

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри АВП
к.т.н., доцент
_____Олександр ДІДИК
«__» _____ 2023 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему
**«Система автоматичного регулювання вологості формо-
вочних сумішей для лиття деталей машин»**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу групи АК-20-3ск
ОПП «Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології»
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»
_____ Андрій ПАНЧЕНКО
«__» _____ 2023 р.

Керівник проекту
доцент, канд.техн.наук
_____Олександр ДІДИК
«__» _____ 2023 р.

Рецензент
_____Петро ПЛЄШКОВ
«__» _____ 2023 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів
Рівень вищої освіти бакалавр
Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Дідик О.К.

“ ” _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Панченка Андрія Петровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Система автоматичного регулювання вологості формовочних сумішей для лиття деталей машин
- Керівник роботи Дідик Олександр Костянтинович, канд. техн. наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- Строк подання студентом роботи до захисту 31.05.2023 р.
- Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи Розробити систему автоматичного регулювання вологості формовочних сумішей для лиття деталей машин. 1. Автоматизація приготування формовочних сумішей; 2. Визначення характеристик систем автоматичного керування; 3. Синтез цифрового регулятора; 4. Розробка схеми програмної реалізації дискретного коректуючого пристрою 5. Розробка схеми цифрового регулятора.
- Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Автоматизація приготування формовочних сумішей</i>	15.04.23	
2.	<i>Визначення характеристик систем автоматичного керування</i>	30.04.23	
3.	<i>Синтез цифрового регулятора</i>	15.05.23	
4.	<i>Розробка схеми цифрового регулятора</i>	25.05.23	

Дата видачі завдання _____

Керівник роботи _____ О.К. Дідик « ____ » _____ 2023 р.

Завдання прийнято до виконання

Здобувач _____ А.П. Панченко « ____ » _____ 2023 р.

Анотація

Випускню кваліфікаційну роботу присвячено проблемі стабілізації вологості формовочних сумішей при виробництві деталей сільськогосподарських машин. В роботі виконано ідентифікацію вологості суміші в змішувачі як об'єкта управління та визначена його передаточна функція. Розроблена структурна схема цифрової системи автоматичного керування, обрані необхідні елементи та визначені їх передаточні функції. Проведений синтез цифрового регулятора методом побудови бажаної логарифмічної амплітудо-частотної характеристики ЦСАК. Розроблена схема програмної реалізації дискретного коректуючого пристрою та принципова електрична схема цифрового регулятора на базі мікроконтролера з відповідними пристроями вводу та виводу інформації, для підключення датчика та управлінням виконавчим механізмом.

Summary

Final qualification work is devoted to the problem of stabilizing the humidity of molding mixes in the production of parts of agricultural machines. In this work, the moisture content of the mixture in the mixer was identified as an object of control and its transfer function was determined. The structural scheme of the digital automatic control system is developed, the necessary elements are selected and their transfer functions are determined. The synthesis of the digital controller by the method of constructing the desired logarithmic amplitude-frequency characteristic of the DACS is carried out. The scheme of program realization of discrete correcting device and circuit diagram of digital controller based on microcontroller devices with corresponding input and output information to connect sensor and actuator control.

Зміст

Вступ.....	2
1 Автоматизація приготування формовочних сумішей.....	4
1.1. Технологічний процес приготування формовочних сумішей автоматичного приготування.....	4
1.2 Методи контролю і регулювання формовочної суміші в процесі її автоматичного приготування.....	8
2 Визначення характеристик систем автоматичного керування	10
2.1 Ідентифікація вологості як об'єкта керування	10
2.2 Розробка структурної схеми цифрової системи автоматичного керування	20
3 Синтез цифрового регулятора	22
3.1 Визначення періоду дискретизації.....	22
3.2 Визначення дискретної передаточної функції зведеної неперервної частини ЦСАК.....	25
3.3 Визначення частотної передаточної функції ЗНЧ ЦСАК	29
3.4 Побудова бажаної ЛАЧХ ЦСАК	31
3.5 Визначення дискретної передаточної функції КМЕОМ	36
3.6 Розробка схеми програмної реалізації дискретного коректуючого пристрою	38
3.7 Побудова перехідного процесу	39
4 Розробка схеми цифрового регулятора	41
4.1 Розробка структурної схеми регулятора	41
4.2 Формування шин мікропроцесорної системи.....	44
4.3 Проектування селектору адреси.....	45
4.4 Пристрої сполучення МП з неперервною частиною системи керування	47
Висновки	49
Список літератури.....	50

Вступ

Суміші, що використовуються в ливарних цехах для виготовлення форм складаються із зернових, пилоподібних і рідких компонентів. Для певного виду відливань і відповідного технологічного процесу на основі попереднього досвіду підбирають компоненти формувальних сумішей. Підбором не можна вибрати оптимальний склад суміші, тому брак відливань пов'язаних із складом формувальних сумішей доходить до 40-70% від загального браку. При досвідченому підборі суміші і подальшому тривалому її використанні встановлюються певні кількісні співвідношення між фізико-механічними властивостями цієї суміші. Ці співвідношення фіксуються в технічних умовах на суміш. Відхилення від встановлених фізико-механічних властивостей суміші розглядаються як потенційні причини появи браку відливань. На жаль, ні в одному ливарному цеху не ведеться належним чином систематичний аналіз браку з вини формувальних матеріалів і сумішей, і допустимі відхилення призначаються технологами без достатніх підстав.

В більшості випадків ливарники, видаючи завдання на проектування систем автоматичного контролю і регулювання (САКР), не можуть сформулювавши вимог, які повинні бути пред'явлені до цих систем відносно необхідної точності визначення або підтримки того або іншого параметра.

Вологість формовочної суміші являється досить впливовим фактором на такі якісні показники суміші як формованість, газопроникність, тощо. Наприклад формованість суміші виявляється найбільш чутливою до зміни зволоження суміші. У інтервалі зволоження 0,2-0,3% формованість змінюється від 80 до 20, тобто в 4 рази.

В роботах Ф. Хофмана рекомендується встановлена дослідним шляхом вологість 3,5%, що дещо перевищує оптимальну вологість, що забезпечує максимальну міцність суміші у вологому стані на стиснення і

відповідну значенню формованості в межах 70-80%, або іншій технологічній властивості, запропонованій цим автором і названому уплотнюємостію.

Тому являється необхідним виконувати автоматичного регулювання вологості в формовочних сумішах, для покращення їх якості.

1 Автоматизація приготування формовочних сумішей

1.1 Технологічний процес приготування формовочних сумішей автоматичного приготування

Кількість формувальних і стрижньових сумішей, споживаних для виготовлення форм змінюється від 3 до 10 т, в середньому рівне 5-6 т на 1 т придатного литва, в залежності від конфігурації відливачів і товщини стінок, що становить близько 50% всіх потоків вантажу ливарного цеху. Тому автоматизація приготування і транспортування сумішей має вельми важливе економічне та технологічне значення для якості сумішей.

Формувальна суміш складається з оборотної, відпрацьованої, тобто вибитої з оков формовочної суміші і освіжуючих добавок, до яких належать - глина або бентоніт, свіжий пісок та інші добавки. Свіжі добавки та відпрацьована суміш повинні бути заздалегідь оброблені перш ніж поступити в основний змішувачий апарат.

Свіжі піски просівають для відділення від них гальки, випадкових забруднень і сторонніх тіл, що потрапили в пісок при видобуванні і під час транспортування. Це просіювання проводиться через одне сито, що має достатньо крупні комірки (3-5 мм крупніше).

У звичайній практиці близько 50% кварцових пісків поступають в ливарні цехи достатньо сухими і добре проходять через сито без попередньої сушки, а інші 50% можуть мати значну вологість, і їх доводиться заздалегідь піддавати сушці. Глинисті (худі, напівжирні і жирні) піски перед просіюванням сушать все, оскільки інакше вони погано проходять через сито.

Кам'яне вугілля, звичайно вживане в якості спеціальної вуглецевої протипригарної добавки у формувальні суміші для чавунного литва при формуванні по сирому, вводять в суміш найчастіше в порошкоподібному, тонко подрібненому вигляді. Глину або бентоніт у формувальні суміші

також вводять переважно в сухому подрібненому стані. При цьому роздрібнення глини, як і вугілля, здійснюють в два ступені - спочатку грубе роздрібнення, або дроблення, а потім тонке роздрібнення, або розмелювання. Для дроблення і розмелювання вугілля і глини в ливарних цехах часто застосовують одне і те ж устаткування.

Глину до розмелювання піддають сушці. Оскільки сира глина нерідко буває і крупних шматках, то перед сушилом її пропускають через зубчаті валення.

Вугілля сушити не можна, оскільки при цьому з легко віддалятимуться летючі речовини і він знеціниться як протипригарна добавка.

Відпрацьована суміш, вибита з сирих форм ливарень на вибивних ґратах, розсипається при проходженні через щілини вибивних ґрат і не потребує попередньої розминки грудок. При вибивці ж сухих форм відпрацьовану суміш після вибивних ґрат слід заздалегідь пропускати через валення для розминки грудок.

В умовах потокового, конвеєрного виробництва відпрацьована формувальна суміш не встигає остигати і приходить у с відділення підготовки суміші з вибивних ґрат з середньою температурою 80-120⁰С, залежно від співвідношення мас метал : форма.

Робоча формувальна суміш, приготована на такій гарячій відпрацьованій суміші, виходить також гарячіше, і виготовлені з неї форми дають підвищений брак відливань через засори унаслідок осипання кромek таких форм. Тому в сучасних ливарних цехах сумішоприготувальні системи для автоматичних і поточкових ліній мають як обов'язкову ланку установку для охолодження відпрацьованої суміші. Робота таких установок звичайно заснована на принципі випарного охолодження. Гаряча відпрацьована суміш піддається в ній попередньому зволоженню і гомогенізації, а потім інтенсивно продувається повітрям. Унаслідок випаровування вологи при

продуванні суміші (за рахунок прихованої теплоти паротворення) суміш швидко охолоджується до температури, близької до кімнатної.

Змішувач є головною технологічною машиною сумішоприготувальної установки. Для спрощення дозування складових частин при подачі в змішувач іноді проводять попереднє змішування в окремому змішувачі і в потрібних пропорціях свіжих формувальних матеріалів: піску, глини і кам'яновугільного пилу.

Одержують так звану освіжну суміш, яка вже і подається в основний змішувач для змішування з відпрацьованою формувальною сумішшю і отримання готової робочої суміші. Застосування освіжної суміші спрощує також систему транспорту, оскільки до головного змішувача подається при цьому тільки одна суміш замість декількох сортів свіжих матеріалів.

Змішування складових частин піщано-глинистих формувальних сумішей звичайно проводиться спочатку протягом деякого часу в сухому стані, а потім в змішувач подається вода, і змішування продовжується вже в зволоженому стані.

При приготуванні піщано-глинистих сумішей вологі кульки суміші, що утворюються, звичайно розминаються в змішувачі, проте частково вони можуть залишитися в масі суміші і після випуску її із змішуючого апарату. Вирівнювання вологості відбувається унаслідок капілярної дії проміжків між частинками суміші протягом певного часу, який буде тим більше, чим дрібніше за частинку суміші.

Оскільки глина має вельми малі частинки, то і час для рівномірного просочення це вологою буде найбільше. Внаслідок цього жирніші піщано-глинисті суміші вимагають відповідно більшого часу для вирівнювання вологості, чим суміші худіші.

Таке вирівнювання вологості готової суміші часто здійснюється у відстійних бункерах. Суміш після приготування її в змішуючому апараті поміщають в бункер, місткість якого розраховується на 1-3 год запаси

суміші. Після відстоювання в бункерах і рівномірного просочення вологою суміш, як показують деякі дані спостережень, володіє більшою міцністю, ніж суміш, тільки що випущена із змішувача.

У сучасних сумішоприготувальних системах, обслуговуючих нові автоматичні лінії, спеціальних бункерів-відстійників, як правило, ні. Проте в них звичайно є достатньо ємкі (80-100 м³) проміжні бункери між змішувачами і наступними за ними агрегатами (розпушувачами), де приготована в змішувачі суміш вилежується не менше 1 год. Взагалі ж слід зазначити, що питання про необхідність відстійних бункерів і самого відстоювання в даний час не знаходить однозначного рішення. Завершальна операція приготування формувальної суміші - аерація, або розпушування, мета якої додати суміші легкість, що покращує однорідність ущільнення форм ливарень, що виготовляються з неї, і їх газопроникність. Після розпушування суміш готова до вживання в передається у витратні бункери над формувальними машинами.

Глину вводять у формувальну суміш в сухому розмолотому вигляді або у вигляді водної суспензії. Для отримання суспензії сирю комкову глину розмішують у воді в лопатовому або катковому змішувачі. Застосовують також потрійні водно-глинисто-вугільні суспензії.

Введення глини у формувальні суміші у вигляді суспензії є доцільним. Перш за все при цьому відпадає необхідності у відстоюванні суміші після змішування, оскільки глина, що вводиться у суміші, знаходячись у водному середовищі суспензії, не потребує додаткового просочення водою. Крім того, якщо суспензію готують з сирі глини, то устаткування для це виготовлення простіше і дешевше за сушильне і дробильно-розмельне устаткування для отримання глини в порошку.

1.2 Методи контролю і регулювання формовочної суміші в процесі її автоматичного приготування

Розглянемо питання про методи контролю і регулювання ступеня зволоження формочних сумішей при їх автоматичному приготуванні в його розвитку.

