОМ. Інформація, що надійшла в ЕОМ, обробляється й виражаються необхідні керуючі впливи на об'єкт, які після відповідного перетворення в системі зв'язку ЕОМ з об'єктом передаються на виконавчі пристрої. Потім ЕОМ або зупиняється, або виконує інші програми, не пов'язані із системою автоматичного керування. Виконання цих програм переривається подальшим тактовим сигналом УТВ. Керуючі впливи, сформовані на початку циклу, залишаються незмінними протягом усього циклу.

При асинхронному зв'язку з об'єктом ЕОМ реагує на сигнали переривання, що надходять від датчиків переривання, безпосередньо пов'язаних з об'єктом. Кожному сигналу переривання відповідає перехід ЕОМ до виконання відповідної програми, обумовленої характером переривання. Сигнали переривання опрацьовуються ЕОМ з урахуванням рівня пріоритету.

При комбінованому зв'язку ЕОМ з об'єктом керування здійснюється як по тактових сигналах УТВ, так і по сигналах переривання, наприклад, по сигналах аварійного режиму об'єкта керування.

У деяких випадках доцільно використовувати пряме цифрове керування об'єктом на базі ЕОМ. У цих випадках ЕОМ виконує функції регулятора. Алгоритми прямого цифрового керування можуть бути побудовані подібно алгоритмам аналогового регулювання. При досить малому часі опитування ЕОМ, використовуючи схему затримки, може забезпечити моделювання відповідного аналогового регулятора. Пряме цифрове керування дозволяє також реалізувати алгоритми, які технічно важко перетворити в аналогову форму.

Істотно розширюються можливості керування в системах, що функціонують на базі мікро-ЕОМ. Тут стає можливим використовувати всі переваги мікропрограмування, що дозволяє реалізувати набір машинних команд стандартних ЕОМ, а також спеціальні набори команд для певних областей керування. Крім того, можна реалізувати конструкції мови

програмування високого рівня, ядро операційної системи реального часу, діагностичні функції для швидкого виявлення помилок і збоїв. Можливість розпаралелювання на мікропрограмному рівні окремих елементарних операцій дозволяє значно підвищити швидкодію виконання алгоритмів.

Питання для самоконтролю

1. ЕОМ загального призначення. Властивості і можливості .
2. Що собою являють спеціалізовані ЕОМ і обчислювальні комплекси?
Які переваги керування в режимі реального часу? Особливості керуючих ЕОМ, що управляють ОК.
4. Промислові ПК і їх місце в системах керування ОК.
5. Структура, функції, особливості робочих станцій?
6. Які особливості структури системи керування на базі ЕОМ?
7. Які види зв'язку ЕОМ з об'єктом у АСК?
8. Які переваги і недоліки АСК на базі мікро-ЕОМ?

2.3. Системи керування підприємством

Основні поняття. Уточнимо деякі термінологічні визначення, застосовувані в теорії систем керування підприємствами й організаціями.

Інформація – відомості про навколишній світ (об'єктах, явищах, подіях, процесах і т.п.), які зменшують ступінь невизначеності й неповноти знань. Інформація дозволяє:

- здійснювати контроль стану організації, її підрозділів і процесів у них;
- визначати стратегічні, тактичні й оперативні цілі й завдання організації;
- приймати обґрунтовані й своєчасні рішення;
- координувати дії підрозділів у досягненні цілей.

Дані – у широкому сенсі: первинна інформація (результати спостережень, вимірів) за будь-яким напрямом (об'єктом, процесом, подіями); у вузькому

сенсі: оброблена (систематизована) інформація залежно від зміни будь-яких факторів.

Документ – інформаційне повідомлення в паперовій, звуковій, електронній або іншій формі, оформлене за певними правилами.

Документообіг – система створення, інтерпретації, передачі, прийому, астросфери документів, а також контролю над їхнім виконанням і захисту від несанкціонованого доступу.

Економічна інформація – сукупність відомостей про соціально-економічні процеси, що служать для керування цими процесами й колективами людей у виробничій і невиробничій сфері.

Інформаційна технологія – система методів і способів збору, передачі, нагромадження, обробки, зберігання, подання й використання інформації.

Інформаційна система (ІС) – інформаційний контур разом із засобами збору, передачі, обробки й зберігання інформації, а так само персоналом, що здійснює ці дії з інформацією.

Інформаційні ресурси – весь обсяг інформації в інформаційній системі.

Рівні систем керування. Як правило в системах керування виділяють три рівні: стратегічний, тактичний і оперативний. На кожному із цих рівнів керування є свої завдання, при вирішенні яких виникає потреба у відповідних даних, одержати які можна шляхом запитів в інформаційну систему. Інформаційні технології дозволяють обробити запити й, використовуючи наявну інформацію, сформувавши відповідь на ці запити. Таким чином, на кожному рівні керування з'являється інформація, що служить основою для прийняття відповідних рішень.

Інформаційний продукт. У результаті застосування інформаційних технологій до інформаційних ресурсів створюється нова інформація або інформація в новій формі. Ця продукція інформаційної системи називається інформаційними продуктами й послугами.

Інформаційний продукт або послуга - специфічна послуга, коли деякий інформаційний зміст у вигляді сукупності даних, сформованих виробником для

поширення в матеріальній і нематеріальній формах, надається в користування споживачеві.

Інформаційні системи. У даний час існує думка про інформаційну систему як про систему, реалізовану за допомогою комп'ютерної техніки. Це не так. Як і інформаційні технології, інформаційні системи можуть функціонувати із застосуванням технічних засобів і без такого застосування. Це питання економічної доцільності.

Переваги неавтоматизованих (паперових) систем:

- простота впровадження вже існуючих рішень;
- прості для розуміння, для їхнього освоєння потрібен мінімум тренування;
- не потрібні технічні навички;
- гнучкі й здатні до адаптації для відповідності діловим процесам.

В автоматизованій ІС з'являється можливість цільно й комплексно представити все, що відбувається з організацією, оскільки всі економічні фактори й ресурси відображаються в єдиній інформаційній формі у вигляді даних.

Корпоративну ІС звичайно розглядають як деяку сукупність часткових рішень і компонентів їхньої реалізації, у числі яких:

- єдина база зберігання інформації;
- сукупність прикладних систем, створених за різними технологіями.

Інформаційна система компанії повинна:

- дозволяти накопичувати певний досвід і знання, узагальнювати їх у вигляді формалізованих процедур і алгоритмів рішення;
- постійно вдосконалюватися й розвиватися;
- адаптуватися до змін зовнішнього середовища й нових потреб організації;
- відповідати насущним потребам людини, досвіду, знанням, психології.

Інформаційна система керування підприємством (ІСКП) – це операційне середовище, що здатне надати менеджерам і фахівцям актуальну й достовірну інформацію про всі бізнес-процеси підприємства, необхідну для планування операцій, їхнього виконання, реєстрації й аналізу. Це система, що

несе в собі опис повного ринкового циклу - від планування бізнесу до аналізу результатів діяльності підприємства.

Завдання ІСКП. Керування підприємствами в сучасних умовах вимагає все більшої оперативності. Тому використання інформаційних систем керування підприємством є одним з найважливіших важелів розвитку бізнесу.

Часткові завдання, розв'язувані ІСКП, багато в чому визначаються областю діяльності, структурою й іншими особливостями конкретних підприємств. Зразковий перелік завдань, які повинна вирішувати ІСКП на різних рівнях керування підприємством і для різних його служб, до теперішнього часу можна вважати загальноновизнаними. Вони наведені у табл.1.

Таблиця 1

Основні завдання ІСКП

Рівні й служби керування	Розв'язувані завдання
Керівництво підприємства	Забезпечення достовірною інформацією про фінансовий стан компанії на сучасний момент і підготовка прогнозу на майбутнє; забезпечення контролю роботи служб підприємства; забезпечення чіткої координації робіт і ресурсів; надання оперативної інформації про негативні тенденції, їхні причини і можливі заходи щодо виправлення ситуації; формування повного подання про собівартість кінцевого продукту (послуги) по компонентах витрат
Фінансово-бухгалтерські служби	Повний контроль руху коштів; реалізація необхідної менеджменту облікової політики; оперативне визначення дебіторської й кредиторської

	заборгованостей; контроль виконання угод, кошторисів і планів; контроль фінансової дисципліни; відстеження руху товарно-матеріальних потоків; одержання повного набору документів фінансової звітності
Керування виробництвом	Контроль виконання виробничих замовлень; контроль стану виробничих потужностей; контроль технологічної дисципліни; ведення документів для супроводу виробничих замовлень (забірні карти, маршрутні карти); оперативне визначення фактичної собівартості виробничих замовлень
Служби маркетингу	Контроль просування нових товарів на ринок; аналіз ринку збуту з метою його розширення; ведення статистики продажів; інформаційна підтримка політики цін і знижок; використання бази стандартних листів для розсилання; контроль виконання поставок замовникові в потрібний термін при оптимізації витрат на транспортування
Служби збуту і постачання	Ведення баз даних товарів, продукції, послуг; планування строків поставки й витрат на транспортування; оптимізація транспортних маршрутів і способів транспортування; комп'ютерне ведення контрактів
Служби складського обліку	Керування багатоланковою структурою складів; оперативний пошук товару (продукції) по складах; оптимальне розміщення на складах з урахуванням умов зберігання; керування надходженнями з урахуванням контролю якості; інвентаризація

Контролінг – це інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень. У свою чергу, інформаційні системи керування є комп'ютерною підтримкою контролінгу. Контролінг є основним постачальником інформації для керування підприємством. Ціль інформаційної підтримки контролінгу - забезпечити керівництво інформацією про поточний стан справ підприємства й

спрогнозувати наслідки змін внутрішнього або зовнішнього середовища. Основні завдання контролінгу подані в табл.2.

Таблиця 2

Основні завдання контролінгу

Види контролінгу	Основні розв'язувані завдання
Контролінг у системі керування	Стратегічний контролінг - забезпечення тривалого успішного функціонування організації. Оперативний контролінг - забезпечення методичної, інформаційної й інструментальної підтримки фахівців підприємства
Фінансовий контролінг	Підтримка рентабельності й забезпечення ліквідності підприємства
Контролінг на виробництві	Інформаційне забезпечення процесів виробництва й керування
Контролінг маркетингу	Інформаційна підтримка ефективного менеджменту по задоволенню потреб клієнтів
Контролінг забезпечення ресурсами	Інформаційне забезпечення придбання виробничих ресурсів, аналіз закуповуваних ресурсів, розрахунок ефективності роботи відділу постачання
Контролінг в області логістики	Поточний контроль економічності процесів складування й транспортування матеріальних ресурсів

Завдання ІСКП, які розв'язують для кожного рівня керування й служби підприємства, багато в чому відповідають завданням, розв'язуваним контролінгом у тій або іншій сфері діяльності підприємства (а саме, контролінгом у системі керування, фінансовим контролінгом тощо).

Якщо розглядати структуру ІСКП, то можна виділити 5 основних модулів, які присутні в кожній інформаційній системі. Це фінансово-економічне керування, бухгалтерія й кадри, склад, виробництво, торгівля (збут).

Перспективи розвитку ІСКП і контролінгу. На основі аналізу

тенденцій розвитку ринку програмного забезпечення для автоматизації процесу керування підприємствами можна зробити висновок про його динамічний розвиток і ускладнення кола завдань, що вимагають автоматизації. Спочатку керівники підприємств найчастіше висували найпростіші завдання, зокрема, завдання автоматизації процесу роботи бухгалтерії. З розвитком компаній, ускладненням бізнес-процесів виникла потреба не тільки в бухгалтерському обліку, але й у керуванні матеріально-технічним постачанням, роботою з дебіторами й кредиторами, і багатьма іншими видами діяльності, спрямованими на вирішення завдань, які ставить перед підприємством внутрішнє й зовнішнє середовище. Для задоволення цих потреб почали використовувати корпоративні інформаційні системи керування – рішення яких, охоплюють діяльність усього підприємства.

Ринок ІСКП. У цей час на ринку представлена велика кількість типових ІСКП - від локальних (вартістю до 50 тис. дол. США) до великих інтегрованих (вартістю від 500 тис. дол. США й вище). Типові рішення цих ІСКП фірмами - постачальниками адаптуються до умов конкретних підприємств. Основна частина ІСКП розробляється не на підставі типових рішень, а в одиничному екземплярі для кожного окремого підприємства. Це робиться відповідними підрозділами підприємств із метою найбільш повного обліку особливостей конкретних підприємств.

Приведемо опис основних типових ІСКП.

Локальні системи. Призначені для автоматизації діяльності по одному - двох напрямках. Вартість у межах від декількох тисяч до десятків тисяч доларів США.

Фінансово-управлінські системи. Мають більші функціональні можливості в порівнянні з локальними. Однак їхня відмінна риса - відсутність модулів, присвячених виробничим процесам. Строки впровадження таких систем можуть доходити до року, вартість від 50 до 200 тис. дол. США.

Середні інтегровані системи. Призначені для керування виробничим підприємством і інтегрованим плануванням виробничого процесу,

характеризуються наявністю спеціалізованих функцій. Такі системи найбільш конкурентоспроможні на вітчизняному ринку у своїй області спеціалізації з великими західними системами, при цьому їхня вартість істотно (на порядок і більше) нижче, ніж великих.