Система програмного управління циклом змішувачів періодичної дії була розроблена і освоєна в промисловості приблизно до 1950 р. Проте вже на першому етапі експлуатації таких автоматизованих змішувачів з'ясувалося, що доза води па заміс, що передбачається в програмі циклу, потребує оперативного коректування, унаслідок того що відпрацьована суміш, що входить до складу формовочної суміші в значній кількості (до 90%), має в практичних умовах виробництва змінну вологість (за відсутності у той час установок для її гомогенізації і охолодження). Тому починається другий етап розвитку автоматичного сумішоприготувача - розробка і застосування автоматичних пристроїв, компенсуючих змінну платність відпрацьованої суміші, що забезпечують вологість готового замісу в заданих межах. Цей етап зайняв практично все десятиліття 50-х років.

Були розроблені дві системи регулювання вологості: система кінцевого стану (СКС) і система попередньої калькуляції (СПК).

За системою СКС вологість замісу доводиться до заданої за інформацією з датчику, що стежить за вологістю замісу в змішувачі. Для цього вода в чашу поступає по двох трубах - однієї великого і другий малого діаметру. На початку під час зволоження працюють обидві труби. При цьому вологість замісу інтенсивно зростає. Коли вологість суміші підходить до заданого значення труба великого діаметру закривається, і працює лише одна труба малого діаметру, через яку поступає невелика кількість води. Подача води зупиняється, коли вологість замісу, що вимірюється датчиком досягає заданого значення.

Система регулювання СПК полягає в контролі вологості і температури дози обробленої суміші в дозаторі, приготованої для чергового замісу, і в автоматичному відмірюванні необхідної для попадання в аналіз дози води в спеціальний бачок, який потім, при приготуванні цього чергового замісу, спорожняється в гущавину змішувача по команді автоматики, що програмує цикл.

Обрана система СКС забезпечує більшу точність у порівнянні з системою СПК, але потребує більш точних елементів регулювання.

2 Визначення характеристик систем автоматичного керування

2.1 Ідентифікація вологості як об'єкта керування

Перед тим як розробляти систему автоматичного регулювання необхідно встановити її структуру, передаточну функцію об'єкту керування, та характеристики інших елементів САК.

З метою цього і було проведене наступне дослідження:

1. Були зняті покази датчика вологості, який встановлений в змішувачі в процесі приготування суміші.
2. Побудований графік перехідного процесу по цим даним.
3. Проведена ідентифікація об'єкта керування за допомогою програми MATLAB.

Таблиця 2.1. Покази датчика вологості(у відсотках)
формовочної суміші. Дослід №1

0	0.49476	3.499	3.3259	3.8408
0	0.80905	3.3746	3.3319	3.8451
0	1.183	3.3392	3.3619	3.8463
0	1.2984	3.3706	3.37	3.8274
0	1.5144	3.3756	3.353	3.7908
0	1.6357	3.4102	3.3427	3.7187
0	1.7026	3.432	3.3354	3.6256
0	1.7461	3.4042	3.4064	3.6319
0.0055504	1.8284	3.3387	3.4546	3.6447
0.025298	1.8489	3.2995	3.388	3.6882
0.024272	1.8698	3.2515	3.3656	3.7181
0.04526	1.8796	3.1776	3.3607	3.7063
0.049635	1.9327	3.2107	3.3392	3.6734
0.11218	1.9226	3.2867	3.3287	3.6772
0.19071	1.887	3.2546	3.3385	3.7247

0.18608	1.9615	3.2197	3.3947	3.7447
0.22928	2.0465	3.1887	3.4204	3.6062
0.2692	2.1171	3.1066	3.3422	3.767
0.26241	2.1591	3.0606	3.2795	3.6663
0.22036	2.2042	3.1068	3.3622	3.7234
0.19484	2.2693	3.1673	3.4782	3.7666
0.14951	2.3362	3.2149	3.4659	3.7317
0.1222	2.3556	3.21	3.411	3.8982
0.21248	2.3825	3.1612	3.3925	3.7686
0.24487	2.3771	3.1492	3.3369	3.8264
0.24681	2.432	3.1075	3.2605	3.7566
0.32562	2.4766	3.0249	3.2379	3.8382
0.30534	2.61	3.0291	3.2474	3.6165
0.17913	2.7955	3.0855	3.2476	3.7185
0.1414	2.9373	3.0784	3.25	3.8412
0.14526	3.0077	3.1032	3.2319	3.7595
0.15401	3.1815	3.162	3.2435	3.6137
0.21061	3.3248	3.1484	3.302	3.6446
0.26692	3.4319	3.1794	3.4285	3.6839
0.341	3.4504	3.2601	3.4693	3.817
0.42544	3.508	3.3449	3.3856	3.9326
0.5303	3.5165	3.4615	3.3986	3.9542
0.55857	3.4568	3.4899	3.436	3.9909
0.53887	3.4812	3.4216	3.3769	4.0293
0.56085	3.529	3.3792	3.3473	3.987
0.51942	3.5486	3.3755	3.4344	
0.49566	3.5765	3.3413	3.535	
0.49364	3.5631	3.3408	3.6499	
0.538	3.5244	3.4326	3.7542	
0.5908	3.5294	3.4809	3.853	
0.60789	3.5184	3.436	3.816	
0.66503	3.5215	3.4039	3.859	
0.66353	3.5844	3.4323	3.8084	

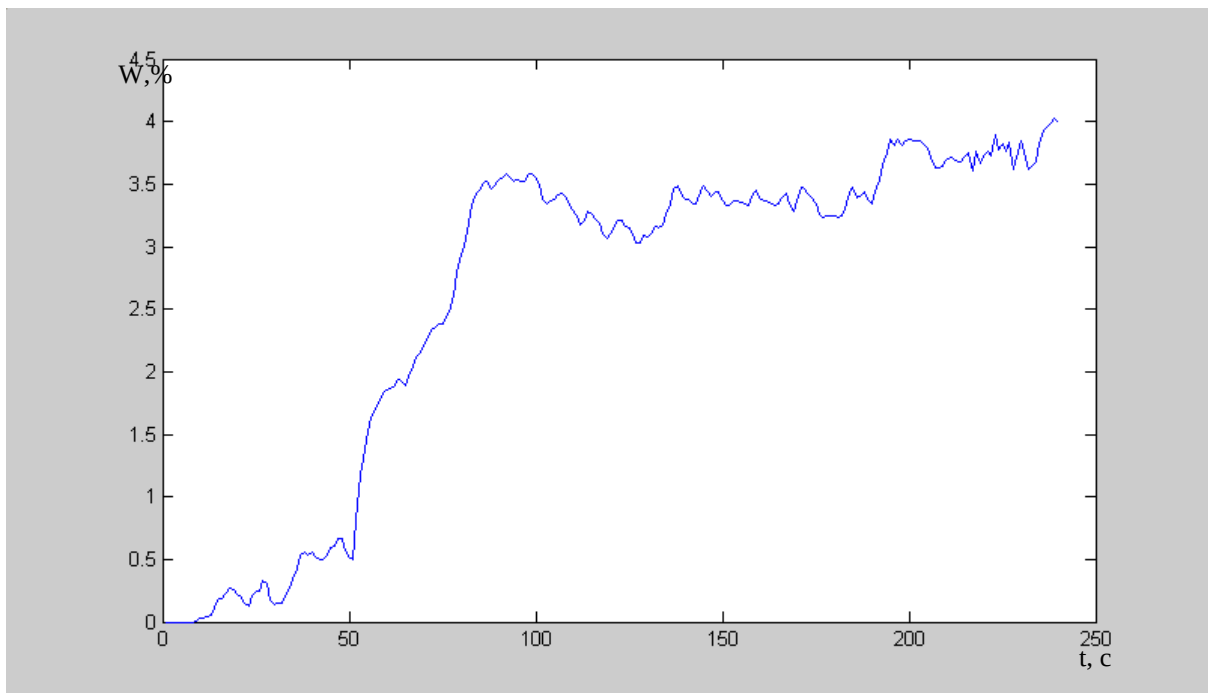


Рисунок 2.1 - Графік зміни вологості, побудований за результатами дослідів
№ 1

Таблиця 2.2 Покази датчика вологості(у відсотках)
формовочної суміші. Дослід №2

0	0.79476	2.7499	3.5426	3.8408
0	0.80905	2.7375	3.5232	3.8451
0	1.183	2.8339	3.5362	3.8463
0	1.2984	2.9391	3.47	3.8274
0	1.5144	3.0056	3.4725	3.7908
0	1.6357	3.1702	3.427	3.7187
0	1.7026	3.2	3.4335	3.7626
0	1.7461	3.3842	3.4064	3.7632
0.0055504	1.8284	3.3887	3.4546	3.7645
0.050596	1.8489	3.3995	3.4388	3.7688
0.048544	1.8698	3.2515	3.4366	3.7181
0.09052	1.8796	3.2178	3.4607	3.7063
0.09927	1.9327	3.2107	3.3392	3.6734
0.22436	1.9226	3.2867	3.3287	3.7677
0.38142	1.887	3.3055	3.3385	3.7247

0.37216	1.8615	3.3197	3.3947	3.7447
0.45856	2.0465	3.2887	3.4204	3.7606
0.5384	2.1171	3.3066	3.3422	3.7967
0.52482	2.1591	3.3606	3.2795	3.8177
0.44072	2.2042	3.4068	3.3622	3.8234
0.38968	2.2693	3.4673	3.4782	3.8267
0.29902	2.3362	3.4715	3.4659	3.8317
0.2444	2.3556	3.4731	3.411	3.8382
0.42496	2.3825	3.4816	3.3925	3.8469
0.24487	2.3771	3.4492	3.3369	3.8264
0.49362	2.432	3.5075	3.2605	3.8476
0.45123	2.4766	3.5249	3.2379	3.8382
0.41068	2.61	3.4291	3.2474	3.8617
0.35826	2.7955	3.3855	3.2476	3.7185
0.2828	2.79	3.3784	3.25	3.8412
0.29051	2.7752	3.5032	3.2319	3.7595
0.30803	2.7644	3.5162	3.2435	3.7137
0.42121	2.9262	3.5248	3.302	3.7446
0.43383	3.0168	3.5479	3.4285	3.7839
0.482	2.9623	3.426	3.4693	3.7817
0.53718	3.0454	3.449	3.3856	3.7793
0.60076	3.0982	3.4261	3.3986	3.7495
0.656	3.0774	3.429	3.436	3.6991
0.69484	3.0201	3.3722	3.3769	3.7029
0.75531	3.0733	3.3792	3.3473	3.787
0.83614	3.1258	3.4755	3.4344	
0.75301	3.1801	3.4413	3.535	
0.71408	2.7614	3.4408	3.6499	
0.76861	2.6715	3.3326	3.7542	
0.84071	2.6691	3.5809	3.853	
0.64208	2.6352	3.5236	3.816	
0.62417	2.6295	3.5204	3.859	
0.68956	2.7437	3.5243	3.8084	

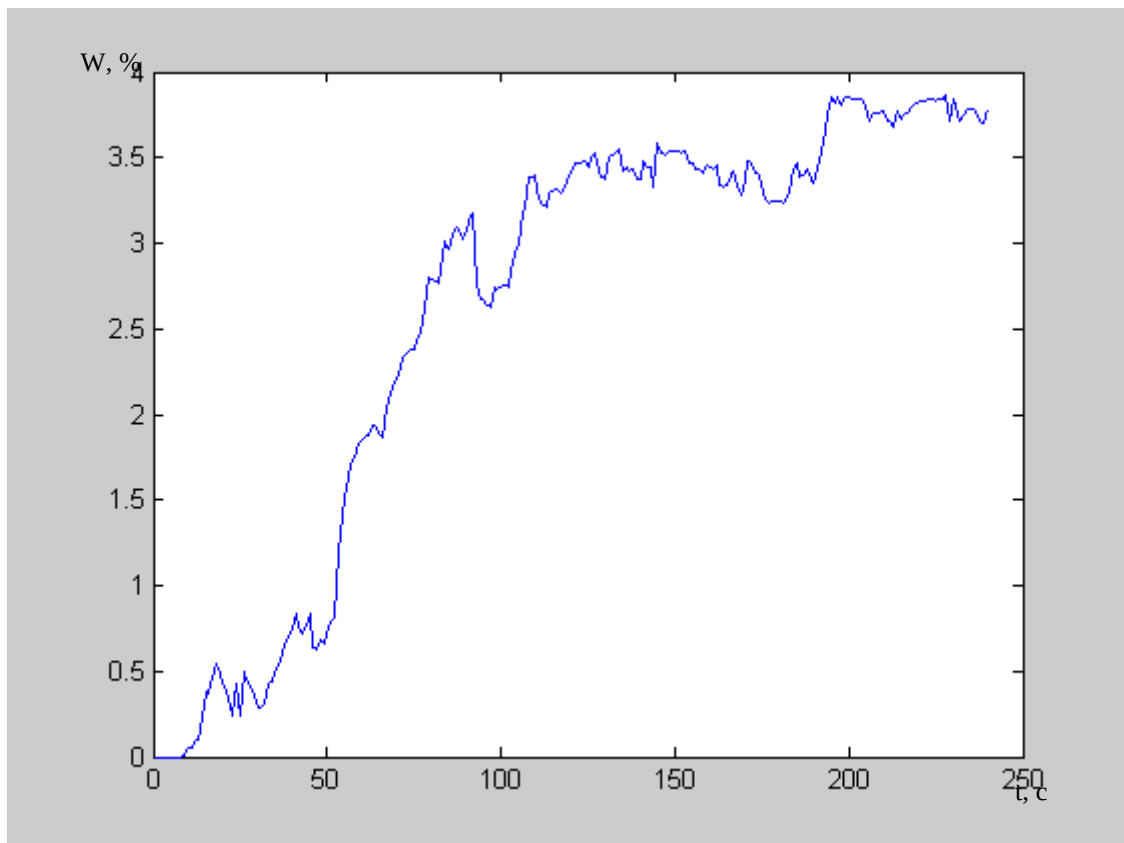


Рисунок 2.2 - Графік зміни вологості, побудований за результатами дослідів

№ 2

Таблиця 2.3 Покази датчика вологості(у відсотках)
формовочної суміш. Дослід №3

0	0.79476	2.7499	3.4102	3.6408
0	0.80905	2.7375	3.432	3.6845
0	1.183	2.8339	3.4042	3.6463
0	1.2984	2.9391	3.3387	3.6274
0	1.5144	3.0056	3.2995	3.6791
0	1.6357	3.1702	3.2515	3.7187
0	1.7026	3.2	3.1776	3.7626
0	1.7461	3.3842	3.2107	3.7632
0.0055504	1.8284	3.3887	3.2867	3.7645
0.050596	1.8489	3.3995	3.2546	3.7688
0.048544	1.8698	3.2515	3.2197	3.7181
0.09052	1.8796	3.2178	3.1887	3.7063