Великі інтегровані системи. Найбільш функціонально розвинені, складні й дорогі системи, у яких реалізуються міжнародні стандарти керування. Строки впровадження подібних систем з урахуванням автоматизації керування виробництвом можуть становити кілька років, вартість у межах від сотень тисяч до десятків мільйонів доларів. Системи призначені в першу чергу для підвищення ефективності керування великими підприємствами й корпораціями.

Конструктори – комплекс програмних засобів або спеціалізоване середовище програмування для відносно швидкого створення ділових додатків. Опіраються на покладений в основі конструктора варіант методології й технології функціонування.

Спеціалізовані рішення – призначені для одержання корпоративної консолідованої звітності, планування, бюджетування, оперативного аналізу даних для підтримки прийняття рішень.

ІСКП у рішенні завдань контролінгу. ІСКП у вирішенні завдань контролінгу відіграють важливу роль. З метою інформаційної підтримки контролінгу спеціальний модуль «контролінг» повинен бути включений до складу ІСКП. Це необхідно для того, щоб система забезпечувала не тільки комп'ютерну підтримку контролінгу, надавала менеджерам і фахівцям актуальну й достовірну інформацію, необхідну для планування підприємства, операції, їхнього виконання, реєстрації й аналізу всіх бізнес-процесів, але й стала б системою, що несе в собі інформацію про повний ринковий цикл - від планування бізнесу до аналізу результатів діяльності підприємства.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть основні поняття в теорії систем керування підприємствами й

організаціями.

2. Що означає в системах керування підприємствами й організаціями три рівні: стратегічний, тактичний і оперативний?
3. Які властивості інформаційних систем?
4. Які завдання виконує корпоративна інформаційна система керування ?
5. Поясніть сутність процесу керування підприємством за допомогою інформаційної системи керування.
6. У чому полягають основні завдання контролінгу?

2.4. Забезпечення роботи систем керування

За характером функціонального призначення в СК виділяють дві частини - забезпечувальну й функціональну. Забезпечувальна СК являє собою сукупність підсистем: технічного, інформаційного, математичного, програмного, лінгвістичного, організаційного й правового забезпечення. У цілому забезпечувальна частина є комплексом методів і засобів, інваріантним стосовно об'єкта керування, і покликана забезпечувати автоматизацію обробки інформації. Автоматизація обробки даних здійснюється аналогічними методами й засобами в усіх СК.

Функціональна частина СК являє собою комплекс адміністративних, організаційних і економіко-математичних методів і засобів, призначених для автоматизації процесів прийняття рішень і вироблення керівних впливів на об'єкт керування. Склад підсистем функціональної частини визначається характером об'єкта керування й характером завдань, розв'язуваних у СК. Складність і багатокритеріальність розв'язуваних завдань вимагають формувати склад підсистем функціональної частини по функціях керування, забезпечуючи в кожній підсистемі реалізацію всіх загальних фаз керування - планування, обліку, контролю, аналізу і регулювання. Такий підхід дозволяє розробляти алгоритми функціонування підсистем у відповідній фазі керування за єдиною методикою для всіх функцій керування.

Кожна функціональна підсистема характеризується своєю інформаційною моделлю, своїми економіко-математичними моделями, методами й алгоритмами вирішення завдань керування. Назва функціональних підсистем звичайно відображає коло завдань керування, розв'язуваних у підсистемі, наприклад, підсистеми: керування технічною підготовкою виробництва; техніко-економічного планування; керування матеріально-технічним забезпеченням; бухгалтерського обліку й звітності.

Технічне забезпечення СК (ТЗ СК) - комплекс технічних засобів (КТЗ), які використовують для функціонування системи керування.

Відповідно до схеми обробки інформації при автоматизованому керуванні КТЗ містить у собі такі засоби: збору й реєстрації інформації; передачі інформації; перетворення інформації з метою введення в ЕОМ; обробки інформації; відображення інформації з метою використання для вироблення керівних впливів. Кожна із зазначених груп має свій набір технічних засобів. Для збору й реєстрації інформації широко використовують датчики й реєстратори виробництва, для передачі - пристрої й канали зв'язку. Перетворення інформації для введення в ЕОМ здійснюється на пристроях підготовки даних. Найважливіший елемент КТЗ - електронно-обчислювальні машини, у яких здійснюється обробка інформації по заданих алгоритмах, які розроблені відповідно до характеру завдань керування. Сучасні системи мають широку номенклатуру засобів відображення інформації, до яких входять графічні й текстові дисплеї, плотери, друкувальні пристрої, екранні пульти тощо.

Інформаційне забезпечення СК (ІЗ СК) — сукупність реалізованих рішень по обсягах, розміщенню й формам організації інформації, що циркулює в СК в процесі її функціонування. Основними складовими підсистеми інформаційного забезпечення є уніфікована система документації, машинні масиви інформації, система класифікації й кодування.

Уніфікована система документації являє собою комплекс взаємозалежних документів, що відповідають єдиним правилам і вимогам, і впливають із

необхідності машинної обробки інформації. Ця документація містить інформацію, необхідну для вирішення завдань СК на базі ЕОМ і економіко-математичних методів, і становить основу позамашиної інформаційної бази СК.

Машинні масиви інформації містять необхідні вихідні й довідкові дані, а також нормативні дані для вирішення завдань СК й становлять основу внутрішньої інформаційної бази СК.

Системи класифікації й кодування - найважливіша складова частина методів і засобів, що пов'язує документи й машинні масиви. На базі систем класифікації й кодування створюється інформаційно-пошуковий апарат - один з найважливіших елементів інформаційного забезпечення СК.

У цілому інформаційне забезпечення поєднує дані в різних формах, засоби формалізованого опису даних, програмні засоби обробки даних, організаційні принципи створення й ведення інформаційних масивів. Засоби формалізованого опису даних дозволяють ідентифікувати дані в інформаційних масивах і організувати ефективний доступ до них. Крім систем класифікації й кодування до засобів формалізованого опису даних відносять інформаційні мови, призначені для опису запитів до масивів даних і відповідей на ці запити.

Програмні засоби обробки даних призначені для контролю інформації, що вводиться в ЕОМ, її зберігання й накопичення, внесення необхідних змін у базу даних.

Організаційні принципи створення й ведення внутрішньої інформаційної бази містять методи й способи організації, зберігання, зміни інформаційних масивів і доступу до них.

Підсистема інформаційного забезпечення покликана накопичувати, обновляти й зберігати всю інформацію, необхідну для рішення завдань у СК, і видавати її по запитах користувачів системи. Це визначає основні вимоги до підсистеми: досить повне відображення стану об'єкта в будь-який момент часу; простий і швидкий доступ до інформаційної бази; висока ефективність методів і засобів збору, зберігання, відновлення, пошуку й видачі інформації;

можливість розвитку інформаційної бази за рахунок її розширення й удосконалювання методів обробки інформації.

Величезні обсяги інформації, що переробляються в сучасних СК, вимога колективного характеру внутрішньої інформаційної бази, придатної для різноманітного застосування в межах розв'язуваних завдань, вимога незалежності інформаційної бази від прикладних програм користувачів призвели до створення й розвитку інформаційного забезпечення на основі автоматизованих банків даних (АБД).

АБД можна визначити як сукупність бази даних (БД) і системи керування базою даних (СКБД). БД являє собою сукупність взаємозалежних, що зберігаються разом, даних, організованих так, що забезпечується мінімальна надмірність даних, можливість організації різноманітних структур, незалежність організації даних від прикладних програм. СКБД - це програмно-логічний апарат, організований як пакет прикладних програм, призначений для ефективного керування базами даних. Організація внутрішньої інформаційної бази на основі банків даних - найбільш прогресивна форма створення й розвитку інформаційного забезпечення СК.

Важливою складовою частиною інформаційного забезпечення є нормативна база АСК, що містить нормативно-довідкову інформацію у вигляді норм, нормативів, умовно-постійних довідкових і облікових показників. Нормативна база організовується у вигляді документів і машинних носіїв.

Математичне забезпечення СК (МЗ АСК) - сукупність математичних моделей, методів і алгоритмів обробки інформації в автоматизованій системі керування.

Найважливішою складовою підсистеми математичного забезпечення є математичні моделі процесів і об'єктів керування. По суті СК являє собою взаємопов'язаний комплекс економіко-математичних моделей і процесів разом з методами й засобами їхнього аналізу. Характер моделей визначається характером розв'язуваних завдань керування. Формально в більшості випадків модель конструюється у вигляді цільової функції й системи обмежень.

Вирішення завдання в таких випадках зводиться до пошуку екстремума цільової функції при дотриманні обмежень. Способи рішення таких завдань базуються на методах математичного програмування.

Аналітичні детерміновані моделі в складі математичного забезпечення СК в більшості випадків не можуть відображати складності розв'язуваних завдань. Більш реальними є комбіновані моделі й комбіновані методи моделювання, засновані на одночасному використанні двох критеріїв вибору рішень - формалізованого й евристичного.

Економіко-математичні моделі виробничих об'єктів можуть будуватися на основі виробничих функцій, які являють собою функціональні залежності між різними факторами системи керування, обумовлені статистичними або кореляційними методами.

Складність завдань керування в СК полягає в тому, що далеко не всі фактори, що впливають на об'єкти й процеси керування, можуть бути описані кількісно. Тому найбільш типовими завданнями є такі, для яких характерна постановка й рішення в умовах неповної інформації. У цьому сенсі важливе значення мають методи рішення, засновані на принципах стохастичного програмування.

Програмне забезпечення (ПЗ) - сукупність програм для реалізації завдань АСК за допомогою комплексу технічних засобів. ПЗ АСК складається із двох частин:

1) загальне програмне забезпечення - сукупність програм, орієнтованих на користувачів для організації обчислювального процесу й рішення завдань обробки інформації, що часто зустрічаються;

2) спеціальне програмне забезпечення - комплекс програм для реалізації функцій конкретної системи керування.

Перша частина ПЗ створюється розроблювачами обчислювальної системи або ЕОМ, друга - розроблювачами СК.

Загальне програмне забезпечення є універсальним і не залежить від області застосування ЕОМ. Складовими загального ПЗ є комплекси програм:

технічного обслуговування обчислювальної системи; системи автоматизації програмування; системний диспетчер; бібліотека стандартних програм і підпрограм загального призначення й тощо.

Спеціальне ПЗ формується у вигляді сукупності пакетів прикладних програм, які являють собою комплекси взаємозалежних програм, призначені для реалізації конкретної функції СК.

Лінгвістичне забезпечення ІСК- сукупність мовних засобів для формалізації природної мови, побудови й сполучення інформаційних одиниць при спілкуванні персоналу СК з ЕОМ. Необхідність використання декількох мов програмування пояснюється розмаїттям завдань, розв'язуваних у СК, і ступенем пристосування тієї або іншої мови до конкретного завдання. У зв'язку з цим мови програмування можна розбити на три групи:

- 1) машинні (ММ);
- 2) машинно-орієнтовані (МОМ);
- 3) проблемно-орієнтовані (ПОМ).

ММ - це машинні коди. До складу ММ входить перелік операцій, властивий конкретній ЕОМ, з їхніми числовими кодами. ММ застосовуються в деяких випадках - коли потрібні програми вищої якості при мінімальному часі їхньої реалізації.

МОМ - група мов, орієнтованих на конкретний тип ЕОМ, містять елементи автоматизації процесу розподілу пам'яті ЕОМ, а часто використовувані сукупності машинних команд об'єднані в макрокоманди, що підвищує продуктивність програмування. Прикладом машинно - орієнтованої мови є АСЕМБЛЕР, що використовує набір макрокоманд функцій операційної системи ЄС ЕОМ.

ПОМ - група мов програмування, орієнтованих не на ЕОМ, а на особливості розв'язуваних завдань. Для перекладу ПОМ на мову конкретної машини в складі програмного забезпечення ЕОМ є транслятори. У розпорядженні користувачів ЕОМ є кілька мов програмування високого рівня.

Крім цього, у складі лінгвістичного забезпечення обчислювальної

системи є інформаційні мови, які використовують для обробки даних: запиту до бази даних; формування різних логічних відносин між елементами структур бази даних; передачі інформації в базу даних; керування зовнішніми пристроями. До таких мов відносять: мови опису даних (МОД) для опису структури й змісту бази даних; мова команд (МК), яка використовується користувачем для взаємодії з базою даних; мова керування зовнішніми пристроями (МКЗП). Перераховані інформаційні мови є засобами СУБД - систем керування базами даних.

Математичне, програмне й лінгвістичне забезпечення СК тісно пов'язані між собою й часто розглядаються як єдина система програмно-математичного забезпечення. Роль цих підсистем досить велика. Розвиток СК характеризується безперервним зростанням питомої вартості програмно-математичного забезпечення. Нині час засоби програмно-математичного забезпечення оцінюють в 70 % і вище загальної вартості СК.

Питання для самоконтролю

1. З яких підсистем складається функціональна частина ІКС?
2. Що розуміють під загальними фазами керування в підсистемах?
3. Які технічні засоби забезпечують роботу АІКС?
4. З яких складових формується інформаційне забезпечення АІКС?
5. Які організаційні принципи створення й ведення внутрішньої інформаційної бази?
6. Які організаційні принципи створення й ведення зовнішньомашинної інформаційної бази?
7. В якому напрямку розвивається інформаційне забезпечення на основі автоматизованих банків даних ?
8. Що є найважливішою складовою підсистеми математичного забезпечення АІКС?
9. З яких частин складається ПЗ АІКС ? Надайте характеристику частин.
10. З яких груп складається лінгвістичне забезпечення ІКС, їх

характеристика.