0.09927	1.9327	3.2107	3.1066	3.6734
0.22436	1.9226	3.2867	3.0606	3.7677
0.38142	1.887	3.3055	3.1068	3.7247
0.37216	1.8615	3.3197	3.3947	3.7447
0.45856	2.0465	3.2887	3.4204	3.7606
0.47384	2.1171	3.3066	3.3422	3.7967
0.45248	2.1591	3.3606	3.2795	3.8177
0.44072	2.6252	3.4068	3.3622	3.7923
0.38968	2.7806	3.4673	3.4782	3.77
0.29902	2.862	3.4715	3.4659	3.7517
0.2444	2.8208	3.4731	3.411	3.7382
0.42496	2.7852	3.4816	3.3925	3.69
0.24487	2.7312	3.4492	3.3369	3.664
0.49362	2.7546	3.5075	3.2605	3.6476
0.45123	2.7579	3.5249	3.2379	3.6838
0.41068	2.7451	3.4291	3.2474	3.6617
0.35826	2.7468	3.3855	3.2476	3.6719
0.2828	2.829	3.3784	3.25	3.6412
0.29051	2.8375	3.5032	3.2319	3.6595
0.30803	2.8654	3.5162	3.2435	3.6137
0.42121	2.9262	3.5248	3.302	3.6446
0.43383	3.0168	3.5479	3.4285	3.8839
0.482	2.9623	3.426	3.4693	3.7817
0.43718	3.0454	3.449	3.3856	3.7793
0.40076	2.9819	3.4261	3.3986	3.7495
0.456	2.7744	3.429	3.436	3.8991
0.49484	2.8201	3.3722	3.3769	3.8029
0.5531	2.9362	3.3792	3.3473	3.817
0.614	2.9683	3.4755	3.4344	
0.75301	3.0256	3.4413	3.535	
0.71408	2.9597	3.4408	3.6499	
0.76861	2.8186	3.3326	3.7542	
0.84071	2.8088	3.5478	3.853	

0.64208	2.7519	3.499	3.816	
0.62417	2.7375	3.3746	3.859	
0.68956	2.903	3.3392	3.8084	
0.66623	2.8743	3.3706	3.6851	
0.71665	2.7478	3.3756	3.6567	

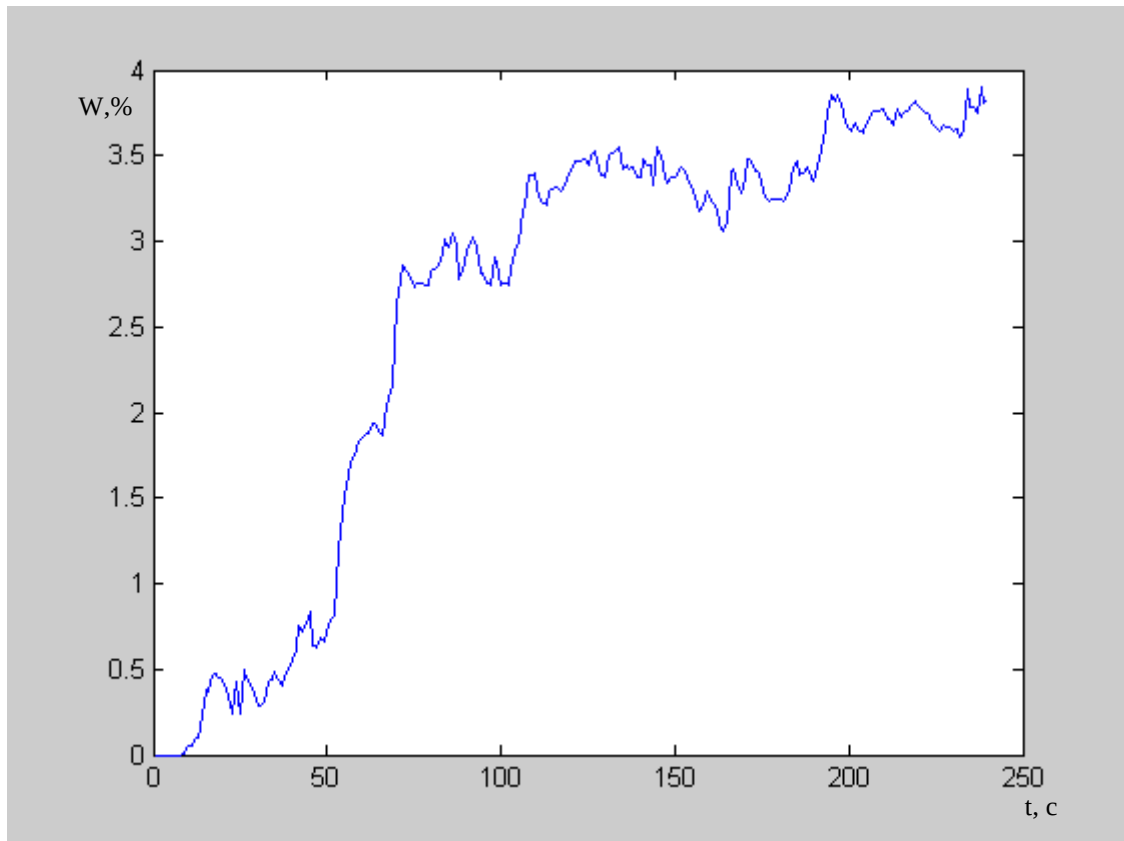


Рисунок 2.3 - Графік зміни вологості, побудований за результатами дослідження

№ 3

В середовищі MATLAB проводиться ідентифікація системи, методом порівняння з параметричними моделями, за найбільш співпадаючим графіком і обирається передаточна функція об'єкту

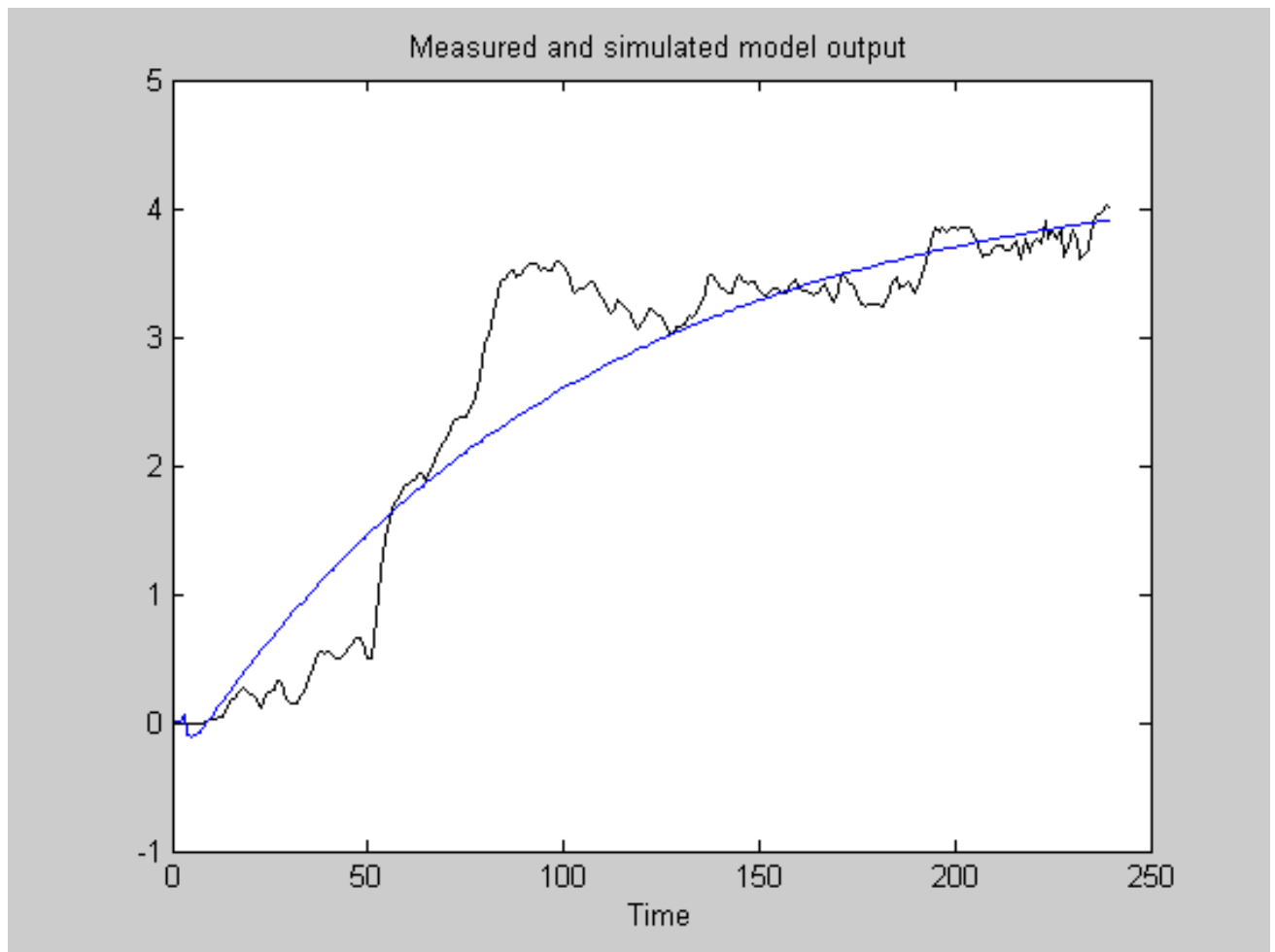


Рисунок 2.4 - Порівняння отриманого графіка побудованого за результатами дослідів №1 з параметричною моделлю за допомогою MATLAB

Відсоток співпадіння складає 76%

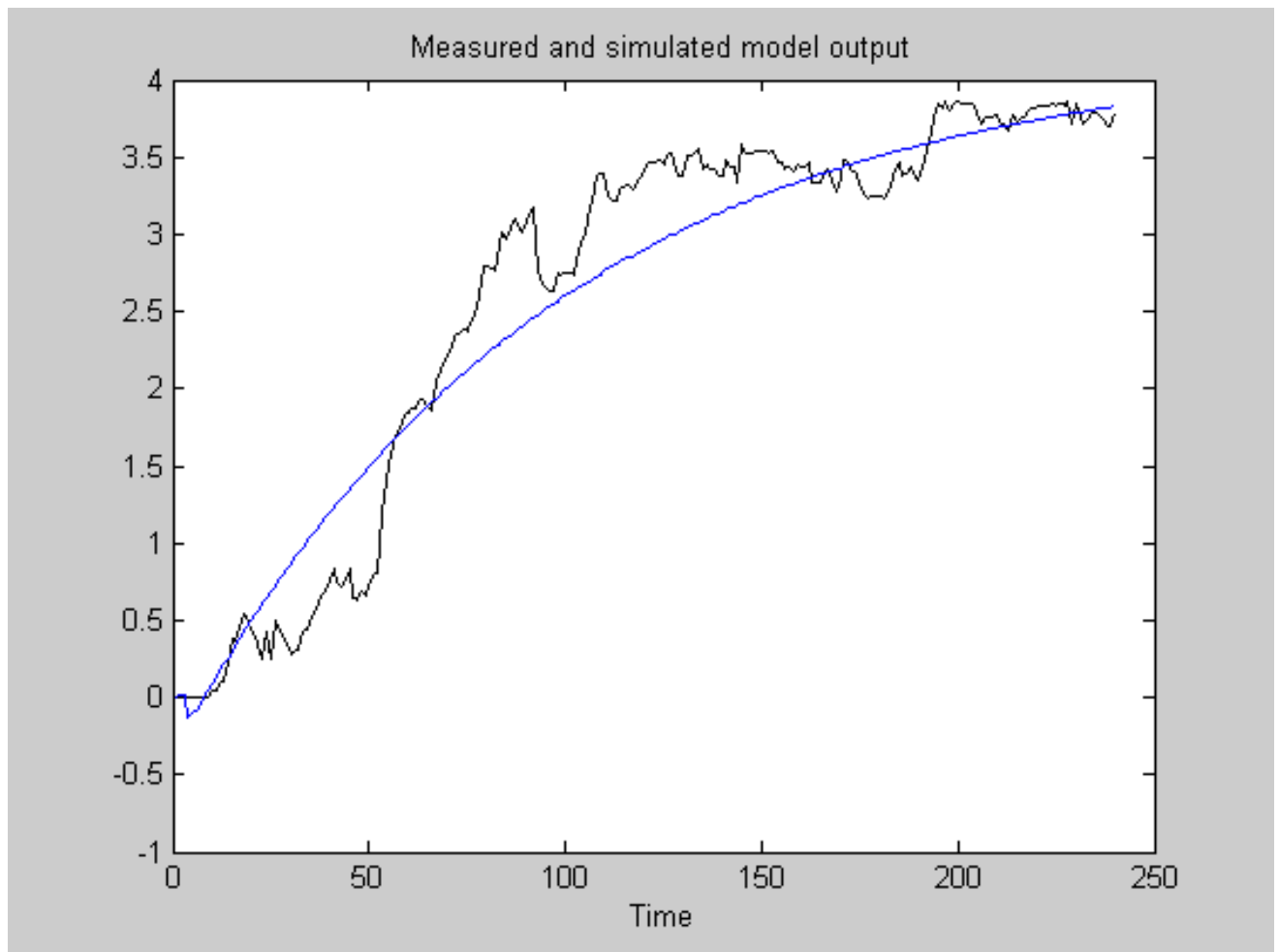


Рисунок 2.5 - Порівняння отриманого графіка побудованого за результатами досліду №2 з параметричною моделлю за допомогою MATLAB