11. Для чого використовують інформаційні мови ?

2.5. Програмне забезпечення систем керування

Структура програмного забезпечення (ПЗ). Програмне забезпечення САК є такою ж невід'ємною частиною сучасної системи, як і апаратне забезпечення. Від правильності проектування й використання ПЗ залежать всі основні показники якості й надійності системи.

Частина програмного забезпечення - системне ПЗ, звичайно поставляється фірмою й розраховано на конкретну обчислювальну платформу, яка використовується в конкретній САК. Функціонально близько до системного програмного забезпечення спеціальне програмне забезпечення, призначене не для автоматичного керування, а для оперативного спостереження за ходом процесів у системі, ведення архівів, звітів, наочного подання поточних параметрів процесів, організації віртуальних вимірювальних приладів, дисплеїв тощо Це - SCADA системи (System Control And Data Acquisition). Ці системи не працюють у жорсткому реальному часі. Є достатня кількість таких готових систем (Trace Mode, UltraLogik і ін.). З метою забезпечення незалежності від виробника, а також з метою підвищення надійності й проблемної орієнтованості часто такі системи створюють спеціально.

Інша частина програмного забезпечення - драйвери пристроїв, повинна бути результатом узгодження фірм-розроблювачів пристроїв і фірм-розроблювачів системного ПО. Узгодження досягається шляхом виконання стандартів розробки драйверів.

Нарешті, є ще один тип програмного забезпечення, призначеного для рішення або конкретних обчислювальних завдань, що виникають у даній САК, або для керування спеціальними нестандартними пристроями. Це прикладне програмне забезпечення змушене створювати розроблювач конкретної САК. При цьому часто доводиться використовувати мову асемблера, тому що

потрібна висока швидкодія й передбачуваність поведіння програми. Особливо це справедливо при програмуванні спеціалізованих контролерів, безпосередньо пов'язаних з об'єктами керування.

Найважливішою властивістю програмного забезпечення САК є його ієрархичність. Можна виділити, принаймні, три рівні ієрархії:

- рівень диспетчерського керування;
- прикладний рівень керування, на якому відбувається вирішення складних обчислювальних завдань, вироблення цілей, складна обробка (можливо, у реальному часі) вимірювальної інформації;
- рівень локальних контролерів (локальних САК).

Системне програмне забезпечення. Можливість роботи в реальному часі, забезпечення високого рівня надійності при роботі, підтримка стандартів на всі види інтерфейсів - всі ці вимоги дозволяють виділити промислові обчислювальні системи в окремий клас. Основна вимога (крім надійності), до обчислювальних систем даного класу, - це гарантований час реакції на подію, що відбулася. З даної умови відразу можна виділити показники якості промислових обчислювальних систем:

- максимальну адаптацію обчислювального блока до датчиків і периферійних пристроїв;
- використання поширених і перевірених промислових стандартів, що дозволяє забезпечити сумісність великої розмаїтості устаткування й уніфікувати протокол взаємодії з ним;
- використання операційних систем реального часу (ОСРЧ), що гарантують вироблення сигналів зворотного зв'язку за фіксований проміжок часу.

Операційні системи реального часу. Як і будь-яка інша операційна система, ОСРЧ виконує такі основні функції, необхідні при використанні засобів обчислювальної техніки в автоматичі:

- забезпечення безконфліктної взаємодії паралельних завдань (процесів) з апаратурою;
- безконфліктний поділ ресурсів обчислювальної системи (пам'ять, диски й

т.ін.);

- забезпечення надійної передачі даних між процесами в адресних просторах;
- забезпечення стандартних засобів доступу до ресурсів;
- забезпечення стандартних телекомунікацій і мережної підтримки;
- підтримка служби часу (системних і мережних таймерів);
- створення обчислювального середовища підвищеної надійності.

Але ОСРЧ ці функції виконує за гарантований і відомий час. Існують різні структури ОСРЧ, але головне полягає в тому, що будь-яка ОС відокремлює собою апаратуру від завдань, що виконуються, і забезпечує стандартні методи доступу до неї й взаємодію між завданнями.

Сама ОС може бути побудована, як єдиний блок програмного забезпечення, а може бути модульною. Частковим випадком модульної побудови є архітектура мікроядра, де в основі ОС лежить компактне й швидке ядро, що може бути розміщене в ПЗП. Інші модулі ОС додаються в міру необхідності, можуть оперативнo замінюватися й допрацьовуватися.

Модульна побудова ОС має один суттєвий недолік - при інтенсивному використанні функцій (викликів) операційної системи швидкість її роботи є не найвищою, у порівнянні з монолітною архітектурою, тому що додаткові, що не перебувають у ядрі, функції ОС працюють у багатозадачному режимі.

Огляд операційних систем реального часу. Багато сучасних операційних систем здатні обробляти "на льоту" вступні запити, які деякою мірою можна віднести до операційних систем реального часу. Як правило, такі операційні системи є клонами ОС UNIX, де основним принципом побудови ОС є поділ часу з метою надати кожному користувачеві свій ресурс. Ядро класичних систем UNIX має досить великий розмір, але іноді не дуже гнучку структуру, і певну затримку відгуків.

Головний критерій, по якому операційні системи можна розділити на звичайні й операційні системи реального часу, - це детермінована, строго певна затримка часу очікування або переривання, необхідна процесу, перш ніж він

одержить керування. В ОСРЧ розрізняють два основних елементи - це час відгуку й детермінізм. Час відгуку визначає, як часто система може "відповідати" у середньому. Детермінізм - це показник найбільшої затримки системи (передбачуваність часу реакції). Деякі операційні системи, наприклад, DOS, є недетермінованими й непридатні для використання в реальному масштабі часу.

Системи реального часу також поділяються на "soft real-time" і "hard real-time" - м'який реальний час (МРЧ) і жорсткий реальний час (ЖРЧ). Для МРЧ - систем можлива втрата зовнішньої події (переривання) без надання серйозного впливу на систему в цілому. Загублене переривання в ситуації із ЖРЧ має серйозні наслідки, як наприклад, "втрата" аварійної ситуації в системі виключення зіткнень на авіалініях. Границя між МРЧ і ЖРЧ розмита й принципово теоретичного розходження між ЖРЧ і МРЧ немає, розходження швидче кількісне. Варто також розуміти, що ЖРЧ не пов'язане з абсолютними значеннями часу реакції ОС, тому що є процеси, що обчислюються сотими частками секунди (наприклад, в енергетичних системах), а є такі, для яких характерні постійні часу дорівнюють годинам (теплові процеси).

Більшість систем реального часу підтримує індустріальні стандарти VME, POSIX, TCP/IP, NFS і Motif.

Примітка. Специфікація POSIX - стандарт, розроблений IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), для визначення інтерфейсу високого рівня операційної системи для забезпечення сполучності програм на рівні вихідних кодів і незалежності їх від платформ. POSIX - це інтерфейс переносних операційних систем для комп'ютерних платформ. Він заснований на операційній системі UNIX. Дана специфікація є частиною стандарту ISO/TEC 9945 і визначає інтерфейс системних програм (API) для розробки відкритих систем або переносних кодів для ОС UNIX.

Інтерес до операційних систем реального часу дуже великий й відомо безліч ОС реального часу. Постійно з'являються проекти нових систем РЧ. Нижче в таблиці наведені найпоширеніші виробники ОС РЧ і самі системи.

Кожна із провідних фірм-виробників, що випускають промислові комп'ютери, обов'язково має версію своєї операційної системи для роботи в реальному масштабі часу. Для компанії Hewlett-Packard (HP) - це HP RT, для компанії SGI - це ОС REACT, а для систем фірми Motorola - це ціле сімейство різних ОС РЧ. Серед них можна назвати LynxOS компанії Lynx Real-Time Systems Inc., або багатозадачну систему OS-9 фірми Microware Systems Corporation.

Таблиця 3

		Сертифікат	Багатозадачність, пріоритетність	Можливість роботи з ПЗП	Підтримка API користувача	Підтримка мережі	Основні платформи
1	Lynx OS	Posix 1003.1 X Windows, Motif	Захищена пріоритетна багатозадачність	Ядро може завантажуватися з ПЗП	Стандартна бібліотека C	TCP/IP	Intel,680xx Power PC
2	QNX	Posix 1003.1 X Windows, Motif	Захищена пріоритетна багатозадачність	Ядро може завантажуватися з ПЗП	Засоби Watcom	TCP/IP, FLEET	Intel
3	OS-9	Posix 1	65535 процесорів і 65535 пріоритетів	Ядро може завантажуватися з ПЗП	Засоби Ultra C и C++ от Microware	TCP/IP	680xx для OS-9.
4	HP-RT	Posix 1003.1	Пріоритетна багатозадачність	–	Стандартні компілятори	Мереж. Завант.	PA-RISC
5	VxWorks/Tornado	Posix 1003.1	Пріоритетна багатозадачність	Ядро може завантажуватися з ПЗП	Стандартні комп-ри	TCP/IP	Intel, 680xx, Power PC

ОСРЧ на основі ядра Windows. Ряд операційних систем (NT 4, Windows 2000, Windows XP), заснованих на ядрі NT, широко застосовуються в офних додатках і демонструють цілком гідну надійність. Наявність величезного обсягу програмного забезпечення й армії розроблювачів дозволяє, у принципі, думати, що при належній модифікації коду операційної системи її можна буде застосовувати в промислових додатках. Було б бажано мати ту саму ОС на всіх рівнях індустріальної ієрархії. Чи задовольняє NT вимогам до ОСРЧ,

розглянутим вище. Узагальнимо їх у такі групи:

Вимога 1: ОС повинна перериватись і бути передбачуваною. Планувальник ОС повинен мати можливість перервати будь-який процес і надати ресурс процесу, якому він більше необхідний.

Вимога 2: ОС повинна забезпечувати передбачувані механізми синхронізації завдань, тому що завдання розділяють дані (ресурси) і повинні сполучатися один з одним. У зв'язку з цим повинні існувати механізми блокування, комунікацій і подільної пам'яті.

Вимога 3: Повинна існувати система спадковості пріоритетів. Спадковість пріоритету означає, що ресурс, який блокує процес, успадковує його пріоритет у тому разі, якщо цей процес має більш високий пріоритет.

Вимога 4: Поводження ОС повинно бути відоме (передбачуване). Часи виконання системних викликів і тимчасові характеристики поведіння системи в різних обставинах повинні бути відомі розроблювачеві прикладного програмного забезпечення й користувачеві. Тому виробник ОСРЧ повинен приводити такі характеристики:

- затримку переривання (час від моменту переривання до моменту запуску завдання);
- максимальний час виконання кожного системного виклику;
- максимальний час маскування переривань драйверами й ОС;
- системні рівні переривань, рівні переривань драйверів пристроїв, їхні тимчасові характеристики й т. ін.

Чи задовольняють ОС Windows NT цим вимогам?

Windows NT - багатозадачна система з досить складним поняттям пріоритету. Є два класи пріоритетів для процесів - клас реального часу й динамічний клас. Процеси класу реального часу мають фіксований пріоритетний рівень, тоді як пріоритетний рівень динамічного класу може змінюватися планувальником залежно від типу роботи. Тільки клас реального часу передбачуваний і тому може бути використаний в ОС РЧ, однак таких пріоритетних рівнів мало. Більшість сучасних ОСРЧ допускають, принаймні,

256 пріоритетів, чим більше пріоритетів - тим більш передбачувана система. Процесу в Windows NT надається тільки 5-7 пріоритетних рівнів. Тому багатьом з них доводиться ділити той самий рівень. Передбачуваність буде невисокою, якщо потрібно обробляти більше однієї або двох критичних подій.

Інша проблема, пов'язана із пріоритетами в Windows NT, обумовлена особливостями реалізації деяких системних викликів, що ставляться до GUI. Вони обробляються процесом, що не належить класу процесів реального часу. Отже, процес більш низького пріоритету із класу реального часу може затримати виконання більш пріоритетної команди.

ОСРЧ взаємодіє із зовнішнім світом через апаратуру комп'ютера. Зовнішні події, що надходять у систему у вигляді переривань, обробляються драйверами пристроїв. Windows NT взаємодіє з апаратурою через драйвер пристроїв ядра, тому що більшість додатків реального часу має справу зі специфічними зовнішніми подіями. Розроблювачам доводиться писати драйвери пристроїв ядра, щоб забезпечити доступ до апаратних засобів. Драйвер пристрою відповідає за обробку переривання, за генеруючий пристрій, яким він управляє. Щоб підвищити відповідальність ОС за обробку, був розроблений механізм обробки переривань у два етапи.

По-перше, переривання дуже швидко обробляється ISR (Interrupt Service Routine). Після цього робота завершується виконанням процедури DPC (Deferred Procedure Call). Це породжує досить складну послідовність обробки переривань в Windows NT. При цьому ISR повинна працювати якнайшвидше. Тому більшість драйверів виконують більшу частину роботи в DPC, сповільнюючи роботу інших DPC, тому що всі вони обробляються на одному рівні.

Таким чином, Windows NT у своєму головному вигляді, орієнтованому на класичні додатки, не є гарною платформою для додатків реального часу:

- -кількість пріоритетів реального часу занадто мала для ОС РЧ;
- не вирішена проблема інверсії пріоритетів (для процесів класу РЧ);
- для додатків, що вбудовуються, занадто великі вимоги по пам'яті;

- драйвери пристроїв мають дуже повільні DPC і допускають переривання іншими DPC.

Windows NT можна використовувати тільки в таких випадках:

- ОС м'якого РЧ, які допускають порушення тимчасових обмежень;
- у простих системах, де число типів подій невелике;
- навантаження на CPU завжди залишається малою (системні DPC мають час для виконання);
- використовується мало драйверів, алгоритм яких невідомий;

Але у випадку ОС жорсткого РЧ навіть не варто піднімати питання про використання Windows NT у вихідному вигляді.

Прикладне програмне забезпечення для АСК. Питання про прикладне програмне забезпечення АСК є надзвичайно широким, як і спектр завдань, розв'язуваних конкретними системами.

З погляду інженера, що створює комплекс засобів АСК, прикладне програмне забезпечення можна розбити на такі найважливіші групи:

- доповнення до операційної системи (драйвери й т.п.);
- програми керування, зняття (одержання), передачі даних, обробки даних, планування й т.п., тобто прикладні обчислювальні завдання;
- програмне забезпечення локальних регуляторів. Ця частина програмного забезпечення часто створюється для спеціалізованих мікроконтролерів.

Для створення цих різномірних частин прикладного програмного забезпечення використовуються різні методи програмування. Найбільш традиційною частиною є прикладні обчислювальні завдання, для яких намагаються використовувати програмування на мовах високого рівня. Звичайно тут можна обійтися програмуванням мовою C, C++, Pascal, залучаючи для цього інтегровані середовища типу Visual C, Builder або Delphi. Є можливість створення потужного сучасного програмного забезпечення, що задовольняє всім вимогам до інтерфейсів користувача. У цей час для всіх популярних ОСРЧ є компілятори мови C.

При створенні програмного забезпечення для локальних контролерів

важливо дотримуватися таких принципів:

- при розробці проекту САК намагатися забезпечити однорідність обчислювальної платформи, що дозволить надалі спростити програмування. Реально це означає, що доцільно в локальних системах використовувати не спеціалізовані мікроконтролери, а PC-сумісні контролери. Але в деяких завданнях найбільш ефективні саме спеціалізовані контролери. Наприклад, у завданнях цифрової обробки сигналів використовуються спеціальні DSP-процесори;

- при розробці програм для локальних контролерів необхідно ретельно обгрунтовувати вибір контролерів, виходячи з перспективності тієї або іншої мікроконтролерної платформи. Причому, основним аспектом є не економічний, тому що вартість сучасних мікроконтролерів стрімко знижується, а системний;

Альтернативою традиційному програмуванню мікроконтролерів, у принципі, є технологія Java, що припускає мережне завантаження програм, що виконуються, (апплетів) у контролери. Але це не цілком безпечно й не завжди надійно.

Міжнародна Електротехнічна Комісія (МЕК) в 1993 р. затвердила стандарт ІЕС 1131-3. Цей міжнародний стандарт входить у групу ІЕС 1131 стандартів, які охоплюють різні аспекти використання програмувальних логічних контролерів (ПЛК). Стандарт ІЕС 1131-3 описує синтаксис і семантику п'яти мов програмування ПЛК:

- SFC (Sequential Function Chart) - графічна мова, використовувана для опису алгоритму у вигляді набору зв'язаних пар: крок (step) і перехід (transition). Крок являє собою набір операцій над змінними. Перехід - набір логічних умовних виразів, що визначає передачу керування до наступної пари крок-перехід. Реалізація мови SFC - це просто початкове подання логіки алгоритму.
- LD (Ladder Diagram) - графічна мова програмування, що є стандартизованим варіантом класу мов релейно-контактних схем.
- FBD (Functional Block Diagram) - графічна мова за своєю суттю схожа на LD.

Замість реле в цій мові використовують функціональні блоки. FBD є найбільш природним способом опису структури САК з погляду інженера по автоматичі, підтримується багатьма сучасними системами проектування й SCADA-Системами.

- ST (Structured Text) - текстова високорівнева мова загального призначення, по синтаксисі орієнтована на Паскаль. Це звичайне програмування мовою високого рівня.
- IL (Instruction List) - текстова мова низького рівня, програмування фактично на Асемблері. Необхіднай у випадку розробки драйверів і критичних до часу програм.

Інструменти розробки й налагодження програмного забезпечення.

Найбільш перспективними є інтуїтивно-зрозумілі розроблювачеві засоби візуального проектування. Візуальні засоби припускають, що проектувальник (або користувач) не повинен писати практично ніякого коду програми на жодній з мов програмування. Замість цього він робить розміщення тих або інших наочних графічних образів (піктограм) на робочому полі. Вони являють собою відображення деяких стандартних блоків, алгоритмів, пристроїв. З'єднуючи ці образи відповідно до необхідної структури і задаючи властивості окремих компонентів, користувач швидко одержує необхідне подання своєї системи. Уникнути програмування можна за рахунок об'єктно-орієнтованого характеру такої моделі, при якому необхідні коди програм уже інкапсульовані в стандартних блоках.

Але тут полягає й слабка сторона такого підходу. Реально є два негативні боки використання стандартних бібліотек функцій (класів):

- закритість вихідних кодів (і в сенсі неприступності, і в тому розумінні, що користувач не зацікавлений глибоко розбиратися в чужих кодах);
- неоптимальність кодів саме для тієї конкретної ситуації, у якій перебуває даний розроблювач системи автоматички (універсальне - значить не оптимальне).

Ці два пункти реально призводять до того, що користувач - розроблювач

автоматичної системи не може гарантувати надійність роботи всієї системи, тому що в неї входять закриті компоненти, і не може гарантувати оптимальності в сенсі швидкодії роботи критичних до цього параметра частин системи. Візуальні методи програмування обмежено придатні у разі добре відомих завдань, не критичних до швидкодії й надійності.

Поряд з візуальними засобами програмування широко поширене й застосування таких візуальних середовищ, як Delphi або Builder від фірми Borland, Visual C++ від Microsoft і т.п. Безліч подібних засобів стрімко зростає, залучаючи всі нові й нові підходи в програмуванні.

Щоб домогтися абсолютно передбачуваного поведіння програмного забезпечення з урахуванням роботи в реальному часі розроблювач автоматичних систем змушений створювати й власне програмне забезпечення. Найбільш доцільний підхід тут такий:

- у міру можливості користуватися мовами високого рівня;
- лише у разі нестачі швидкодії або надійності використовувати Асемблер.

Такий підхід дозволить інженерові в області автоматички вирішити відразу два завдання:

- забезпечити реальну можливість передачі вихідних кодів програм іншим розроблювачам, у тому числі, і при зміні обчислювальної платформи;
- домогтися істотної економії часу розробки програмного забезпечення. Відомо, що найбільше "марнотратне" у цьому сенсі програмування на Асемблері.

Стандартними засобами у всіх випадках є спеціальні програмні продукти, призначені для розробки програмного забезпечення: редактори, транслятори, компілятори, налагоджувачі. Їх є безліч, використання того або іншого з них значною мірою є результатом вибору на основі особистих пристрастей розроблювача. Найбільш доцільно використовувати спеціальні інтегровані середовища розробки, що поєднують всі ці засоби. Такі середовища розробки є

практично для всіх мов програмування, у тому числі, і для асемблерів мікроконтролерів.

Супровід програмного забезпечення - це можливість гарантувати передачу програмних комплексів, їхнє переналадження за потреби, виправлення виявлених помилок, усунення збоїв. Можливість супроводу програмного забезпечення залежить від таких основних факторів:

- забезпечення розроблювачем сервісних послуг;
- наявності доступної технічної документації, у тому числі відкритих кодів програм;
- використання при розробці доступних іншим розроблювачам і користувачам засобів (інтегрованих середовищ і т.ін.);
- мінімізація залежності програмного забезпечення від особистості розроблювача (часто буває так, що зрозуміти чужу програму, навіть при наявності вихідних текстів, дуже важко). Ключовим у цьому питанні є використання сучасних промислових методів створення програмного забезпечення.

Від правильного вибору програмного продукту, що задовольняє вимогам супроводу, іноді залежить доля всієї системи автоматизації й ефективності вкладення фінансових витрат.

Питання для самоконтролю

1. Опишіть структуру програмного забезпечення
2. Які рівні ієрархії можна виділити для програмного забезпечення ?
3. За якої умови можна виділити показники якості промислових обчислювальних систем ?
4. Які операційні системи дозволяють керування в масштабі реального часу?
5. Який основний принцип побудови ОС UNIX?
6. Поясніть визначення "soft real-time" і "hard real-time".

7. Які ОСРЧ на основі ядра Windows?
8. Чи задовольняє NT вимогам до ОСРЧ?
9. Що таке прикладне програмне забезпечення для САК?
10. Яких принципів необхідно дотримуватися при створенні програмного забезпечення для локальних контролерів ?
11. Що таке візуальне проектування?
12. Яким є доцільний підхід до програмного забезпечення з урахуванням роботи в реальному часі?
13. Поясніть, що таке спеціальні програмні продукти, призначені для розробки програмного забезпечення?

Розділ 3. МЕТОДИЧНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Теоретичні засади розрахунку параметрів налагоджування цифрових контролерів

3.1. Складання алгоритмічної структурної схеми одноконтурної цифрової автоматичної системи керування

Функціональна структурна схема одноконтурної цифрової автоматичної системи керування (ЦАСК) показана на рис.3.1. На відміну від структури неперервної АСК вона додатково включає аналого-цифрові і цифро-аналогові перетворювачі, а регулятор замінений мікро-ЕОМ. Аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) служать для кодування регульованої величини $x(t)$, можливо, задаючого впливу $g(t)$. В результаті такого кодування на вхід ЕОМ, а точніше, її процесора, надходять цифрові подання цих величин x_0 і g_0 .

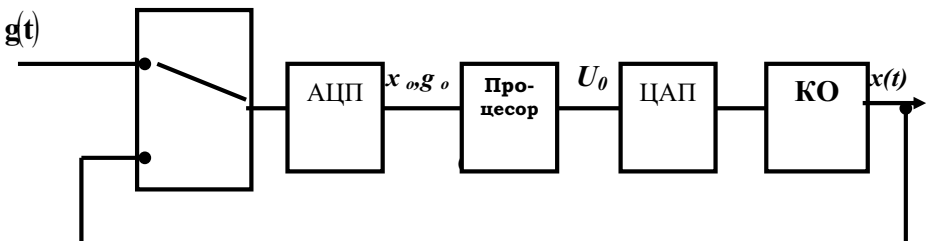


Рис 3.1. Функціональна структурна схема одноконтурної ЦАСК

Вихідна величина процесора U_0 - це цифрове подання сигналу керування. Потім величина U_0 переходить через перетворювач коду в неперервний сигнал, який, як правило, являє собою електричну величину. Ця величина надходить на неперервну частину системи, до якої відносяться: керований об'єкт, виконавчий механізм, а також, можливо, перетворювачі електричного сигналу в інші типи сигналів (пневматичний, гідравлічний).

Цифрові системи керування працюють на сигналах, які квантовані за часом, що відносить їх до класу імпульсних систем, і за рівнем сигналу, що робить їх нелінійними.

Існуючі методи дослідження нелінійних систем малоприменні для ЦАСК. Тому для дослідження ЦАСК застосовують методи лінеаризації. Стосовно до цифрових систем керування звичайний метод лінеаризації – розклад в ряді Тейлора з утриманням тільки лінійних членів є непридатним. Він може застосовуватись тільки для лінеаризації неперервної частини системи.

В ЦАСК основним об'єктом лінеаризації є вхідні і вихідні перетворювачі, які мають статичні характеристики релейного типу (рис.3.2), для подібних характеристик тангенс кута нахилу або дорівнює нулю, або прямує до нескінченості. Тому для лінеаризації вхідних і вихідних перетворювачів користуються іншим методом лінеаризації. Суть якого в такому: якщо прийняти, що зміна вхідного сигналу по своїй величині значно більша одиниці наймолодшого розряду перетворювача, то можна знехтувати впливом “ступінчастості” характеристики і лінеаризувати її, провівши середню пряму, так як це показано на (рис.3.2).

Позначимо через δ_1 величину найменшого розряду на вході перетворювача. Ця одиниця наймолодшого розряду має фізичну розмірність, яка співпадає з розмірністю сигналу, що діє на вході перетворювача. Природно, що одиниця наймолодшого розряду на виході перетворювача дорівнює безрозмірній одиниці. Припустимо, що довжина всіх горизонтальних площадок статичної характеристики однакова і дорівнює одиниці наймолодшого розряду δ_1 . Це значить, що статична характеристика перетворювача описується рівнянням:

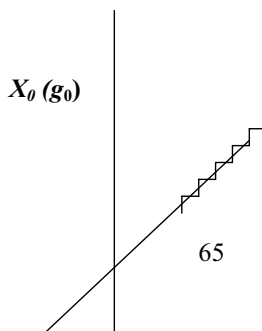
$$x_0 = E[x/\delta_1 + 0,5 \text{sign } x] \quad (3.1)$$

де, E - ціла частина числа, що взяте в квадратні дужки;

$$\text{Sign } x = \begin{cases} 1 & \text{при } x > 0 \\ -1 & \text{при } x < 0. \end{cases}$$

Для лінеаризованої характеристики, яка на (рис.3.2) показана прямою лінією, коефіцієнт передачі:

$$K_1 = 1/\delta_1 \quad (3.2)$$



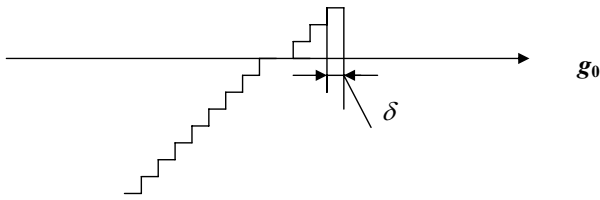


Рис. 3.2. Статична характеристика аналого-цифрового перетворювача

Найбільша похибка вхідного перетворювача при переході від нелінійної характеристики до лінійної не буде перевищувати по модулю значення $0,5 \delta_1$.