Відсоток співпадіння складає 71%

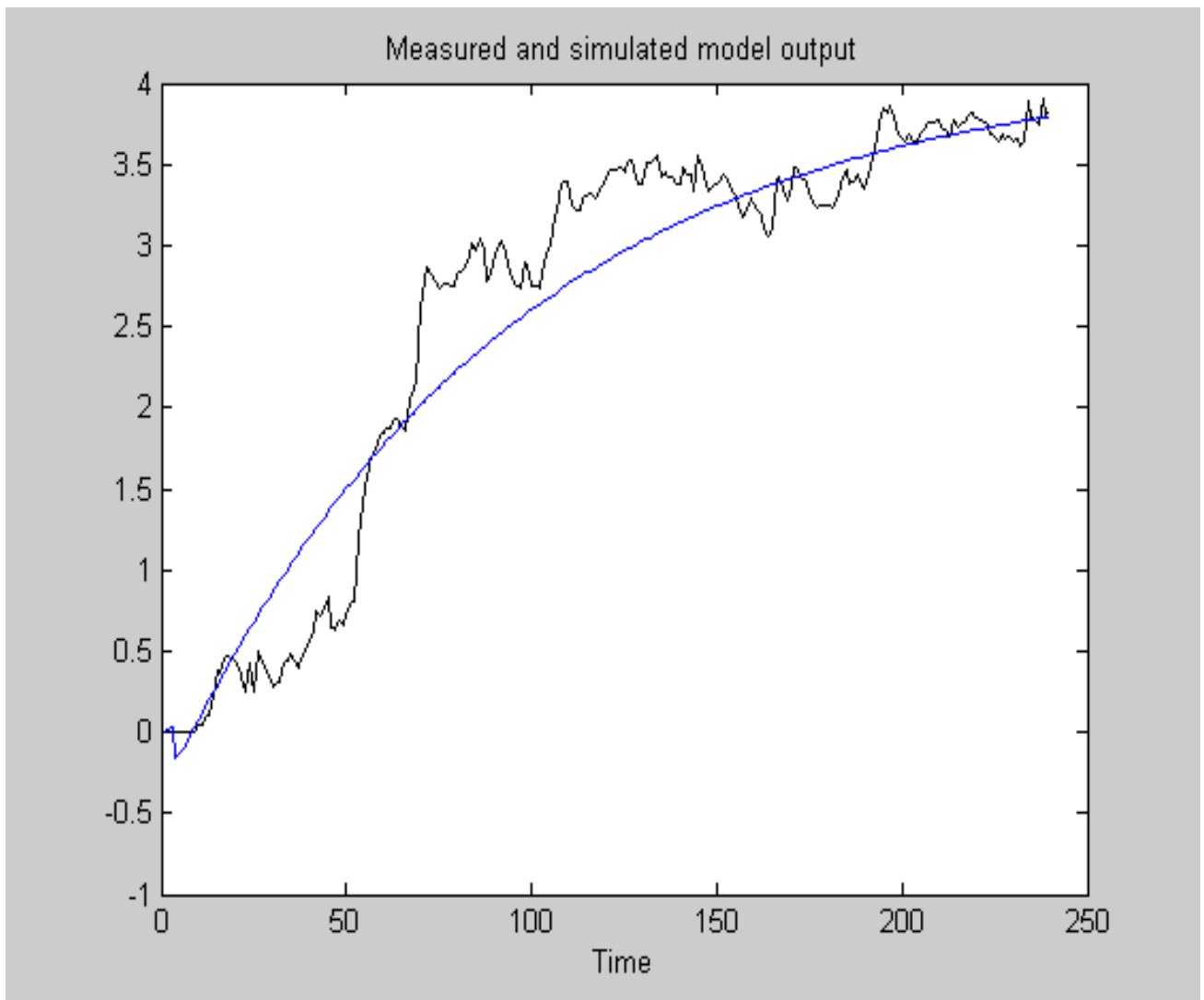


Рисунок 2.6 - Порівняння отриманого графіка побудованого за результатами досліді №3 з параметричною моделлю за допомогою MATLAB

Відсоток співпадання складає 73%

По виду цього графіка в MATLAB була підібрана найбільш співпадаюча параметрична модель, і вирахована передаточна функція об'єкта керування:

$$W_{ok}(p) = e^{-0.289p} \cdot \frac{0.002285p + 0.004615}{p^2 + 0.05339p + 0.001306}$$

2.2 Розробка структурної схеми цифрової системи автоматичного керування

До нашої ЦСАК входять такі ланки: ємнісний датчик, об'єкт керування, цифровий регулятор (контролер), виконавчий механізм (двигун постійного струму). З'єднавши типові динамічні ланки відповідно до передачі діянь, дістанемо структурну схему системи автоматичного регулювання вологості:

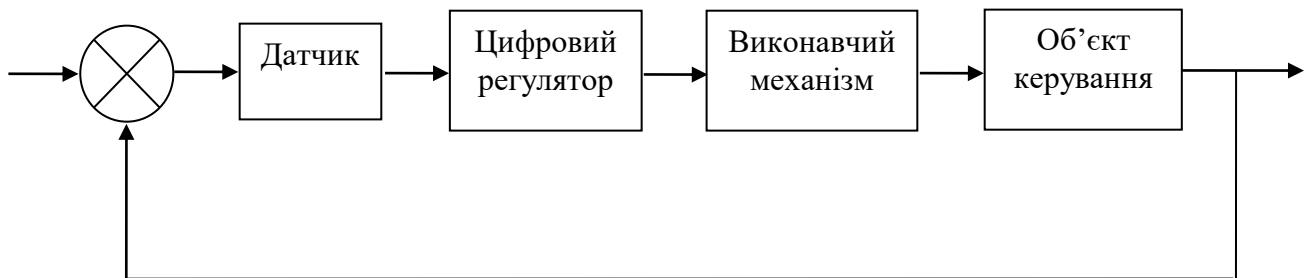


Рисунок 2.7 - Функціональна схема ЦСАК

Передаточні функції ланок системи:

1). Об'єкту керування:

$$W_{ок}(p) = \frac{\kappa_{ок} \cdot (T_1 \cdot p + 1) \cdot e^{-\tau}}{(T_2^2 \cdot p^2 + 2dT_2 \cdot p + 1)}$$

Передаточна функція об'єкту керування була визначена експериментальним шляхом.

2). Датчика:

$$W_d(p) = \kappa_d$$

Передаточна функція датчика була визначена за допомогою статичної характеристики датчика. Статична характеристика датчика на робочій ділянці майже лінійна, тому згідно характеристики $K_d=0.05$.

3) Виконуючого механізму (двигуна постійного струму):

$$W_{BM}(p) = \frac{K_{BM}}{(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}$$

Передаточна функція виконавчого механізму була визначена за допомогою пускової характеристики двигуна.

Після підстановки передаточних функцій структурна схема ЦСАК має наступний вигляд:

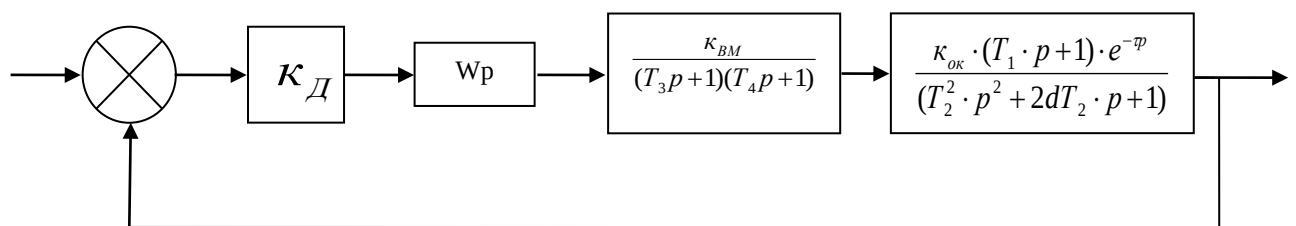


Рисунок 2.8 - Структурна схема ЦСАК

Передаточна функція цифрової системи автоматичного керування буде мати вигляд:

$$W_0(p) = \frac{W_p \cdot K_{OK} \cdot (T_1 \cdot p + 1) \cdot e^{-\tau}}{(T_2^2 \cdot p^2 + 2dT_2 \cdot p + 1)(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}$$

Таким чином для проектування ЦСАК необхідно провести синтез цифрового регулятора, який би коректував систему для досягнення і утримання на заданому рівні необхідної вологості з досить високою точністю.

3 Синтез цифрового регулятора

3.1 Визначення періоду дискретизації

Перетворення неперервних сигналів у дискретні пов'язано з наявністю в системі дискретного елемента, на виході якого утворюється послідовність імпульсів. Таким елементом може бути ключ К', який замикається через кожен період квантування T (рис 3.1).

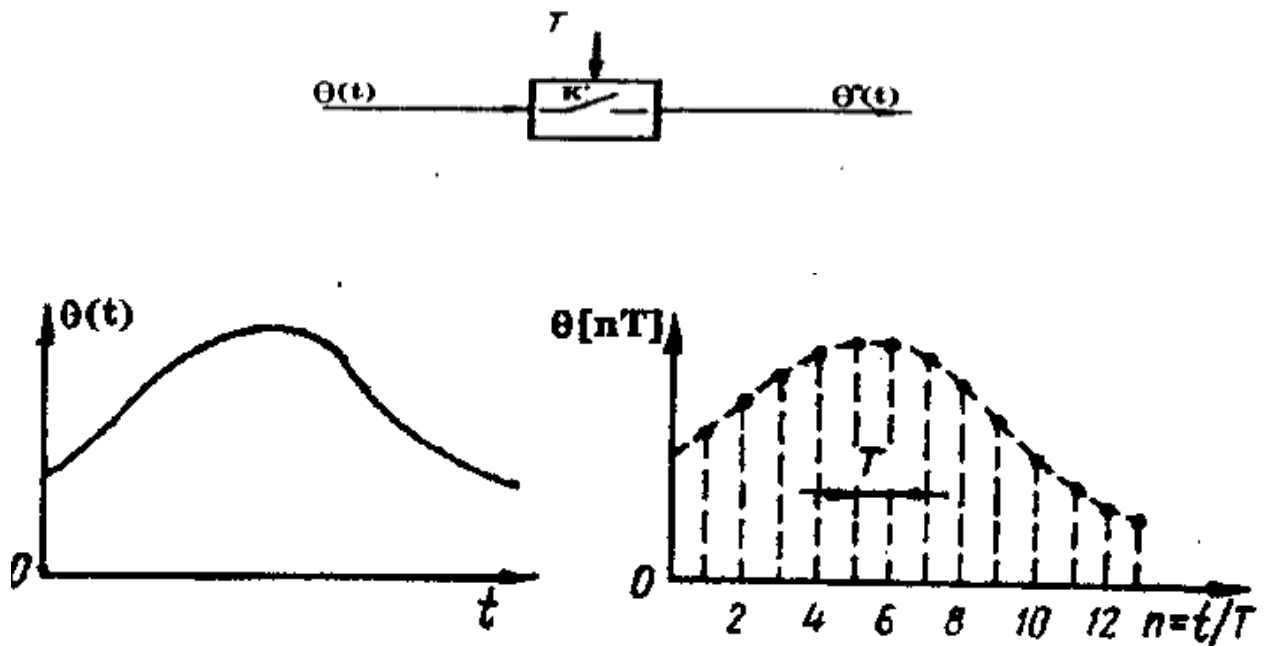


Рисунок 3.1 - Дискретний елемент системи - ключ, та його часові діаграми

Задачу вибору оптимального періоду квантування T можна віднести до однієї з основних проблем оптимальних витрат машинного часу під час реалізації систем цифрового керування. При зменшенні T точність керування й завантаження мікроЕОМ збільшуються, але при цьому неекономно витрачається машинний час. При збільшенні T погіршується якість керування системи. Тому, природно, виникає проблема пошуку компромісного рішення для задоволення цих суперечливих вимог. Залежно від спектра неперервної функції $\theta(t)$ вибір T здійснюється на підставі теореми Котельникова.

Теорема Котельникова. Функція часу $\Theta(t)$, яка не містить гармонічних складових з частотами, вищими від частоти $\omega_{\max}$ повністю визначається своїми значеннями в моменти часу nT , що відстають один від одного на періоди

$$T = \frac{\pi}{\omega_{\max}}$$

тобто частота квантування має бути вибрана відповідно до умови $\omega \geq \omega_{\max}$. У цьому випадку дискретна решітчаста функція точно відобразить неперервну функцію

$$\Theta(t) = \Theta \left[n \cdot \frac{\pi}{\omega_{\max}} \right]$$

і втрати інформації при її квантуванні не буде.

Максимальну частоту $\omega_{\max}$ у спектрі вихідного сигналу $\beta(j\omega)$ за амплітудно-частотною характеристикою замкненого контуру цифрового керування можна визначити за допомогою критерію Джурі. Якщо на вхід регулятора подавати гармонічний одиничний сигнал $\alpha(t) = \sin \omega t$, то вихідний сигнал замкненого контуру можна подати як функцію, тобто

$$\beta(j\omega) = \frac{W_p(j\omega) \cdot W_o(j\omega)}{1 + W_p(j\omega) \cdot W_o(j\omega)}$$

Звідси можна визначити частоту $\omega_{\max}$ при якій $|\beta(j\omega)|$ матиме мале значення, тому що замкнена система згладжує високочастотні складові сигналу. Значення Θ_{om} визначає точність, яку треба забезпечити на виході системи.