Число відмінних від нуля рівнів однієї гілки статичної характеристики:

$$\mu_1 = 2^{\alpha_1} - 1 = X_{\max} / \delta_1 \quad (3.3)$$

де, α_1 - число двійкових розрядів перетворювача (без врахування знакових розрядів), а X_{\max} - максимальне значення величини X , яка відповідає насиченню перетворювача.

Розглянемо статичну характеристику ЦА – перетворювача (рис.3.3)

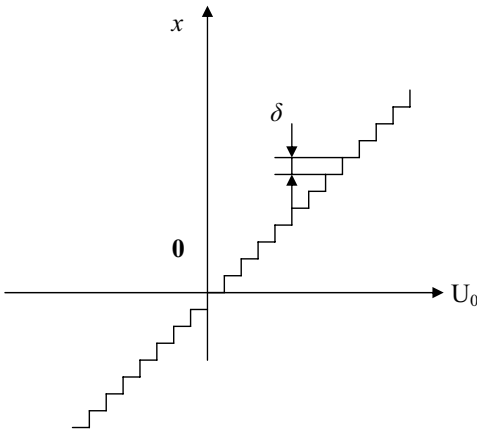


Рис. 3.3. Статична характеристика цифро-аналогового перетворювача

По осі абсцис відкладена вихідна величина ЕОМ у вигляді числа U_0 , а по осі ординат – величина x , яка являє собою вихідну величину перетворювача коду в неперервну величину. Як правило, вихідна величина - це електрична напруга або струм. Одиниця наймолодшого розряду вихідної величини перетворювача позначена через δ , а одиниця наймолодшого розряду вихідної величини дорівнює безрозмірній одиниці. Їх відношення дає крутизну статичної характеристики:

$$K = \delta. \quad (3.4)$$

Якщо число двійкових розрядів перетворювача α , то загальне число відмінних від нуля рівнів однієї гілки статичної характеристики:

$$\mu = 2^\alpha - 1 = u_{\max} / \delta, \quad (3.5)$$

де, U_{\max} – максимальне значення вихідної величини

Коли ЕОМ реалізує лінійний алгоритм керування, тоді передавальна функція, що відповідає цьому алгоритму керування, повинна множитися на передавальний коефіцієнт:

$$K_{\text{ц}} = K_1 K = d/d_1. \quad (3.6)$$

Таким чином, лінеаризована система керування може розглядатись як імпульсна. При цьому враховується тільки явище квантування за часом, а впливом квантування за рівнем нехтуємо.

Тепер складемо алгоритмічну структурну схему ЦАСК (рис.3.4). Кожний АЦП зображають як ідеальний квантувач (ІК), а кожний ЦАП як ІК, з яким послідовно з'єднується формуючий фільтр з передавальною функцією:

$$F(p) = \frac{1}{p}(1 - e^{-ph}), \quad (3.7)$$

де, h - період квантування.

Лінійні елементи системи (нормуючі перетворюючі, виконавчий механізм, датчики, керований об'єкт) позначають їх передавальними функціями, отже:

$$W(p) = W_D(p)W_{\Pi}(p)W_{BM}(p)W_0(p), \quad (3.8)$$

де, $W_D(p)$, $W_{\Pi}(p)$, $W_{BM}(p)$, $W_0(p)$ - відповідно передавальні функції датчика, перетворювачів, виконавчого механізму, керованого об'єкта.

Обчислення в ЕОМ позначають імпульсними передавальними функціями: передавальною функцією керування $H(z)$ і передавальною функцією для систем стабілізації H_c .

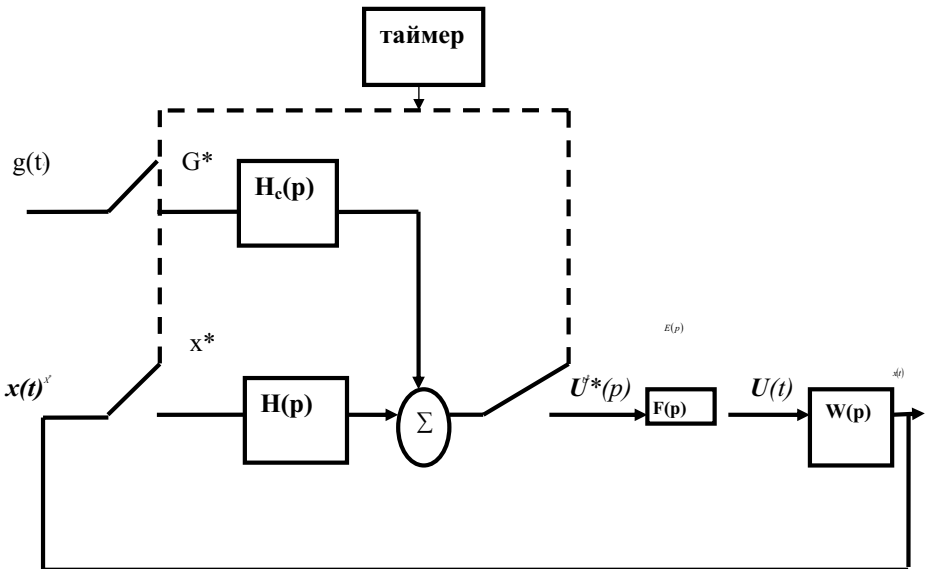


Рис.3.4. Алгоритмічна структурна схема одноконтурної ЦАСК

3.2. Математичний опис ЦАСК

Система, яка показана на рис. 3.4 має аналоговий сигнал $x(t)$ і аналоговий сигнал – завдання $g(t)$. Неперервні сигнали скануються мультиплексором (комутатором) і перетворюються в цифрову форму x^* і g^* . ЕОМ виробляє керуючий сигнал, який через ЦАП подається на виконавчий механізм (або на нормуючий перетворювач). Віднесемо формуючий фільтр до керованого об'єкта. Тоді

$$W_F(p) = F(p)W(p). \quad (3.9)$$

Знайдемо тепер перетворення Лапласа вихідного сигналу:

$$X(p) = W_F(p)U^*(p), \quad (3.10)$$

де, $U^*(p)$ – дискретне перетворення Лапласа (Д-перетворення) величини U^* .

Застосовуючи до (3.10) Д - перетворення, будемо мати:

$$D\{X(p)\} = D\{W_F(p)U^*(p)\} \quad \text{або} \quad X^*(p) = W_F^*(p)U^*(p). \quad (3.11)$$

Нехай обчислення, що виконуються ЕОМ, описуються рівнянням:

$$U^*(p) = H_C^*(p)G^*(p) - H^*(p)X(p) \quad (3.12)$$

де, $G^*(p) = D\{G(p)\}$.

Зв'язок між виходом системи $X^*(p)$ і її входом $G^*(p)$ одержимо, розв'язуючи рівняння (3.11) і (3.12):

$$X^*(p) = \frac{W_F^*(p)H_C^*(p)}{1 + W_F^*(p)H^*(p)}G^*(p). \quad (3.13)$$

Від дискретного перетворення Лапласа перейдемо до z – перетворення, шляхом підстановки:

$$p = \frac{1}{h} \ln z. \quad (3.14)$$

Отже,

$$X(z) = \frac{W_F(z)H_C(z)}{1 + W_F(z)H(z)} G(z). \quad (3.15)$$

Нехай $W(p)$ – дрібно-раціональна функція з поліномами $R(p)$ і $S(p)$ порядків m і n ($m \leq n$) відповідно:

$$W(p) = S(p) / R(p), \quad (3.16)$$

поліном $R(p)$ має прості (не нульові) полюси p_1, p_2, \dots, p_n .

Тоді:

$$W_F(p) = - \sum_{i=1}^n \frac{S(p_i)}{p_i R'(p_i)} \cdot \frac{1 - e^{hp_i}}{z - e^{hp_i}}, \quad (3.17)$$

$$\text{де, } R'(p_i) = \left. \frac{dR(p)}{dp} \right|_{p=p_i}$$

Якщо один із коренів полінома $R(p)$ нульовий, то позначивши його через $p_1 = 0$, одержимо:

$$W_F(p) = - \frac{S(0)}{(z-1)R'(0)} \lim_{p_1 \rightarrow 0} \frac{1 - e^{hp_1}}{p_1} - \sum_{i=2}^n \frac{S(p_i)}{p_i R'(p_i)} \times \frac{1 - e^{hp_i}}{z - e^{hp_i}}. \quad (3.18)$$

Розкриваючи невизначеність $\lim_{p_1 \rightarrow 0} \frac{1 - e^{p_1 h}}{p_1}$ типу $0/0$ за правилом

Лопітала, одержимо:

$$W_F(z) = \frac{hS(0)}{(z-1)R'(0)} - \sum_{i=2}^n \frac{S(p_i)}{p_i R'(p_i)} \times \frac{1 - e^{hp_i}}{z - e^{hp_i}}. \quad (3.19)$$

Для системи автоматичної стабілізації $H_c(z) = H(z)$.

Таким чином, для системи стабілізації з ЕОМ передавальна функція замкнутої системи $W(z) = X(z) / G(z)$ буде мати вигляд :

$$W(z) = \frac{W_F(z)H(z)}{1 + W_F(z)H(z)}; \quad (3.20)$$

$$H(z) = k_u \tilde{H}(z), \quad (3.21)$$

де, $\tilde{H}(z)$ – передавальна функція, що відповідає алгоритму керування.

3.3. Лінійні алгоритми керування цифрових регуляторів

Лінійні алгоритми керування, які реалізує ЕОМ, можна одержати із неперервного ПІД-закону керування:

$$u(t) = C_1 e(t) + C_0 \int_0^t e(t) dt + C_2 \frac{de(t)}{dt}, \quad (3.22)$$

якщо інтеграл в (3.22) замінити сумою, а похідну кінцевою різницею

$$\int_0^t e(t) dt \approx \sum_{k=0}^N e((n-k)h)h,$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx h^{-1}[e(nh) - e((n-1)h)],$$

де, $e(t) = g(t) - x(t)$.

Отже,

$$u(nh) = C_1 e(nh) + C_0 h \sum_{k=0}^{\infty} e((n-k)h) + C_2 h^{-1}[e(nh) - e((n-1)h)]. \quad (3.23)$$

Застосовуючи до рівняння (3.23) z-перетворення одержимо передавальну функцію цифрового ПІД-регулятора:

$$\tilde{H}(z) = \frac{E(z)}{U(z)} = C_1 + C_0 h \frac{z}{z-1} + C_2 h^{-1}(1-z^{-1}). \quad (3.24)$$

Із передавальної функції (3.24) можна одержати передавальні функції окремих цифрових регуляторів:

П-регулятор:

$$\tilde{H}(z) = C_1. \quad (3.25)$$

П І-регулятор:

$$\tilde{H}(z) = C_1 + C_0 h \frac{z}{z-1}. \quad (3.26)$$

П І Д-регулятор:

$$\tilde{H}(z) = C_1 + C_2 h^{-1} (1 - z^{-1}). \quad (3.27)$$

3.4. Рекомендації з вибору параметрів налагодження регуляторів

Позитивною якістю цифрових лінійних регуляторів є те, що їх поведінка та властивості при малому періоді квантування h подібні аналогічним неперервним регуляторам. Тому при перетворенні регулятора до дискретного виду проблем майже не виникає – для розрахунку можна використати ті самі методи, що і в неперервному випадку. Один із таких методів – метод розширеної АФХ.

3.5. Рекомендації з вибору методу квантування

В табл.3.1 приведені граничні значення періоду квантування, які рекомендуються для різних технологічних процесів. Але є декілька правил вибору періоду квантування залежно від вибраних параметрів настройки регулятора, або динамічних властивостей керованого об'єкта.

Існує декілька правил вибору періоду квантування. Переважно рекомендують вибирати період квантування так, щоб виконувалась одна із умов:

1. $\frac{C_1}{C_2} h \approx 0,1 - 0,5$;
2. $\frac{h}{L} \approx 0,2 - 1,0$ (див. рис.3.5)
3. $\frac{h}{C_1} \approx 0,01 - 0,5$.

Таким чином, вибраний період квантування h не повинен перевищувати h_{\max} , яке задається в табл.3.1

Таблиця 3.1

Граничні значення періоду квантування

Назва технологічного параметру	Період квантування, с
Витрата	1-3
Рівень	5-10
Тиск	1-5
Температура	10-20

3.6. Дослідження ЦАСК на стійкість

Стійкість лінійної цифрової системи, як і стійкість неперервної системи визначається характером її вільного руху. Цифрова система стійка, якщо вільна складова перехідного процесу $x_c(ih)$ з плином часу затухає:

$$\lim_{i \rightarrow \infty} x_c(ih) = 0. \quad (3.28)$$

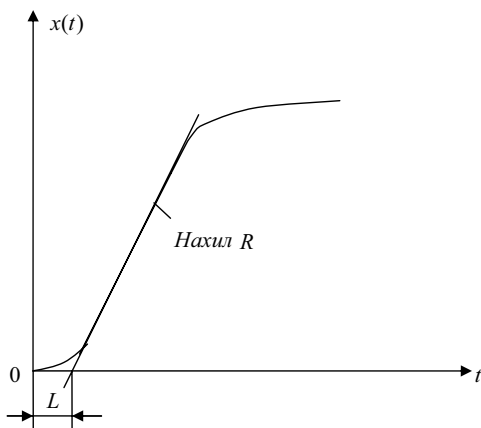


рис.5. Спосіб визначення L по перехідній характеристиці керованого об'єкту.

Вільна складова $x_c(ih)$ - це рішення однорідного різницевого рівняння:

$$x(z)(a_0z^n + a_1z^{n-1} + \dots + a_{n-1}z + a_n) = 0. \quad (3.29)$$

Розв'язок рівняння (3.29) при відсутності в нього однакових коренів – це сума:

$$x_c(ih) = \sum_{k=1}^n C_k z_k^i, \quad (3.30)$$

де, C_k - постійні, які залежать від початкових умов, z_k - корені характеристичного рівняння:

$$a_0z^n + a_1z^{n-1} + \dots + a_{n-1}z + a_n = 0. \quad (3.31)$$

Із виразу (3.31) виходить, що при $i \rightarrow \infty$ розв'язок (3.30) прямує до нуля лише в тому разі, коли всі корені полінома (3.31) по модулю менші за одиницю $|z_k| \leq 1$.

Тобто, для стійкості цифрової системи необхідно і достатньо, щоб всі корені характеристичного рівняння системи знаходились всередині кола одиничного радіуса з центром на початку координат.

При $|z_k| > 1$ хоча б для одного k система нестійка.

Для дослідження стійкості цифрових систем можна скористатись звичайними критеріями стійкості лінійних систем, але при цьому необхідно враховувати певні особливості лінійних систем.

Так, для того, щоб застосувати *критерій стійкості Гурвіца*, необхідно попередньо в характеристичному рівнянні зробити заміну змінної z на змінну v шляхом підстановки $z = \frac{1+v}{1-v}$ та одержати перетворене характеристичне

рівняння:
$$A_0 v^n + A_1 v^{n-1} + \dots + A_{n-1} v + a_n = 0, \quad (3.32)$$

до якого і застосовується критерій стійкості Гурвіца.

При використанні *критерія Михайлова* в характеристичний поліном $R(z)$ підставляють $z = e^{j\omega h}$, змінюють ω від 0 до π/h і в комплексній площині будують годограф вектора $R(e^{j\omega h})$.

Цифрова система стійка, якщо при зміні ω від 0 до $\omega_0/2$, ($\omega_0 = 2\pi h^{-1}$) характеристичний вектор $R(e^{j\omega h})$ починається на дійсній додатній піввісі і повертається проти годинникової стрілки на кут $n\pi$ (поспідовно проходить проти годинникової стрілки $2n$ квадрантів), де n – порядок характеристичного полінома.

Для дослідження цифрової системи на стійкість за допомогою *критерію Найквіста* необхідно визначити передавальну функцію розімкненої системи:

$$K(z) = W_F(z)H(z) = Q_1(z)/R_1(z).$$

Характеристичне рівняння розімкненої системи $R_1(z) = 0$, має корені, які можуть лежати всередині одиничного кола, на колі одиничного радіуса і поза ним.

У відповідності з таким розміщенням коренів розімкнута система може бути стійкою, нестійкою або нейтральною.

Розімкнена система стійка. Якщо система стійка в розімкненому стані, то вона буде стійкою і в замкненому стані, коли при зміні частоти від 0 до $\omega_0/2$ годограф $K(e^{j\omega h})$ не охоплює точку з координатами $(-1, j0)$.

Розімкнена система нестійка. Допустимо, що передавальна функція $K(z)$ має q полюсів, які розміщені всередині одиничного кола; решта q_1 полюсів лежить поза одиничним колом ($q + q_1 = N$); N - порядок полінома.

В такому випадку можна рекомендувати такий порядок дій для аналізу стійкості замкнутої системи.

- Визначення передавальної функції розімкненої системи.
- Побудова годографа $K(e^{j\omega h})$ розімкненої системи для діапазону частот $-\omega_0/2 \leq \omega \leq \omega_0/2$.
- Підрахувати число обертів годографа навколо точки $(-1, j0)$.

Замкнена система буде стійкою, якщо число обертів годографа $K(e^{j\omega h})$ проти годинникової стрілки буде рівне $q_1 = N - q$.

Система нейтральна в розімкненому стані. В цьому випадку один або декілька полюсів передавальної функції $K(z)$ лежать на колі одиничного радіуса. В такому разі їх можна обійти і віднести до одиничного кола. Такий обхід здійснюється проти годинникової стрілки по колу нескінченно малого радіуса на площині z . Цьому обходу відповідає поворот годографа $K(e^{j\omega h})$ за годинниковою стрілкою на кут q_2/π на площині $K(e^{j\omega h})$, де q_2 - кількість полюсів, розміщених на одиничному колі.

Таке віднесення полюсів передавальної функції $K(z)$ розімкненої системи до одиничного круга дозволяє звести дослідження стійкості замкнутої системи до першого або другого випадку. Оскільки годограф $K(e^{j\omega h})$ розімкненої системи симетричний відносно дійсної осі, то немає необхідності обчислювати $K(e^{j\omega h})$, для діапазону частот $[-\omega_0/2, 0]$. Досить побудувати $K(e^{j\omega h})$, для додатного інтервалу частот $[0, \omega_0/2]$, а потім для від'ємного інтервалу взяти $K(e^{-j\omega h})$, як дзеркальне відображення додатної величини $K(e^{j\omega h})$.

Потрібно пам'ятати, що годограф $K(e^{j\omega h})$, доповнюється в нескінченності дугою, яка утворена обертом нескінченно великого радіуса на кут $\frac{s\pi}{2}$ за годинниковою стрілкою.

3.7. Побудова перехідного процесу в замкненій ЦАСК

Знаючи передавальну функцію замкнутої системи $W(z)$ можна записати рівняння даної системи відносно z у вигляді:

$$X(z) = W(z)G(z). \quad (3.33)$$

На основі теореми згортки одержимо рівняння відносно оригінала:

$$X(kh) = \sum_{i=0}^k W(ih)g(k-i)h = \sum_{i=0}^k W(k-i)hg(ih). \quad (3.34)$$

Дане рівняння визначає процеси в замкненій системі при довільному зовнішньому впливі $g(kh)$.

Величина $W(ih)$ визначає реакцію системи на короткочасний зовнішній вплив:

$$g(kh) = \begin{cases} 1, & k = 0 \\ 0, & k > 0 \end{cases} \Rightarrow X(kh) = W(kh), \quad X(kh) = W(kh). \quad (3.35)$$

Функція $X(kh)$ є часовою характеристикою цифрової системи.

На відміну від неперервних, в цифровій системах існує можливість визначення часової характеристики безпосередньо через коефіцієнти передавальної функції.

Запишемо передавальну функцію $K(z) = W_F(z)H(z)$ розімкненої системи у вигляді відношення поліномів: $K(z) = \frac{Q(z)}{R(z)}$. (3.36)

Відповідно до формули (3.15): $W(z) = \frac{Q(z)}{R(z) + Q(z)}$. (3.37)

Тобто порядок полінома $R(z) + Q(z)$ знаменника визначає порядок полінома $R(z)$, а порядок полінома чисельника - $Q(z)$.

Нехай порядок полінома $R(z) - n_1$. Тоді відповідно до (3.17):

$$W_F(z) = \sum_{i=1}^n d(p_i) \frac{1 - e^{hp_i}}{z - e^{hp_i}},$$

де, $d(p_i) = -\frac{S(p_i)}{p_i R'(p_i)}$.

Праву частину отриманого виразу зведемо до спільного знаменника

$$W_F(z) = \frac{d(p_1) \prod_{S=2}^n (z - e^{p_s h}) + d(p_2) \prod_{S=1, S \neq 2}^n (z - e^{p_s h}) + \dots + d(p_n) \prod_{S=1, S \neq n}^n (z - e^{p_s h})}{\prod_{i=1}^n (z - e^{p_s h})} =$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n d(p_i) \prod_{S=1, S \neq i}^n (z - e^{p_s h})}{\prod_{i=1}^n (z - e^{p_s h})}.$$

Звідси виходить, що порядок полінома чисельника на одиницю менший полінома знаменника, тобто $m = n - 1$.

Розглянемо передавальну функцію регулятора

Із формули (3.24) маємо: $H(z) = \frac{C_1 h z(z-1) + C_0 h^2 z^2 + C_2 (z-1)^2}{h z(z-1)},$

тобто порядки полінома чисельника і знаменника однакові і рівні 2. Отже порядок полінома $Q(z)$:

$$m_q = n - 1 + 2 = n + 1,$$

а порядок полінома $R(z)$ дорівнює $n_q = n + 2$.

Таким чином, для цифрових лінійних одноконтурних систем передавальна функція замкненої системи може бути представлена як відношення двох поліномів, порядок яких $(n_q - 1), n_q$ відповідно:

$$W(z) = \frac{b_1 z^{n_q-1} + b_2 z^{n_q-2} + \dots + b n_q}{a_0 z^{n_q} + a_1 z^{n_q-1} + \dots + a n_q}.$$

Переходячи до дискретного перетворення Лапласа шляхом підстановки

$$z = e^{ph}$$

отримуємо:

$$W^*(p) = \frac{b_1 e^{p(n_{q-1})h} + b_2 e^{p(n_{q-2})h} + \dots + b_{n_q} e^{-n_q ph}}{a_0 + a_1 e^{-ph} + a_2 e^{-2ph} + \dots + a_{n_q} e^{-n_q ph}} = \frac{\sum_{s=1}^{n_q} b_s e^{-psh}}{\sum_{i=0}^{n_q} a_i e^{-pih}} . \quad (3.18)$$

Але передавальна функція і часова характеристика пов'язані між собою дискретним перетворенням Лапласа:

$$W^*(p) = D\{w(kh)\} = \sum_{k=0}^{\infty} w(kh) e^{-pkh} \quad (3.19)$$

Співставляючи формули (3.18) і (3.19), приходимо до висновку, що:

$$\frac{\sum_{s=1}^{n_q} b_s e^{-psh}}{\sum_{i=0}^{n_q} a_i e^{-pih}} = \sum_{k=0}^{\infty} w(kh) e^{-pkh} . \quad (3.20)$$

У виразі (3.20) звільнимось від знаменника:

$$\sum_{s=1}^{n_q} b_s e^{-psh} = \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{i=0}^{n_q} a_i w(kh) e^{-p(k+i)h} ,$$

і перейдемо до нового індекса суми $l = k + i$. Тоді $k = l - i$, а границі зміни індекса l суми матимуть вигляд $[i, \infty]$:

$$\sum_{s=1}^{n_q} b_s e^{-psh} = \sum_{l=i}^{\infty} \sum_{i=0}^{n_q} a_i w(l-i) e^{-plh} .$$

Оскільки при $l < i$ $w(l-i) \equiv 0$, можна записати:

$$\sum_{s=1}^{n_q} b_s e^{-psh} = \sum_{l=0}^{\infty} \left\{ \sum_{i=0}^{n_q} a_i w(l-i) e^{-plh} \right\} . \quad (3.21)$$

Представимо формулу (3.21) у розгорнутому вигляді:

$$\begin{aligned}
& b_1 e^{-ph} + b_2 e^{-2ph} + \dots + b_s e^{-sph} + \dots + b_{n_g} e^{-pn_q h} = \\
& = \sum_{l=0}^{\infty} e^{-plh} \{ a_0 w(lh) + a_1 w((l-1)h) + \dots + a_l w((l-i)h) + \dots + a_{n_q} w((l-n_q)h) \} = a_0 \{ w(0) + w(h)e^{-ph} + \dots \} + \\
& + \dots + a_1 \{ w(0)e^{-ph} + w(h)e^{-2ph} + \dots + w((l-1)h)e^{-plh} \} + \dots + a_l \{ w(0)e^{-phl} + \dots + w((n_q-1)h)e^{-pn_q h} \} + \\
& + \dots + a_i \{ w(0)e^{-pih} \} = a_0 w(0) + [a_0 w(h) + a_1 w(0)] e^{-ph} + \dots + [a_0 w(n_q h) + a_1 w(n_q-1)h + \dots \\
& + \dots + a_1 w(n_q-i)h + \dots + a_{n_g} w(0)] e^{-pn_q h}.
\end{aligned}$$

Порівнюючи коефіцієнти при однакових степенях знаходимо:

$$b_1 = a_0 w(h) + a_1 w(0),$$

.....

$$b_l = a_0 w(lh) + a_1 w((l-1)h) + \dots + a_{l-1} w(h) + a_l w(0),$$

.....

$$b_{n_q} = a_0 w(n_q h) + a_1 w((n_q-1)h) + \dots + a_{n_q-1} w(h) + a_{n_q} w(0).$$

Для реальних систем $w(0) = 0$. Тобто:

$$b_1 = a_0 w(h),$$

.....

$$b_l = a_0 w(lh) + a_1 w((l-1)h) + \dots + a_{l-1} w(h),$$

.....

$$b_{n_q} = a_0 w(n_q h) + a_1 w((n_q-1)h) + \dots + a_{n_q-1} w(h),$$

(3.22)

$$b_s = \sum_{i=0}^s a_s w((s-i)h), s = 1, n_q - 1.$$

Отримане рівняння (3.22) дає можливість послідовно визначати

$w(h), w(2h), \dots, w(kh)$.