Користуючись вихідними даними визначаємо оптимальний період квантування сигналів у цифровій системі.

Частотна передаточна функція об'єкта керування описується рівнянням

$$W_0(p) = \frac{\kappa_p \cdot \kappa_o \cdot (T_1 \cdot p + 1) \cdot e^{-\tau p}}{(T_2^2 \cdot p^2 + 2dT_2 \cdot p + 1)(T_3 p + 1)(T_4 p + 1)}$$

Де $\kappa_0=54,08$; $T_1=0.49$ с; $T_2=27,4$ с; $d=1,2$; $T_3=0.3$ с; $T_4=0.05$ с; $\tau = 0,29$, для початкових розрахунків $\kappa_p=1$.

При цьому потрібна точність керування об'єктом в усталеному режимі $\Theta_{om} = 0.1$

Частотна передаточна функція замкненої системи визначається виразом:

$$\begin{aligned} \beta(j\omega) &= \frac{W_p(j\omega) \cdot W_o(j\omega)}{1 + W_p(j\omega) \cdot W_o(j\omega)} = \frac{\frac{\kappa_p \cdot \kappa_o \cdot (T_1 \cdot j\omega + 1) \cdot (\cos\omega\tau - j\sin\omega\tau)}{(T_2^2 \cdot (j\omega)^2 + 2dT_2 \cdot j\omega + 1)(T_3 j\omega + 1)(T_4 j\omega + 1)}}{1 + \frac{\kappa_p \cdot \kappa_o \cdot (T_1 \cdot j\omega + 1) \cdot (\cos\omega\tau - j\sin\omega\tau)}{(T_2^2 \cdot (j\omega)^2 + 2dT_2 \cdot j\omega + 1)(T_3 j\omega + 1)(T_4 j\omega + 1)}} = \\ &= \frac{\kappa_p \cdot \kappa_o \cdot (T_1 \cdot j\omega + 1) \cdot (\cos\omega\tau - j\sin\omega\tau)}{\kappa_p \cdot \kappa_o \cdot (T_1 \cdot j\omega + 1) \cdot (\cos\omega\tau - j\sin\omega\tau) + (T_2^2 \cdot (j\omega)^2 + 2dT_2 \cdot j\omega + 1)(T_3 j\omega + 1)(T_4 j\omega + 1)} = \Theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &(99\kappa_0(T_1 p + 1)(\cos(\omega\tau) + \sin(\omega\tau)))^2 - (T_2^2 T_3 T_4 \omega^4 - (2dT_2 T_3 T_4 - T_2^2(T_3 - T_4))\omega^3 - \\ &- (T_3 T_4 - 2dT_2(T_3 - T_4) - T_2^2)\omega^2 + ((T_3 - T_4) - 2dT_2)\omega + 1)^2 = 0 \end{aligned}$$

Розв'язуючи це рівняння, знаходимо частоту $\omega_{\max} = 1,76$

Оптимальний розрахунковий період квантування сигналів

$$T_{роз} = \frac{\pi}{\omega_{\max}} = \frac{\pi}{19,5} = 1,79$$

Приймаємо $T < T_{роз}$ $T=0.1$ с

Ми приймаємо такий період дискретизації тому що для нас важливо забезпечити якомога більшу точність системи.

3.2 Визначення дискретної передаточної функції зведеної неперервної частини ЦСАК

Аналого-цифровий перетворювач (АЦП), цифро-аналоговий (ЦАП) та екстраполятор нульового порядку разом з неперервною частиною ЦСАК, тобто передаточною функцією $W_o(p)$, формують зведену передаточну функцію неперервної частини (ЗНЧ), що визначається виразом:

$$W_n(p) = k_{АЦП} \cdot k_{ЦАП} \cdot \frac{1 - e^{-pT}}{p} \cdot W_o(p) = \frac{1}{\delta_{ЦФП}} \cdot \delta_{АЦП} \cdot \frac{1 - e^{-pT}}{p} \cdot W_o(p)$$

При рівності значень молодших розрядів АЦП і ЦАП:

$$W_n(p) = \frac{1 - e^{-pT}}{p} \cdot W_o(p)$$

Дискретна передаточна функція ЗНЧ ЦСАК визначається шляхом виконання Z-перетворення функції, а саме:

$$W_n(z) = \frac{\beta(z)}{\Theta(z)} = Z\{W_n(p)\} = \frac{z-1}{z} Z\left\{\frac{W_o(p)}{p}\right\}$$

Де $Z\left\{\frac{W_o(p)}{p}\right\}$ знаходять за допомогою програмного пакета MatLab

після розкладання на прості дробу виразу $W_o(p)/p$

Об'єкт керування характеризується неперервною передаточною функцією:

$$W_0(p) = W_B(p)W_3(p) = \frac{\beta(p)}{\chi(p)} = \frac{\kappa_p \cdot \kappa_o \cdot (T_1 \cdot p + 1) \cdot e^{-\tau p}}{(T_2^2 \cdot p^2 + 2dT_2 \cdot p + 1)(T_3p + 1)(T_4p + 1)}$$

Розкласти вираз $W_0(p)/p$ на суму простих дробів.

По формулам таблиці з довідника[7] знаходимо:

$$D_{01} = \frac{\alpha \cdot r}{a \cdot c \cdot d};$$

$$D_1 = \alpha \cdot \frac{a \cdot (b - c - d) + r \cdot (a + b) \cdot c + (b - c) \cdot d - b^2}{a \cdot (a - b \cdot c + c^2) \cdot (a - b \cdot d + d^2)};$$

$$D_2 = \alpha \cdot \sqrt{B} \cdot \frac{(a + \frac{b}{2} \cdot (c + d) - c \cdot d - \frac{b^2}{2}) \cdot \frac{1}{\lambda} \sin(\lambda \cdot h) + (b - c - d) \cdot \cos(\lambda \cdot h)}{(a - b \cdot c + c^2)(a - b \cdot d + d^2)} +$$

$$+ \alpha \cdot r \cdot \frac{\sqrt{B} \cdot ((a - \frac{b^2}{2})(c + d) - \frac{b}{2} \cdot (3 \cdot a - b^2 - c \cdot d)) \cdot \frac{1}{\lambda} \sin(\lambda \cdot h)}{(a - b \cdot c + c^2)(a - b \cdot d + d^2)} +$$

$$+ \alpha \cdot r \cdot \sqrt{B} \cdot \frac{(a + b \cdot c + (b - c) \cdot d - b^2) \cdot \cos(\lambda \cdot h)}{(a - b \cdot c + c^2)(a - b \cdot d + d^2)};$$

$$D_3 = \frac{\alpha \cdot (c - r)}{c \cdot (d - c)(a - b \cdot c + c^2)};$$

$$D_4 = \frac{\alpha \cdot (d - r)}{d \cdot (c - d)(a - b \cdot d + c^2)};$$

де:

$$a = \frac{1}{T_2^2} = 0,0013;$$

$$b = \frac{2d}{T_2} = 0,088;$$

$$c = \frac{1}{T_3} = 3,3;$$

$$d = \frac{1}{T_4} = 20;$$

$$\lambda = \sqrt{a - \frac{b^2}{4}} = 0,02;$$

$$h = T = 0,1;$$

$$B = e^{-b \cdot h} = 0,994$$

$$\alpha = k_o = 54,08;$$

$$r = \frac{1}{T_1} = 2,04.$$

Тоді коефіцієнти приймають наступні значення:

$$D_{01} = 1,2 \cdot 10^3;$$

$$D_1 = -5 \cdot 10^5;$$

$$D_2 = -89;$$

$$D_3 = 0,12;$$

$$D_4 = -7,3 \cdot 10^{-3}$$

після підстановки маємо:

$$\begin{aligned}\frac{W_B(p)}{p} &= \frac{\kappa_p \cdot \kappa_o \cdot (T_1 \cdot p + 1)}{p(T_2^2 \cdot p^2 + 2dT_2 \cdot p + 1)(T_3p + 1)(T_4p + 1)} = \\ &= \frac{1,2 \cdot 10^3}{p} + \frac{5 \cdot 10^5}{(\cdot p^2 + \frac{2d}{T_2} \cdot p + \frac{1}{T_2^2})} - \frac{89}{(p + \frac{1}{T_3})} + \frac{0,12}{(T_4p + \frac{1}{T_4})} + \\ &+ (-7,3 \cdot 10^{-3}(p + \frac{1}{T_1}))\end{aligned}$$

Дискретна передаточна функція ЗНЧ $W_n(z)$.

Так як передаточна функція має затримку, то необхідно помножити

передаточну функцію на $z^{-\frac{\tau}{T}} = z^{-\frac{0,29}{0,1}} = z^{-3}$

$$\begin{aligned}W_n(z) &= \frac{z-1}{z} Z\left\{\frac{W_0(p)}{p}\right\} = \frac{z-1}{z} \cdot \frac{-1,36 \cdot (z+6,7)(z-0,98)(z+0,64)(z+0,06)}{z^3(z-1)(z-0,997)(z-0,95)(z-0,72)(z-0,14)} = \\ &= \frac{-1,36z^5 - 7,34z^4 + 4z^3 + 10,6z^2 - 5,45z - 0,35}{z^9 - 4,7z^8 + 5,4z^7 - 4,78z^6 + 0,75z^5 - 0,1z^4}\end{aligned}$$

$$W_n(z) = \frac{\beta(p)}{\alpha(p)} = \frac{0,35z^{-9} + 5,45z^{-8} - 10,6z^{-7} - 4z^{-6} + 7,34z^{-5} - 1,36z^{-4}}{0,1z^{-5} - 0,75z^{-4} + 4,78z^{-3} - 5,4z^{-2} + 4,7z^{-1} - 1}$$

Для зручності розрахунків позначимо коефіцієнти при z через літери:

$C_1=0,35$; $C_2=5,45$; $C_3= -10,6$; $C_4= -4$; $C_5=7,34$; $C_6= -1,36$ – коефіцієнти чисельника;

$d_1= 0,1$; $d_2= -0,75$; $d_3= 4,78$; $d_4= -5,4$; $d_5= 4,7$ – коефіцієнти знаменника.

3.3 Визначення частотної передаточної функції ЗНЧ ЦСАК

Частотну передаточну функцію, що відповідає дискретній, можна дістати за допомогою білінійного перетворення:

$$z = (1 + w) / (1 - w)$$

звідки

$$w = (z - 1) / (z + 1)$$

Підставивши в (10) $Z = e^{j\omega T}$ матимемо:

$$w = (e^{j\omega T} - 1) / (e^{j\omega T} + 1) = jtg(\omega T / 2)$$

Після послідовної підстановки білінійного перетворення в дискретну передаточну функцію дістанемо відповідну частотну передаточну функцію, по якій визначаємо амплітудно-частотну та фазочастотну характеристики неперервної ЦСАК-

Побудову цих характеристик можна спростити, якщо замість циклічної частоти ω використати псевдочастоту λ , яка визначається виразом:

$$\lambda = (2 / T)tg(\omega T / 2)$$

З виразів (11) та (12) маємо:

$$w = j\lambda T / 2$$

При виконанні умови $\omega < 2/T$, де T - період квантування, $tg(\omega \cdot T / 2) \approx \omega \cdot T / 2$ і псевдочастота приблизно відповідає циклічній частоті ($\lambda \approx \omega$). В цьому випадку логарифмічні частотні характеристики як функції псевдочастоти та циклічної частоти в області частот $\omega < 2/T$ матимуть однаковий вигляд. Це дає змогу при проектуванні ЦСАК використовувати методику розрахунку неперервних систем.

$$W_n(z) = \frac{\beta(p)}{x(p)} = \frac{C_1 z^{-9} + C_2 z^{-8} + C_3 z^{-7} + C_4 z^{-6} + C_5 z^{-5} + C_6 z^{-4}}{d_1 z^{-5} + d_2 z^{-4} + d_3 z^{-3} + d_4 z^{-2} + d_5 z^{-1} - 1}$$

$$= \frac{C_1 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^9 + C_2 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^8 + C_3 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^7 + C_4 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^6 + C_5 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^5 + C_6 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^4}{d_1 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^5 + d_2 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^4 + d_3 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^3 + d_4 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^2 + d_5 \left(\frac{1-w}{1+w}\right)^1 - 1}$$

Після перетворень функція буде мати вигляд:

$$W_n(z) = \frac{c_1 + (c_2 - 4c_1)w + (6c_1 - 4c_2 + c_3)w^2 + (-4c_1 + 6c_2 - 4c_3 + c_4)w^3 + (c_1 - 4c_2 + 6c_3 - 4c_4 + c_5)w^4 +}{D_1 + (D_2 + 4D_1)w + (6D_1 + 4D_2 + D_3)w^2 + (4D_1 + 6D_2 + 4D_3 + D_4)w^3 +}$$

$$\frac{+ (c_2 - 4c_3 + 6c_4 - 4c_5 + c_6)w^5 + (c_3 - 4c_4 + 6c_5 - 4c_6)w^6 + (c_4 - 4c_5 + 6c_6)w^7 +}{+ (D_1 + 4D_2 + 6D_3 + 4D_4 + D_5)w^4 + (D_2 - 4D_3 + 6D_4 - 4D_5 + D_6)w^5 + (D_3 - 4D_4 + 6D_5 - 4D_6)w^6 +}$$

$$\frac{+ (c_5 - 4c_6)w^8 + c_6 w}{+ (D_4 - 4D_5 + 6D_6)w^7 + (D_5 - 4D_6)w^8 + D_6 w^9}$$