Для $S = 1, i$ будемо мати:

$$b_1 = a_0 w(h),$$

$$b_2 = a_0 w(2h) + a_1 w(h),$$

$$b_3 = a_0 w(3h) + a_1 w(2h),$$

.....

$$b_i = a_0 w(ih) + a_1 w((i-1)h) + \dots + a_{i-1} w(h).$$

Звідси рекурентно обчислюємо:

$$w(2h) = a_0^{-1}[b_2 - a_1 w(h)],$$

$$w(3h) = a_0^{-1}[b_3 - a_1 w(2h) - a_2 w(h)],$$

.....

$$w(ih) = a_0^{-1}[b_i - a_1 w((i-1)h) - a_2 w((i-2)h) - \dots - a_{i-1} w(h)].$$

На основі одержаних співвідношень знаходимо рекурентний вираз для обчислення $w(kh)$

$$w(kh) = a_0^{-1}[b_k - \sum_{i=1}^{k-1} a_i w((k-i)h)],$$

(3.23)

де, $K = \overline{1, n_q}$ $w(0) = 0$ і $b_k \equiv 0$ при $k > n_q$.

Це співвідношення дає можливість вирахувати $w(kh)$ по коефіцієнтах передавальної функції $W(z)$ і попередніх значеннях часової характеристики $w(kh)$.

Якщо до системи прикладено довільний зовнішній вплив $g(ih)$, то вихідна величина визначається виразом (3.34).

У випадку, коли зовнішній вплив постійний:

$$g(ih) = \begin{cases} 1 & \text{при } i \geq 0, \\ 0 & \text{при } i < 0. \end{cases}$$

Одержимо:

$$x(kh) = \sum_{i=0}^k w(ih), \quad k = 0, 1, 2, \dots, n \quad (3.24)$$

Таким чином, щоб визначити реакцію системи на одиничний ступінчатий вплив, необхідно по формулі (3.23) вирахувати k значень $w(kh)$, $k = 0, 1, 2, \dots, n$, а потім, просумувавши їх згідно з (3.23), визначити $x(kh)$.

3.8. Оцінка якості ЦАСК

Якість цифрових систем керування характеризують такими самими показниками, як і якість неперервних систем: тривалістю і перегулюванням перехідного процесу, точністю в усталеному режимі.

Тривалість і перегулювання оцінюють безпосередньо по перехідній характеристиці (рис.3.5).

Тривалість (час регулювання) k_0h перехідного процесу – це інтервал часу від моменту прикладання ступінчатого впливу до моменту, для якого відхилення керованої величини $x(kh)$ від її нового усталеного значення стає меншим деякого наперед заданого числа δ_p , тобто до моменту, після якого виконується умова:

$$|x(k_0h) - x(\infty)| \leq \delta_p. \quad (3.25)$$

Перегулювання σ_n % визначається як відношення першого максимального відхилення керованої змінної від її усталеного значення до цього усталеного значення:

$$\sigma_n = \frac{x_m(kh) - x(\infty)}{x(\infty)} \cdot 100\%. \quad (3.26)$$

Точність імпульсної системи оцінюють за усталеним значенням сигналу похибки:

$$\varepsilon(\infty) = \lim_{k \rightarrow \infty} \varepsilon(kh).$$

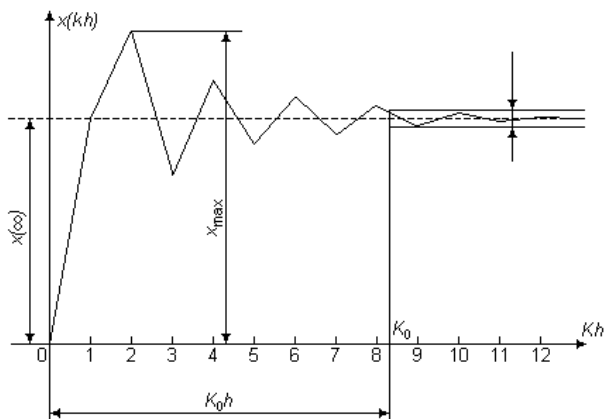


Рис.3.5. Перехідний процес в ЦАСК

Відповідно до теореми про кінцеве значення оригінала:

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \varepsilon(kh) = z^{-1}(z-1)E(z),$$

де,
$$E(z) = (1 + K(z))^{-1}G(z).$$

Якщо одиничний ступінчатий вплив, то:

$$G(z) = Z\{g(kh)\} = \frac{z}{z-1}i$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} \varepsilon(kh) = \lim_{z \rightarrow 1} (1 + K(z))^{-1} = (1 + K(1))^{-1}. \quad (3.27)$$

Звідси видно, що при одиничному ступінчатому впливі похибка керування дорівнює нулю, якщо передавальна функція $K(z)$ розімкненої системи має хоча би один полюс, рівний одиниці.

3.9. Алгоритм розрахунку ЦАСК

3.9.1. На основі заданих викладачем вихідних даних про експериментальні дослідження динаміки керованого об'єкта визначити передавальну функцію і її параметри.

3.9.2. Для заданого алгоритму керування розрахувати параметри налаштування регулятора.

3.9.3. Вибрати період квантування h , виходячи із рекомендацій.

3.9.4. Вибрати розрядність АЦ- і ЦА- перетворювачів і вирахувати K_c за формулою (3.6). Визначити $H(z) = \tilde{H}(z)K_y$.

3.9.5. Відповідно до алгоритмічної структурної схеми ЦАСК визначити передавальні функції розімкненої:

$$K(z) = W_F(z)H(z)$$

і замкненої системи:

$$W(z) = K(z)(1 + K(z))^{-1}$$

де, $W_F(z)$ визначають за формулами (3.18) або (3.19).

Передавальну функцію регулятора $\tilde{H}(z)$ вибирають, виходячи із заданого алгоритму керування, на основі формул (3.24) – (3.27).

3.9.6. Дослідити якість замкненої ЦАСК. Критерій стійкості задається викладачем. Методичні рекомендації з дослідження стійкості замкненої ЦАСК за заданим критерієм стійкості приведені в розділі 3.6.

3.9.7. Побудувати перехідний процес в замкненій ЦАСК, використовуючи рекурентне співвідношення (3.23) і формулу (3.24).

3.9.8. Оцінити якість перехідного процесу, визначивши його показники відповідно до формул (3.25) – (3.27).

Питання для самоконтролю

1. Як відрізняються передавальні функції цифрових АСК від лінійних АСК?

2. Які передавальні функції цифрових алгоритмів керування?

3. З яких умов вибирається період квантування h ?

4. Який математичний апарат використаний для розрахунків ЦАСК?

5. Які критерії стійкості для ЦАСК?

6. Які методи дослідження якості замкненої ЦАСК?

7. Які показники якості визначають по перехідному процесу в замкненій ЦАСК?

Розділ 4. КЕРУЮЧІ АВТОМАТИ

4.1. Подання роботи керуючих автоматів логічними схемами алгоритмів

Подання роботи керуючих автоматів (КА) граф-схемами алгоритмів (ГСА) хоч зручне і наочне, має, однак, і свої недоліки. ГСА займає при записі багато місця і, крім того, непридатна для введення в ЕОМ. Тому поряд із широким використанням ГСА, особливо на перших етапах складання алгоритму, на практиці використовують й інші способи запису роботи КА. До такого способу належить логічна схема алгоритму (ЛСА).

Означення 1. Вираз, складений із керуючих і логічних операторів, які йдуть один за одним, а також певним чином розставлених нумерованих стрілок, називається *логічною схемою алгоритму*.

ЛСА визначає порядок виконання операторів (керуючих і логічних) залежно від логічних умов, що до неї входять. Якщо порядок виконання керуючих операторів в ЛСА строго фіксований, то описуваний алгоритм буде *лінійним*. Якщо порядок виконання керуючих операторів залежить від умов, то такий алгоритм буде *розгалуженим*.

Керуючі оператори визначаються великими літерами латинського алфавіту, наприклад, A, B, C, \dots або однією й тією самою великою літерою, але з різними індексами, наприклад, A_1, A_2, A_3, \dots або A_i $i = 1, 2, 3$. Кількість індексів може дорівнювати двом, наприклад, i, j . Тоді оператор має вигляд A_{ij} .

Логічні оператори визначаються малими літерами x_1, x_2, \dots, x_n і можуть набувати тільки двох значень 1 або 0. Оскільки кожна логічна умова може набувати тільки одного із двох значень 1 або 0, то потрібен символ, який би зазначав подальший порядок виконання операцій. Тому після кожної логічної умови стоїть стрілка, яка має угорі номер. Ця стрілка має початок \uparrow^i і кінець \downarrow_i .

Початок стрілки стоїть безпосередньо справа біля логічної умови, що позначається літерою x_i , або p_i , з індексом унизу. Її номер, що стоїть безпосередньо над стрілкою справа та її напрямок показує, куди повинно бути передане керування алгоритмом у разі, якщо логічна умова $x_i = 0$. Кінець стрілки, що має також над собою справа номер, показує оператор, якому має бути у цьому випадку передане керування. Цей оператор стоїть відразу після кінця стрілки справа. Якщо $x_i = 1$, то після логічної умови виконується оператор, який стоїть поряд справа. Це може бути або керуючий оператор, або логічна умова.

Логічні схеми алгоритмів задовольняють такі умови:

1. Містить один початковий і один кінцевий оператор, які не мають перед собою і після себе стрілок.

2. Після кожної логічної умови стоїть початок стрілки \uparrow^i .

3. Не може бути двох і більше початків і кінців стрілок з однаковими індексами.

4. Для кожного кінця стрілки \downarrow_i повинен бути хоча б один початок стрілки \uparrow^i .

5. Для кожного початку стрілки \uparrow^i повинен бути відповідно один кінець стрілки \downarrow_i .

Серед логічних операторів може бути оператор ω , який не потребує перевірки логічної умови. Це безумовний оператор. Він передає виконання операції оператору, номер якого i зазначений над податком стрілки \uparrow^i . Робота алгоритму починається з того, що виконується самий лівий оператор ЛСА. Після нього визначається подальший справа оператор. Якщо це керуючий оператор, то здійснюється його виконання. Якщо це логічний оператор, то можливі два випадки:

1. Логічна умова має одиничне значення. У цьому випадку виконується оператор, що стоїть справа поряд.

2. Логічна умова дорівнює нулю. Виконується оператор, на який показує стрілка, що починається для даної умови.

Робота ЛСА закінчується, коли останній із операторів, що виконується, містить вказівку про зупинення роботи алгоритму або коли на деякому етапі не виявляється оператор ЛСА, який мав би виконуватись.

Таким чином, порядок виконання операторів в ЛСА визначається послідовністю їх розміщення у виразі, а також розподілом нумерованих стрілок логічних умов, що входять до неї.

Приклад 1. Дана частина ЛСА

$$\downarrow^2 A p_1 \uparrow^1 B \downarrow^1 p_2 \uparrow^2 C.$$

Потрібно зазначити порядок виконання операторів.

Розв'язування.

1. Якщо $p_1 = 0, p_2 = 0$, то буде генеруватись послідовність, яка складається з літери A : AA, \dots, A .
2. Якщо $p_1 = 0, p_2 = 1$, то генерується послідовність, яка складається з двох літер A і C : AC .
3. Якщо $p_1 = 0, p_2 = 0$, то генеруються послідовності, що складаються з двох літер A і B : $AB, AB, \dots AB$.
4. Якщо $p_1 = 1, p_2 = 1$, то генерується послідовність ABC .

Приклад 2. Дана ЛСА

$$A \downarrow^1 B p \uparrow^2 C \omega \uparrow^1 \downarrow^2 D$$

для якої $p = 1$. Знайти порядок виконання операторів.

Розв'язування.

Оскільки $p = 1$, а ω завжди передає керування за стрілкою, що стоїть біля неї справа, то перша послідовність, яка генерується, буде ABC , а подальші — $BC, BC, \dots BC$.

Приклад 3. Із операторів A_0, A_1, A_2, A_3 і логічних умов x_1 і x_2 складена ЛСА

$$A_0 x_1 \uparrow \downarrow^2 A_1 \downarrow^1 A_2 x_2 \uparrow^2 A_k$$

де, A_0 - оператор початку;

A_k — оператор кінця.

Визначити послідовності ЛСА, які генеруються.

Розв'язування.

1. Якщо $x_1 = 0, x_2 = 0$, то генеруються послідовності $A_0 A_1 A_2 A_3, A_1 A_2, A_1 A_2, \dots, A_1 A_2$.

2. Якщо $x_1 = 0, x_2 = 1$, то генерується послідовність $A_0 A_2 A_k$

3. Якщо $x_1 = 1, x_2 = 0$, то генеруються послідовності $A_0 A_1 A_2, A_1 A_2, \dots, A_1 A_2$.