де :

$$c_1 = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 = 0,35 + 5,45 - 10,6 - 4 + 7,34 - 1,36 = -2,82;$$

$$c_2 = 5C_1 + 3C_2 - C_3 + C_4 + 3C_5 + 5C_6 = 1,75 + 16,35 + 10,6 - 4 + 22,02 - 3,64 = 43,1;$$

$$c_3 = 10C_1 + 2C_2 - 2C_3 - 2C_4 + 2C_5 + 10C_6 = 3,5 + 37,2 + 21,2 + 8 + 14,68 - 13,6 = 71;$$

$$c_4 = -10C_1 + 2C_2 + 2C_3 - 2C_4 - 2C_5 + 10C_6 = -3,5 + 10,9 - 21,2 + 8 - 14,68 - 13,6 = -34,1;$$

$$c_5 = 5C_1 - 3C_2 + C_3 + C_4 - 3C_5 + 5C_6 = 1,75 - 16,35 - 10,6 - 4 - 22,02 - 6,8 = -58,02;$$

$$c_6 = -C_1 + C_2 - C_3 + C_4 - C_5 + C_6 = -0,35 + 5,45 + 10,6 - 4 - 7,34 - 1,36 = 3;$$

$$D_1 = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 + 1 = 0,1 - 0,76 + 4,78 - 5,4 + 4,7 = 3,42;$$

$$D_2 = 5d_1 + 3d_2 - d_3 + d_4 + 3d_5 + 5 = 0,5 - 2,28 - 4,78 - 5,4 + 14,1 + 5 = 7,1;$$

$$D_3 = 10d_1 + 2d_2 - 2d_3 - 2d_4 + 2d_5 + 10 = 1 - 1,52 - 9,6 + 10,8 + 10 = 10,67;$$

$$D_4 = -10d_1 + 2d_2 + 2d_3 - 2d_4 - 2d_5 + 10 = -1 - 1,52 + 9,6 - 10,8 - 10 = -13,7;$$

$$D_5 = 5d_1 - 3d_2 + d_3 + d_4 - 3d_5 + 5 = 0,5 + 2,28 + 4,78 - 5,4 - 14,1 + 5 = -6,94.$$

Після підстановки коефіцієнтів у передаточну функцію вона набуває вигляду:

$$W_n(z) = \frac{3 \cdot w^9 - 70,02 \cdot w^8 + 216 \cdot w^7 + 217 \cdot w^6 + 45,2 \cdot w^5 - 54,2 \cdot w^4 + 207,4 \cdot w^3 -}{w^9 - 2,34 \cdot w^8 - 35,5 \cdot w^7 - 81,8 \cdot w^6 - 59,2 \cdot w^5 + 34,1 \cdot w^4 + 85,3 \cdot w^3 + 59,6 \cdot w^2 +} \\ \frac{-182,2 \cdot w^2 + 54,4 \cdot w - 2,82}{+ 59,6 \cdot w^2 + 20,8 \cdot w + 3,42}$$

3.4 Побудова бажаної ЛАЧХ ЦСАК

При побудові бажаних ЛАЧХ автоматичних систем керування необхідно виходити з таких умов:

- порядок астатизму ЦСАК, як і неперервних систем, не повинен перевищувати двох;
- ЛАЧХ стійкої розімкненої ЦСАК має перетинати вісь $L = 0$ з нахилом мінус 20дБ/дек;
- високочастотна асимптота ЛАЧХ повинна мати нульовий нахил.

Послідовність побудови бажаної ЛАЧХ ЦСАК:

1) визначаємо першу частоту спряження за формулою:

$$\lambda_1 = \frac{\ddot{\alpha}}{\dot{\alpha}} = \frac{0,7}{1,1} = 0,6$$

2) визначаємо потрібне значення добротності системи за швидкістю:

$$\kappa_1 = \frac{\dot{\alpha}}{\Theta_{om}} = \frac{1,1}{0,01} = 110$$

3) проводимо першу низькочастотну асимптоту бажаної ЛАЧХ з частотою спряження λ_1 і нахилом 0 дБ/дек.

4) визначаємо базову частоту забороненої зони за формулою:

$$\lambda_0 = \sqrt{k_2} = \sqrt{\frac{\ddot{\alpha}}{\Theta_{om}}} = \sqrt{\frac{0,9}{0,01}} = 9,4$$

2) за заданим значенням показника коливальності знаходимо другу частоту спряження бажаної ЛАЧХ, тобто

$$\lambda_2 = \lambda_0 \cdot \sqrt{\frac{(M-1)}{M}} = 9,4 \cdot \sqrt{\frac{1,2-1}{1,2}} = 8,4$$

3) проводимо другу низькочастотну асимптоту бажаної ЛАЧХ з

нахилом мінус 40 дБ/дек до частоти спряження λ_2 , а також третю асимптоту з нахилом мінус 20 дБ/дек до цієї частоти (при цьому має виконуватися умова $\lambda_{zp} < 2/T$);

4) третю частоту спряження λ_3 , бажаної ЛАЧХ вибираємо так, щоб $\lambda_3 = \lambda = 2/T$, оскільки передаточна функція ЦСАК з екстраполятором нульового порядку завжди має в чисельнику один з множників типу $(1 - T \lambda / 2)$;

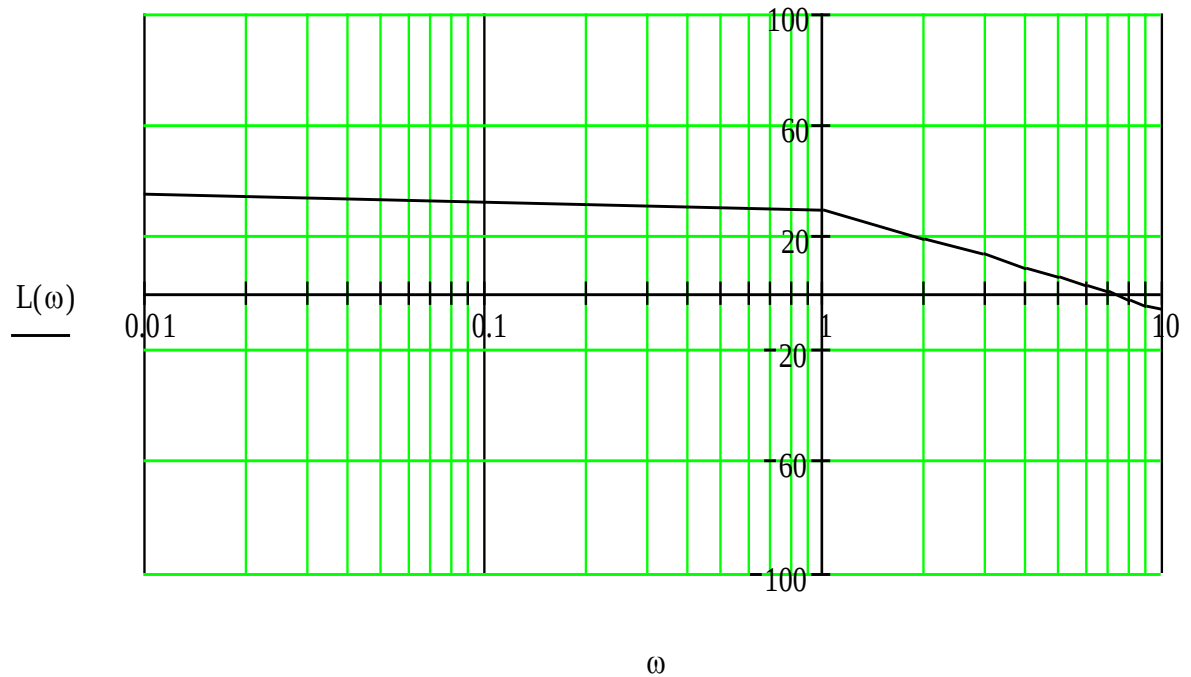


Рисунок 3.2 - Бажана ЛАЧХ ЦСАК

5) за заданим значенням показника коливальності M , будуємо μ -криву в межах зміни модулю A її ЛАЧХ:

$$20 \cdot \lg[M / (M + 1)] \leq 20 \cdot \lg A \leq 20 \cdot \lg[M / (M - 1)]$$

виходячи з виразу:

$$\mu = \arccos \left(\frac{A^2 + C^2 - R^2}{2 \cdot A \cdot C} \right)$$

$$\text{де } C = \frac{M^2}{M^2 - 1} = \frac{1.2^2}{1.2^2 - 1} = 3.27, \quad R = \frac{M}{M^2 - 1} = 2.7$$

Якщо $A < M/(M + 1)$ або $A > M/(M - 1)$, то запас стійкості системи за фазою може бути будь-яким, тому що в цьому разі вектор амплітудно-фазо-частотної характеристики розімкненої системи не потрапить у заборонену зону, яка обмежена колом заданого значення показника коливальності.

Максимальний запас стійкості за фазою можна визначити за заданим значенням показника коливальності з виразу:

$$\mu_{\max} = \sqrt{\frac{M^2 - 1}{M}} = \arcsin(1/M)$$



Рисунок 3.3 - μ -крива

б) будуємо заборонену зону для ЛФЧХ бажаної ЛАЧХ системи по розрахунковим даним для побудови μ -кривої

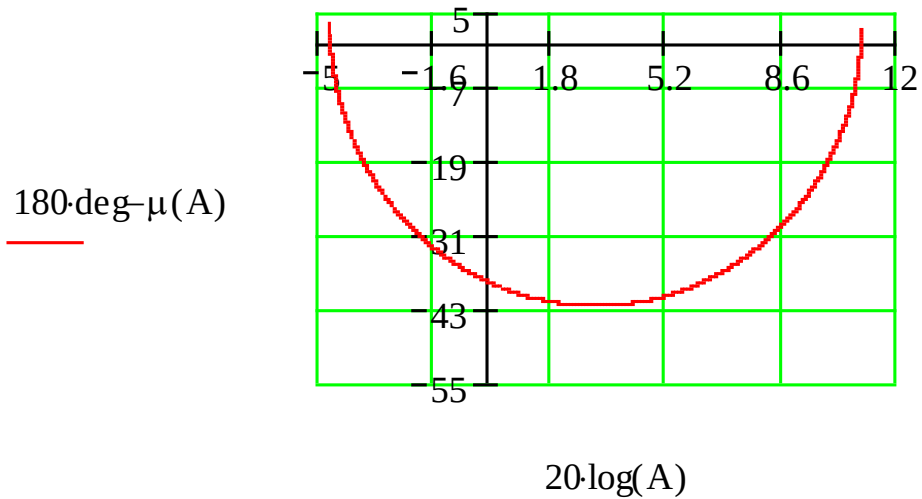


Рисунок 3.4 - Заборонена зона для ЛФЧХ системи

7) будемо фазочастотну характеристику системи ЛФЧХ, яку визначаємо по одержаному вигляду бажаної ЛАЧХ. Для ЦСАК з астатизмом нульового порядку вираз для визначення фазочастотної характеристики має наступний вид:

$$\Phi(\omega) := \left[-\operatorname{atan} \left[\frac{\left(\frac{\lambda(\omega)}{\lambda_1} \right)}{1 - \left(\frac{\lambda(\omega)}{\lambda_1} \right)^2} \right] + \operatorname{atan} \left(\frac{\lambda(\omega)}{\lambda_2} \right) - \operatorname{atan} \left(\lambda(\omega) \cdot \frac{T}{2} \right) \right] \cdot \frac{180}{\pi}$$

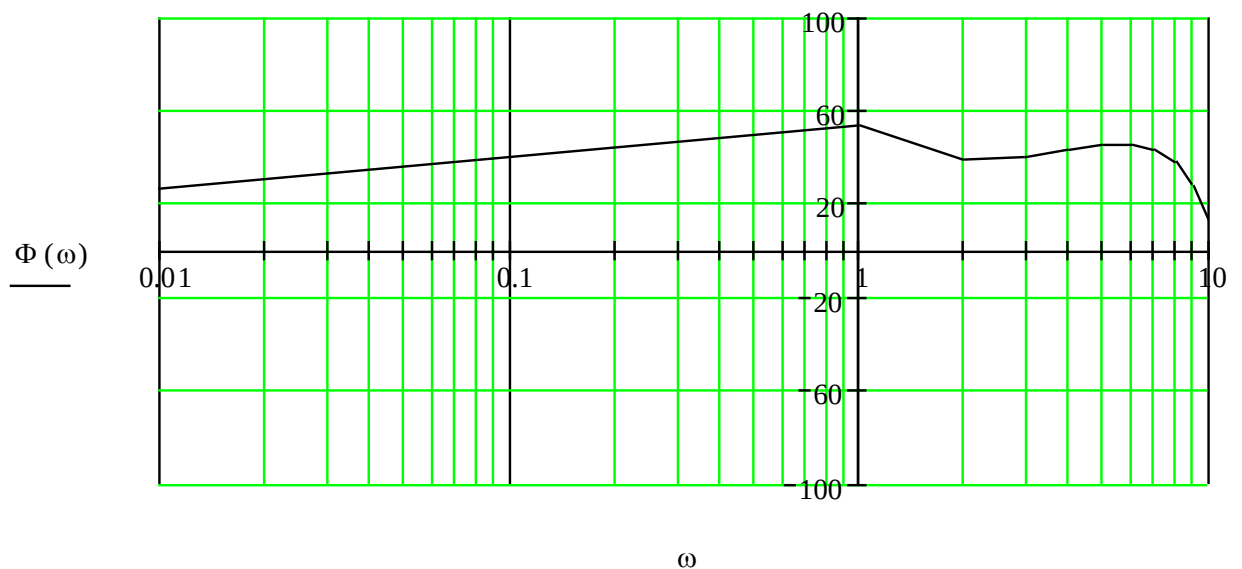


Рисунок 3.5 - ЛФЧХ системи

8) перевіряємо, чи не заходить ЛФЧХ $\varphi(\lambda)$ у заборонену зону. Ця вимога виконується.

При побудові логарифмічних частотних характеристик ЦСАК можна використовувати як передаточну функцію $W(e^{j\omega T})$, так і передаточну функцію $W(j\lambda)$, причому всі вимоги, що ставляться до частотних передаточних функцій $W(j\omega)$ неперервних систем та їх логарифмічних характеристик, залишаються дійсними також і для частотних передаточних функцій $W(e^{j\omega T}), W(j\lambda)$ та відповідних логарифмічних характеристик.

3.5 Визначення дискретної передаточної функції КМЕОМ

Дискретна частотна передаточна функція коректуючого пристрою визначається виразом:

$$D(j\omega) = W_{\text{баз}}(j\omega) / W_{\text{н}}(j\omega)$$

$W_{\text{баз}}(j\omega)$ - частотна передаточна функція, яку визначаємо по одержаному вигляду бажаної ЛАЧХ;

$W_{\text{н}}(j\omega)$ - частотна передаточна функція ЗНЧ системи.

Для розімкненої системи з астатизмом нульового порядку:

$$W_{\text{баз}}(j\lambda) = \frac{k_1 \cdot (1 + j\lambda / \lambda_2) \cdot (1 - j \cdot \lambda \cdot T / 2)}{(1 + j\lambda / \lambda_1)^2}$$

$$W_{\text{н}}(j\lambda) = \frac{3 \cdot (j\lambda T / 2)^9 - 70,02 \cdot (j\lambda T / 2)^8 + 216 \cdot (j\lambda T / 2)^7 + 217 \cdot (j\lambda T / 2)^6 + 45,2 \cdot (j\lambda T / 2)^5 - (j\lambda T / 2)^9 - 2,34 \cdot (j\lambda T / 2)^8 - 35,5 \cdot (j\lambda T / 2)^7 - 81,8 \cdot (j\lambda T / 2)^6 - 59,2 \cdot (j\lambda T / 2)^5 + -54,2 \cdot (j\lambda T / 2)^4 + 207,4 \cdot (j\lambda T / 2)^3 - 182,2 \cdot (j\lambda T / 2)^2 + 54,4 \cdot (j\lambda T / 2) - 2,82}{+ 34,1 \cdot (j\lambda T / 2)^4 + 85,3 \cdot (j\lambda T / 2)^3 + 59,6 \cdot (j\lambda T / 2)^2 + 20,8 \cdot (j\lambda T / 2) + 3,42}$$

$$D(j\omega) = W_{\text{баз}}(j\omega) / W_{\text{н}}(j\omega) = \frac{110 \cdot (1 + 5,9 \cdot \frac{z-1}{z+1}) \cdot (1 - \frac{z-1}{z+1})}{(1 + 22,2 \cdot \frac{z-1}{z+1})^2} \cdot \frac{(\frac{z-1}{z+1})^9 - 2,34 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^8 - 35,5 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^7 -}{3 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^9 - 70,02 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^8 + 216 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^7 +}$$

$$\frac{-81,8 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^6 - 59,2 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^5 + 34,1 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^4 + 85,3 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^3 + 59,6 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^2 + 20,8 \cdot (\frac{z-1}{z+1}) + 3,42}{+ 217 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^6 + 45,2 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^5 - 54,2 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^4 + 207,4 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^3 - 182,2 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^2 + 54,4 \cdot (\frac{z-1}{z+1}) - 2,82}$$

Визначивши дискретну частотну передаточну функцію $D(j\lambda)$ після підстановки в неї $j\lambda = 2w/T$ можна дістати вираз коректуючого алгоритму у вигляді w - перетворення $D(w)$. Підставивши в останнє, знайдемо дискретну передаточну функцію коректуючого пристрою, а саме:

$$D(z) = \frac{\sum_{i=0}^k b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^h a_i z^{-i}}$$

$$D(z) = \frac{110 \cdot (1 + 5,9 \cdot \frac{z-1}{z+1}) \cdot (1 - \frac{z-1}{z+1})}{(1 + 22,2 \cdot \frac{z-1}{z+1})^2} \cdot \frac{(\frac{z-1}{z+1})^9 - 2,34 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^8 - 35,5 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^7 -}{3 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^9 - 70,02 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^8 + 216 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^7 +}$$

$$\frac{-81,8 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^6 - 59,2 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^5 + 34,1 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^4 + 85,3 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^3 + 59,6 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^2 + 20,8 \cdot (\frac{z-1}{z+1}) + 3,42}{+ 217 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^6 + 45,2 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^5 - 54,2 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^4 + 207,4 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^3 - 182,2 \cdot (\frac{z-1}{z+1})^2 + 54,4 \cdot (\frac{z-1}{z+1}) - 2,82} =$$

$$= \frac{1,7z^{10} + 81,6z^9 + 54,4z^8 - 57,8z^7 + 20,4z^6 - 13,6z^5 - 1,19z^4 + 0,85z^3 - 0,34z^2 + 0,34z + 0,04}{z^{11} - 0,6z^{10} + 0,2z^9 + 1,7z^8 - 1,6z^7 + 1,2z^6 + 1,9z^5 - 2,7z^4 - 0,5z^3 - 0,3z^2 - 0,5z + 0,2} =$$

$$= \frac{1,7z^{-1} + 81,6z^{-2} + 54,4z^{-3} - 57,8z^{-4} + 20,4z^{-5} - 13,6z^{-6} - 1,19z^{-7} + 0,85z^{-8} - 0,34z^{-9} +}{1 - 0,6z^{-1} + 0,2z^{-2} + 1,7z^{-3} - 1,6z^{-4} + 1,2z^{-5} + 1,9z^{-6} - 2,7z^{-7} - 0,5z^{-8} - 0,3z^{-9} -}$$

$$\frac{+ 0,34z^{-10} + 0,04z^{-11}}{- 0,5z^{-10} + 0,04z^{-11}}$$

При синтезі цієї функції не повинна порушуватись умова грубості системи, тобто невеликі відхилення чи зміни як параметрів (коефіцієнтів a_i , b_i) програмної реалізації, так і параметрів неперервної частини ЦСАК, не повинні різко змінювати показники її якості.

Для забезпечення в ЦСАК умов грубості та стійкості коректуючої програми необхідно дотримуватись таких правил;

1) функція $W_{\text{баз}}(j\omega)$ повинна містити як свої нулі й полюси, так і всі нулі й полюси функції $W_n(j\omega)$

2) нахил ЛАЧХ залежності $W_{\text{баз}}(j\omega)$ в області частот $\lambda > 2/T$ повинен бути не меншим від нахилу залежності $W_n(j\omega)$;

3) функція $D(j\lambda)$ не повинна мати в чисельнику вищий степінь, ніж у знаменнику.

3.6 Розробка схеми програмної реалізації дискретного коректуючого пристрою

Програмну реалізацію алгоритму дискретного коректуючого пристрою можна записати у вигляді дискретної передаточної функції

$$D(z) = \frac{x(z)}{\Theta(z)} = \frac{\sum_{i=0}^k b_i z^{-i}}{\sum_{i=1}^h a_i z^{-i} + 1} = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2} + \dots + b_k \cdot z^{-k}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2} + \dots + a_h \cdot z^{-h}}$$

$$\text{де } x(z) = Z\{x_{|n|}\}, \quad \Theta(z) = Z\{\Theta_{|n|}\}$$

Функції (16) відповідає різницеве рівняння

$$x(n) = b_0 \cdot \Theta_{|n|} + b_1 \cdot \Theta_{|n-1|} + \dots + b_k \cdot \Theta_{|n-k|} - (a_1 \cdot x_{|n-1|} + a_2 \cdot x_{|n-2|} + \dots + a_h \cdot x_{|n-h|})$$

$$D(z) = \frac{x(z)}{\Theta(z)} = \frac{1,7z^{-1} + 81,6z^{-2} + 54,4z^{-3} - 57,8z^{-4} + 20,4z^{-5} - 13,6z^{-6} -}{1 - 0,6z^{-1} + 0,2z^{-2} + 1,7z^{-3} - 1,6z^{-4} + 1,2z^{-5} + 1,9z^{-6} -} \\ \frac{-1,19z^{-7} + 0,85z^{-8} - 0,34z^{-9} + 0,34z^{-10} + 0,04z^{-11}}{-2,7z^{-7} - 0,5z^{-8} - 0,3z^{-9} - 0,5z^{-10} + 0,2z^{-11}}$$

Реалізуємо її методом безпосереднього програмування

Виконаємо перехресне множення

$$x(z) \cdot (1 - 0,6z^{-1} + 0,2z^{-2} + 1,7z^{-3} - 1,6z^{-4} + 1,2z^{-5} + 1,9z^{-6} - 2,7z^{-7} - 0,5z^{-8} - 0,3z^{-9} - \\ - 0,5z^{-10} + 0,04z^{-11}) = \Theta(z)(1,7z^{-1} + 81,6z^{-2} + 54,4z^{-3} - 57,8z^{-4} + 20,4z^{-5} - 13,6z^{-6} - \\ - 1,19z^{-7} + 0,85z^{-8} - 0,34z^{-9} + 0,34z^{-10} + 0,2z^{-11})$$

Беремо обернене z-перетворення

$$X(n) = 0\Theta(z) + 1,7\Theta_{[n-1]} + 81,6\Theta_{[n-2]} + 54,4\Theta_{[n-3]} - 57,8\Theta_{[n-4]} + 20,4\Theta_{[n-5]} - \\ - 13,6\Theta_{[n-6]} - 1,19\Theta_{[n-7]} + 0,85\Theta_{[n-8]} - 0,34\Theta_{[n-9]} + 0,34\Theta_{[n-10]} + 0,04\Theta_{[n-11]} + \\ + 0,6X_{[n-1]} - 0,2X_{[n-2]} - 1,7X_{[n-3]} + 1,6X_{[n-4]} - 1,2X_{[n-5]} - 1,9X_{[n-6]} + 2,7X_{[n-7]} + \\ + 0,5X_{[n-8]} + 0,3X_{[n-9]} + 0,5X_{[n-10]} - 0,2X_{[n-11]})$$

3.7 Побудова перехідного процесу

За допомогою середовища MatLab будується графік перехідного процесу і порівнюємо його з графіком перехідного процесу нескоректованої системи:

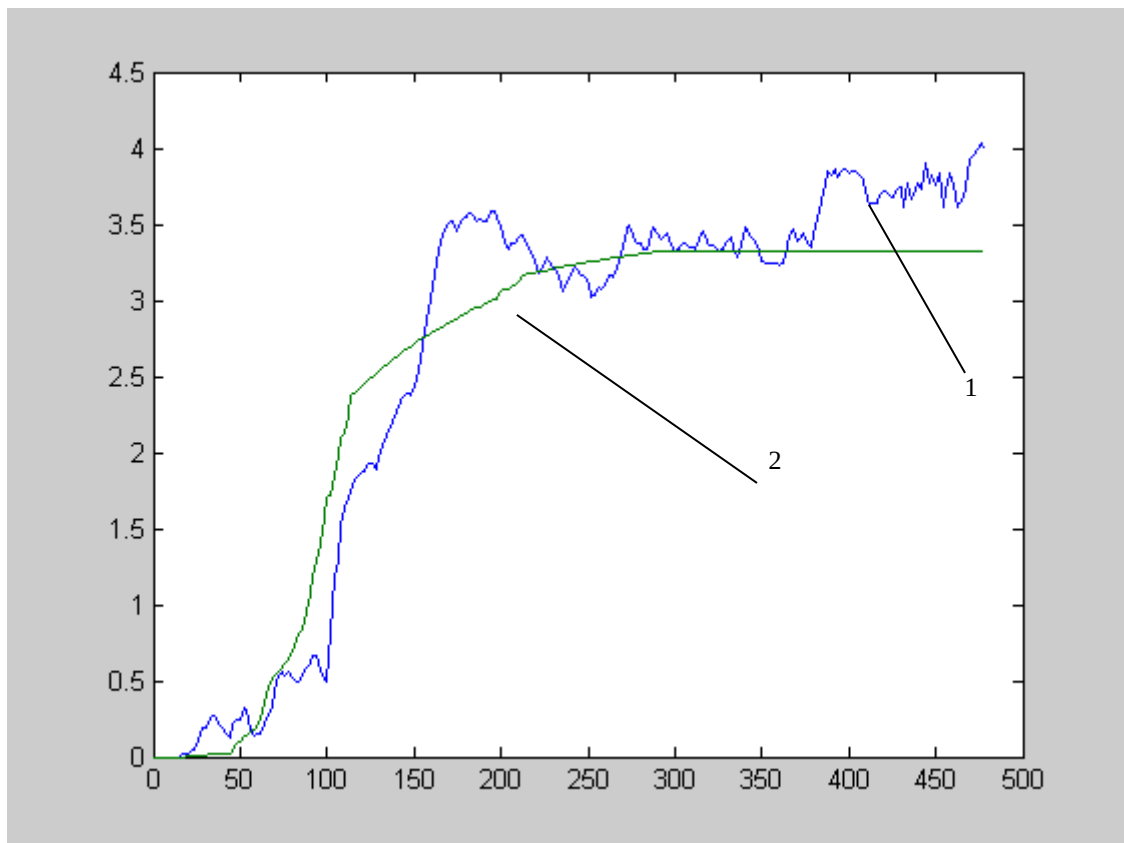


Рисунок 3.6 - Порівняння графіків перехідного процесу.

1 – перехідний процес нескоректованої системи;

2 – перехідний процес скоректованої системи.