4. Якщо $x_1 = 1, x_2 = 1$, то генерується послідовність $A_0 A_1 A_2 A_k$

Виділення початкового оператора A_0 і кінцевого A_k в ЛСА на відміну від ГСА не обов'язкове. За їх відсутності початковим вважають крайній лівий оператор, а кінцевим — останній.

4.2. Взаємні перетворення між граф-схемами і логічними схемами алгоритмів

4.2.1. Побудова ЛСА за заданою ГСА

Як уже зазначалося вище, граф-схема алгоритму (ГСА) відрізняється наочністю та зручністю подання, однак займає для свого зображення надто багато місця і непридатна для введення в ЕОМ. У той самий час логічна схема алгоритму (ЛСА) подається компактно у вигляді рядка, який складається з операторів, що послідовно виконуються, і тому зручна для кодування і запису в ЕОМ. Тому часто після подання керуючого алгоритму у вигляді ГСА потрібно його перетворення в ЛСА.

Алгоритм такого перетворення містить такі пункти:

1. За заданою ГСА визначається початковий оператор A_0 , що відповідає початковій вершині ГСА. Він ставиться на початку рядка для ЛСА.

2. У ГСА завжди є вершина, вхід якої з'єднаний з виходом початкової вершини. Якщо ця вершина має один вхід, то у рядок після оператора «Початок» необхідно записати оператор цієї вершини. Якщо ж вершина, з'єднана з оператором «Початок», має більше одного входу, то справа від оператора «Початок» необхідно поставити кінець стрілки із номером, а справа від неї — наступний за порядком оператор, який виконується після оператора «Початок».

3. Якщо вершина є керуючою, то вона має один вихід і її треба з'єднати з наступною вершиною відповідно до пункту 2.

4. Якщо ж вершина логічна, то після запису умовного оператора треба поставити після нього початок стрілки з індексом. Цей індекс може збігатися з індексом кінця стрілки, що стоїть після оператора «Початок», якщо існує зв'язок від нульового виходу умовного оператора до другої вершини, або він може відрізнятися від раніше введеного індексу.

5. Для третьої і наступних вершин ГСА послідовно виконуються пункти 3 і 4 з тією різницею, що замість оператора «Початок» йдуть інші вершини доти, доки не будуть проаналізовані усі вершини ГСА. Кінець.

Для перевірки правильності побудови ЛСА треба розв'язати зворотну задачу переходу від ЛСА до ГСА.

Питання для самоконтролю

1. Наведіть означення логічної схеми алгоритму (ЛСА).
2. Які правила побудови логічної схеми алгоритму (ЛСА)?
3. Які правила роботи логічної схеми алгоритму (ЛСА)?
4. Що собою являє граф-схема алгоритму (ГСА)?
5. Які пункти містить алгоритм перетворення ГСА в ЛСА?

4.3. Синтез схеми керування на основі циклограми процесу

Приклад 1

Припустимо, що умови роботи керуючого пристрою задані циклограмою на рис.3.1. Потрібно одержати логічні формули її роботи і функціональну схему системи керування.

Розв'язування. Відповідно до цієї циклограми умовою ввімкнення виконавчого елемента X є відсутність сигналу a , тобто функція ввімкнення

$$F_{\text{ввімк}} = \bar{a}, \text{ а умовою вимкнення — наявність сигналу } b: F_{\text{вимк}} = b$$

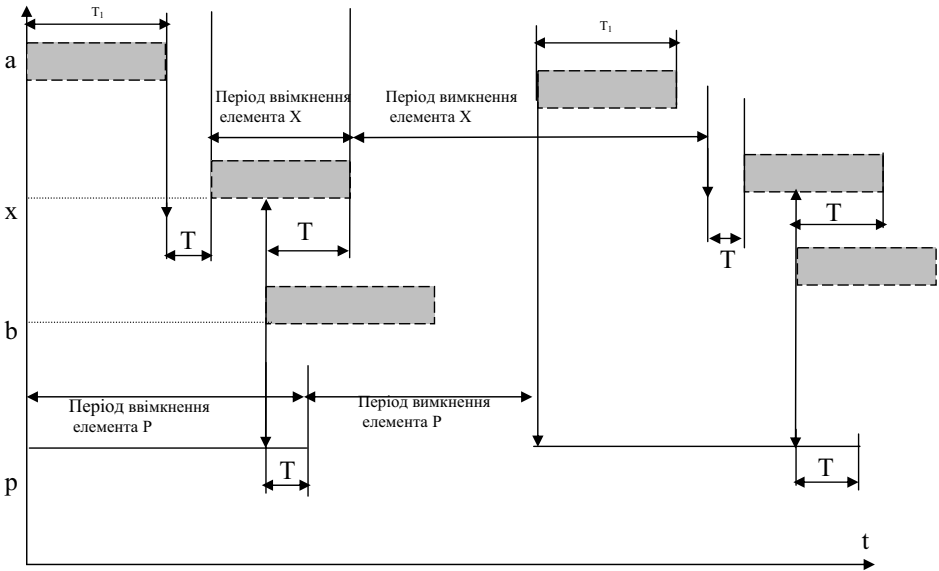


Рис.4.1. Циклограма роботи керуючого пристрою

Таким чином, початкове можна вважати, що виконавчий елемент X увімкнений протягом часу, поки існує логічний добуток $\bar{a}b$ плюс затримка T_3 на вимкнення.

Однак при зміні сигналу x у частині періоду вимкнення, як зображено на рис.3.1, з'явиться добуток $\bar{a}b$ і, як наслідок, здійсниться небажане ввімкнення елементу X . Щоб запобігти цьому, необхідно ввести проміжний елемент P , сигнал p якого діяв би від появи сигналу a до появи сигналу b і потім зникав.

Логічна формула елементу X , що враховує сигнал p з проміжного елементу X , має вигляд:

$$X = \bar{a}bp.$$

Оскільки у частині періоду вимкнення елементу X сигнал p дорівнює нулю, то $X = \bar{a}bp = 0 \cdot 0 \cdot 0 = 1 \cdot 1 \cdot 0 = 0$. Таким чином, шкідливе помилкове ввімкнення елементу X виключається. Разом з тим для періоду ввімкнення, коли $a = 0, b = 0, p = 1, X = \bar{a}bp = 0 \cdot 0 \cdot 1 = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$.

Оскільки елемент P вмикається з початком сигналу a , який через час T_1 зникає, то для підтримки елементу P у ввімкненому стані йому потрібне самотримування. Відповідна логічна формула для проміжного елементу P набуде вигляду: $P = (a \pm p)b$.

Вираз $(a \pm p)$ означає процедуру самотримування - підтримку ввімкненим проміжного елементу P до появи сигналу, що його скидає, $b = 1$, тобто $b = 0$.

Самотримування допоміжного елементу P припускає наявність запам'ятовувального пристрою, наприклад, тригера типу RS, на одиничному виході якого формується сигнал p (рис 2).

Звернемо увагу на те, що в логічних схемах елементів, що самотримуються, є три рознесених у часі сигнали: перший — це сигнал, який блокується, другий — це сигнал, що відміняє блокування — скидаючий сигнал, третій — сигнал, який з'являється на виході схеми після її блокування.

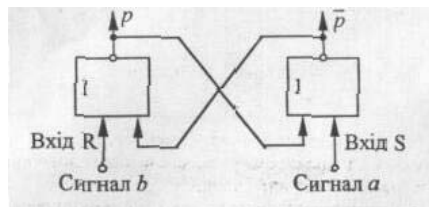


Рис. 4.2. Допоміжний елемент P на RS-тригері, що самоблокується

Сигнал a , що дорівнює 1, надходить на вхід S і встановлює RS - тригер в одиничний стан. У цьому стані із прямого виходу тригера буде зніматись сигнал $p = 1$, який за зворотним зв'язком підтверджує одиничний стан тригера необмежено тривалий час і після зникнення сигналу a . Надходження сигналу b , що дорівнює 1, на вхід R тригера скидає його у початковий нульовий стан, що призводить до появи сигналу $p = 0$ замість $p = 1$.

Умовно допоміжний елемент P, що самоблокується, буде зображатись у подальшому так, як це показано на рис. 3.3.

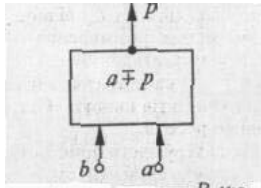


Рис. 4.3 Допоміжний елемент P, що самоблокується

Допоміжний елемент P, що самоблокується, може бути реалізований також за допомогою електромагнітного реле із двома пружинними кнопками «Пуск» і «Скид» та контактної пари, яка замикає під час спрацьовування електромагніту R при натисненні кнопки «Пуск».

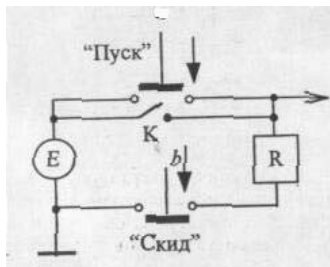


Рис. 4.4. Допоміжний елемент P, що самоблокується, на електромагнітному реле

У початковому стані контактна пара R і кнопка «Пуск» розімкнені, а кнопка «Скид» замикає свої контакти. При натисненні кнопки «Пуск», що є дією

сигналу a , її контакти замикаються і напруга E від джерела живлення вмикає електромагнітне реле K . У результаті цієї дії замикається контактна пара K і напруга E надходить на реле, минаючи кнопку «Пуск», тим самим здійснюючи її.

4.4.Програма виконання практичних завдань

4.4.1. На основі заданих викладачем циклограм процесів вивчити означення циклограми процесу та її переваги.

4.4.2. Опанувати правила побудови циклограм.

4.4.3. Вивчити питання самоблокування в схемах керування.

4.4.4. Скласти функціональну схему керуючої системи.

4.4.5. Скласти логічну схему системи керування.

Список рекомендованої літератури

1. *О.А.Борисенко* Керуючі системи. - Київ: Центр навчальної літератури, 2004.
2. *М.З.Згуровський, І.І.Коваленко, В.М.Михайленко* Вступ до комп'ютерних інформаційних технологій. – Київ: Європейський університет, 2003.
3. *Н.Б.Чорней, Р.К.Чорней.* Теорія систем і системний аналіз. - МАУП, 2005.
4. *В.С.Пономаренко, О.І.Пушкарь та ін.* Проектування інформаційних систем. – Київ: Видавничий центр "Академія", 2002
5. *Бойченко Е.В.* Методы схемотехнического проектирования распределенных информационно - вычислительных микропроцессорных сетей./Под ред. Е.Т. Дормачева - М. :Энергоиздат, 1988. - 128 с., ил.
6. *Смирнов Ю.М., Воробьев Г.Н. и др.* Проектирование специализированных информационно-вычислительных систем: Учебное пособие по спецЭВМ и АСУ -М.: Высш.шк., 1984. - 359 с.

7. *Хетагуров Я. А., Дреус Ю. Г.* Проектирование информационно-вычислительных комплексов : Учебник для вузов. М.: Высш. шк., 1987. - 280 с.
8. *Абель П.* Язык Ассемблера для IBM PC и программирования / Пер. с англ. Ю.В.Сальникова. -М.: Высш. шк.,1992. - 442 с.: ил
9. *Вершинин О.Е.* Применение микропроцессоров для автоматизации технологических процессов. Л.:Энергоатомиздат,1986. - 208с.
- 10.*Куропаткин П.В.* Теория автоматического управления: Учебное пособие: М.: Высш.шк., 1973. - 528 с.
- 11.*Семенов Г.Н., Аверкієва В.В., Телишева Т.О., Бербець Т.О.,* Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Теорія автоматичного керування”. Івано-Франківськ: Видавництво ІФДТУНГ, 1996. - 63с
- 12.*Платунов А.Е.* Комп’ютерні інформаційні керуючі системи: конспект лекцій. - <http://embedded.ifmo.ru>
- 13.*Тимофеев П.А., Дубровин В.С.,Петровский В.С.* Микро-ЭВМ в системах управления оборудованием. - М.: Высш.шк.,1988. - 127 с.
- 14.*Михайлов В.С.* Теорія керування. - К.: Вища школа, 1988.
- 15.*Мирошник И.В.* Теорія автоматичного керування. Лінійні системи: Навчальний посібник для вузів. - Спб.: Питер, 2005. - 336 с.
- 16.*Орлів А.И.* Менеджмент: Підручник. – М.: "Смарагд", 2003. - URL: <http://www.aup.ru/books/m151/>
- 17.*Туманів М.П.* Технічні засоби автоматизації й керування: Навчальний посібник. – М.: МГИЭМ, 2005, 71 с. - URL: <http://rs16tl.rapidshare.com/files/21651582/2889232/>

Навчально-методичне видання

Тшлишева Тамара Олексіївна
Єфанов Сергій Олексійович

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.
ТЕОРІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ**

Навчально-методичний посібник
для студентів IV курсу
спеціалізації 6.092507.01 «Комп'ютерні інформаційно-керуючі системи
на залізничному транспорті»
денної та заочної форм навчання

Редактор: Заdernовська Ю. В.

Верстка: Андрієнка В. О.

Підписано до друку 03.04.09. Формат паперу 60x84/16. Папір офсетний.
Друк – ризограф. Наклад 50 прим. Зам. № 150-09.
Надруковано в Редакційно-видавничому центрі ДЕУТ.
Свідоцтво про реєстрацію Серія ДК №3079 від 27.12.07 р.
03049, м. Київ-49, вул. Миколи Лукашевича, 19