Як видно з порівняння графіків за допомогою цифрового регулятора було досягнуто усталеного значення вологості, яка дорівнює 3,3%. Це значення знаходиться в рекомендованих межах вологості 3,0 - 3,5% і забезпечує необхідні фізико-механічні властивості суміші, що в свою чергу значно покращує її якість.

4 Розробка схеми цифрового регулятора

4.1 Розробка структурної схеми регулятора

Регулятор структурно складається з:

- мікроЕОМ з пристроями вводу-виводу ПВВ1, ПВВ2;
- пристроєм сполучення мікроЕОМ з неперервною частиною системи.

Проектування мікроЕОМ, як правило, починається з опису її архітектури, що представляє собою модель мікроЕОМ з точки зору програміста. Модель в процесі проектування перетворюється в структуру мікроЕОМ, що визначає склад, призначення та взаємні зв'язки необхідних апаратних компонентів, які реалізують бажану архітектуру.

В останній час найбільше поширення одержав принцип модульної організації обчислювальних систем. Серед способів організації зв'язку елементів в середині модулів та між модулями в системі можна виділити два: за допомогою довільних зв'язків "кожен з кожним", та за допомогою упорядкованих зв'язків (шинних), що дозволяє мінімізувати кількість зв'язків.

Найбільш поширеною є схема мікроЕОМ, що має дві або три загальних магістралі, до яких під дією пристрою управління можуть по чергово підключатися її модулі. Така структура потребує обмеженої кількості зовнішніх контактів, але обмін інформацією між модулями повинен здійснюватися в визначеній послідовності.

В мікроЕОМ процесор будується на великих інтегральних схемах (ВІС), що утворюють базовий МП-комплект. Процесор мікроЕОМ може бути реалізовано в вигляді одної (однокристальний мікропроцесор) або декількох ВІС (багатокристальний мікропроцесор). Для побудови інших блоків мікроЕОМ застосовуються спеціалізовані ВІС або інтегральні схеми (ІС) середнього ступеню інтеграції. Основні типи ІС, що застосовуються в

мікроЕОМ, можуть бути віднесені до одної з чотирьох груп: базовий мікропроцесорний комплект (МПК) ІС; ІС запам'ятовуючих пристроїв; ІС пристроїв вводу-виводу інформації в мікропроцесор; ІС для зв'язку мікроЕОМ з об'єктами управління.

При застосуванні спеціалізованих ІС для різних модулів мікроЕОМ її структурна схема може бути представлена як сукупність функціональних блоків, з'єднаних між собою в відповідності до вимог інтерфейсів. В приведеній схемі обробку інформації виконує мікропроцесор (МП), що синхронізується тактовими імпульсами пристрою синхронізації (ГТІ). Обмін інформацією між мікропроцесором та іншими блоками виконується по трьом шинам: адреси (ША), даних (ШД), та управління (ШУ).

Шина адреси застосовується для передачі коду адреси, по якому виконується звернення до пристроїв пам'яті, вводу-виводу та іншим зовнішнім пристроям, які підключені до мікропроцесору. Інформація, що обробляється, та результати її обчислень передаються по шині даних (ШД). Шина управління (ШУ) передає сигнали управління на всі блоки мікро ЕОМ, настраюючи на потрібний режим пристрої, що приймають участь в виконанні заданої команди.

Застосування в мікроЕОМ трьох шин забезпечує достатньо високу швидкодію та спрощує процес обчислення.

Системний контролер (СК) застосовується для фіксації слова стану МП, відпрацювання системних сигналів управління, буферизації шини даних МП та управління передачею даних.

Для збільшення навантажувальної спроможності адресних виводів А0...А15 мікропроцесора застосовується буферний шинний формувач (БШФ).

Селектор адреси (СА) застосовують для реалізації принципу адресації до відповідних пристроїв.

Оперативний запам'ятовуючий (ОЗП) пристрій в системах застосовується для короткострокового зберігання інформації в процесі виконання програми, дозволяє як запис інформації, так і її зчитування.

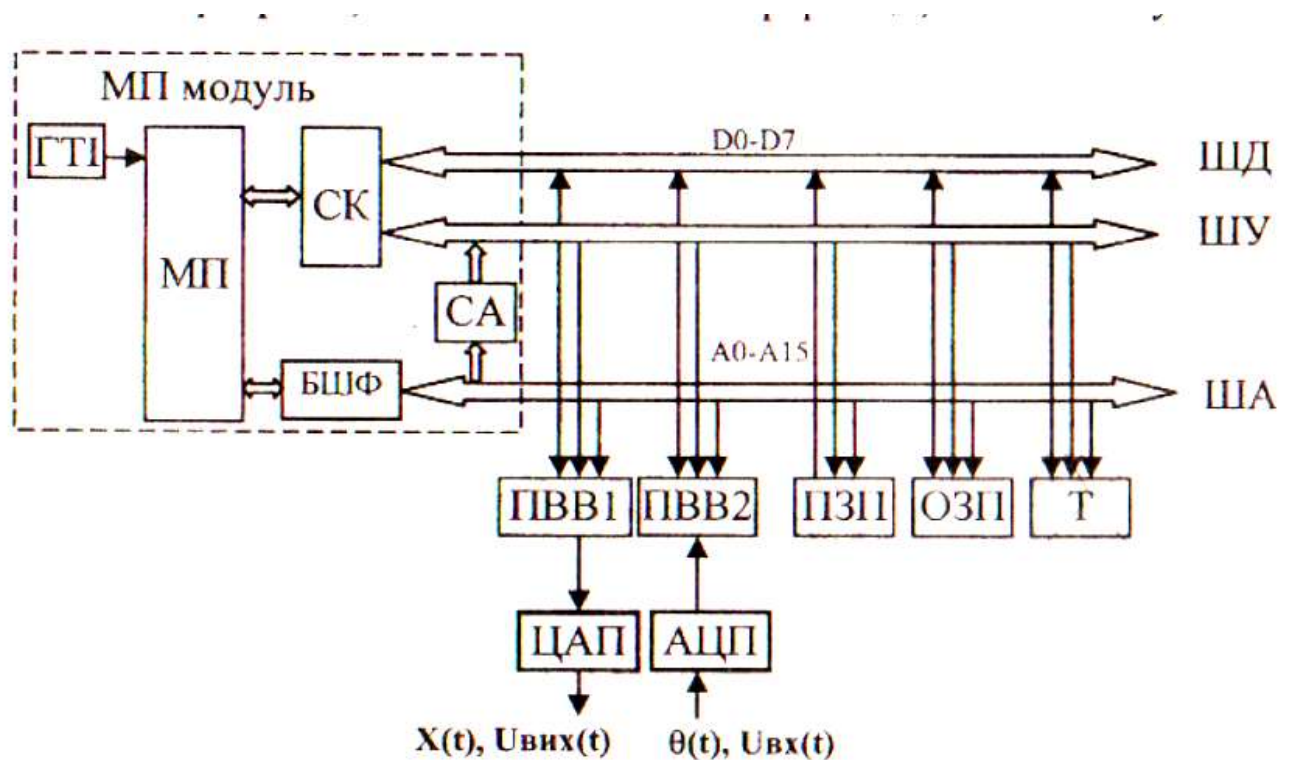


Рисунок 4.1 - Структурна схема цифрового мікропроцесорного регулятора:

БШФ - буферний шинний формувач;

СА - селектор адреси;

ПВВ1 - пристрій вводу-виводу 1;

ПВВ2 - пристрій вводу-виводу 2;

ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач;

АЦП - аналогово-цифровий перетворювач;

ПЗП- постійний запам'ятовуючий пристрій;

ОЗП — оперативний запам'ятовуючий пристрій;

Т- таймер.

Таймер (Т) - пристрій, призначений для вироблення часових проміжків між імпульсами, довжина і форма яких задаються програмно. Режими таймера, що задаються програмне, дозволяють ділити вхідну частоту, виробляти одноразові, що залежать від тактової частоти сигнали стробування, вести підрахунок кількості зовнішніх імпульсів, вимірювати тривалість проміжку часу.

4.2 Формування шин мікропроцесорної системи

Для формування шин мікро ЕОМ з МП (КР580ВМ80), застосовуємо шинні формувачі (КР580ВА86) та системний контролер (КР580ВК28). Вказані мікросхеми безпосередньо взаємодіють з МП, та розширюють його функціональні можливості. Умовні графічні позначення мікросхем МП комплекту приведено в додатку Ж. Підключення 16-розрядного каналу адреси МП до ША мікроЕОМ здійснюється через шинні формувачі КР580ВА86(87), які представляють собою двонапрявлені 8-розрядні прийомопередатчики з великою навантажувальною здатністю (забезпечують струм навантаження до 32 мА). Мікросхема КР580ВА87 відрізняється від КР580ВА86 тим, що двонапрявлена передача виконується з інверсією. Мікросхема КР580ВА86(87) має двонапрявлений канал А, який

підключається до МП, та двонаправлений канал В, що підключається до магістральної шини.

Передача інформації можлива при надходженні сигналу $CS=0$ в напрямку $A \rightarrow B$ ($T=1$), та $A \leftarrow B$ ($T=0$). При $CS=1$ всі виходи каналів А та В відключаються та переходять в високоомний стан. Системний контролер та шинний формувач KP580BK28 складається з двонаправленої буферної схеми даних, регістра стану, та дешифратора сигналів управління. Восьмирозрядна буферна схема даних приймає інформацію з каналу даних мікропроцесора по виводах D0-D7 та передає в регістр стану інформацію стану; в циклі запису по сигналу WR, то надходить від МП, по виводах DB0...DB7 видає дані на системний канал даних; в циклі читання по сигналу МП DBIM приймає дані з системного каналу по виводах DB0...DB7 та передає по виводах D0...D7 на канал даних МП. Регістр стану по входу сигналу STSTB, що надходить від ГТІ, фіксує інформацію стану мікропроцесора в такті ТІ кожного машинного циклу МП. Дешифратор сигналів управління формує один з сигналів управління в кожному машинному циклі: при читанні інформації з запам'ятовуючого пристрою (наприклад з ОЗП чи ПЗП) - сигнал MEMR, при записуванні в ЗП - сигнал MEMW, при читанні з ПВВ – сигнал I/ OR, при записуванні в ПВВ - сигнал I/OW, при підтвердженні запросу на переривання - сигнал INTA. Передача інформації по двонаправленій шині можлива при управлінні системною шиною $BUSEN=0$, а напрямок передачі визначається сигналом DBIN та WR.

При $DBIN = 1$ та $WR=1$ передача $D \leftarrow DB$, а при $DBIN = 0$, $WR=0$ передача $D \rightarrow DB$. При $BUSEN = 1$ виводи DB системного контролеру переходять в високоімпедансний стан.

4.3 Проектування селектору адреси

Мікросхеми пам'яті, як правило, виготовляються в вигляді постійних запам'ятовуючих пристроїв (ПЗП, або ROM), з яких можна тільки зчитувати

інформацію, та запам'ятовуючих пристроїв з довільним вибиранням (ОЗП, або RAM), які дозволяють виконувати операції зчитування та записування інформації. Десять ліній адреси забезпечують адресацію $2^{10}=1024=1\text{К}$ комірок пам'яті, а 8 ліній даних показують, що в кожній комірці пам'яті зберігається 8 бітів.

Відповідно організацію пам'яті для цієї мікросхеми можна записати як 1024×8 .

Байт зчитується з мікросхеми, коли сигнал CS має двійкове значення "0".

Розводка контактів мікросхем ОЗП аналогічна ПЗП, але в них застосовується додатково сигнал 1 R/WR зчитування/запису в шині управління МП, який керує напрямком передачі байту Мікросхеми ПЗП та ОЗП під'єднуються до шини даних та до необхідної кількості молодших ліній адреси. Сигнали вибірки кристала формуються дешифратором адреси 2:4, що забезпечує в системі одночасний вибір тільки однієї мікросхеми. Таблиця істинності дешифратора 2:4 приведено в таблиці 4.1. В довільний тільки на одному з його чотирьох виводів діє сигнал логічного "0", а на вході сигнал 0 (дозвіл) повинен при цьому дорівнювати "0", інакше ні на одному з виводів не буде сигналу "0". В цій конкретній схемі пам'яті формуються такі адреси: Сигнал на лінії A15 Ініціює роботу дешифратора, а сигнали на лініях A12 та A11 дешифруються, та визначають вибір мікросхем.

Символ "х" означає, що сигнал не використовується і вважається рівним нулю.

Якщо в схемі пам'яті маємо більше чотирьох мікросхем, то замість дешифратора 2:4 необхідно застосувати 3:8, до його входів підключаються не задіяні старші лінії шини адреси.

Таблиця 4.1 - Таблиця істинності дешифратора адреси 2:4

Входи		Виходи			
A12	A11	CS4	CS3	CS2	CS1
0	0	I	1	1	0
0	1	1	1	0	1
1	0	1	0	I	1
1	1	0	1	1	1

4.4 Пристрої сполучення МП з неперервною частиною системи керування

Такими зовнішніми пристроями по відношенню до мікропроцесору є цифро-аналогові та аналого-цифрові перетворювачі (ЦАП та АЦП). Цифро-аналоговий перетворювач – функціональний вузол, який однозначно перетворює кодові комбінації цифрового сигналу в значення аналогового сигналу. Аналого-цифровий перетворювач вирішує задачу пошуку однозначної відповідності аналоговому сигналу цифрового коду. У нинішній час вітчизняною промисловістю освоєна достатня кількість типів ВІС ЦАП та АЦП. Одна з основних вимог до АЦП та ЦАП полягає у можливості їх сполучення з МП, що припускає сумісність логічних рівнів цифрових сигналів перетворювачів та шини даних мікропроцесора, збіг видів цифрових кодів та формату даних, програмну сумісність. Для сполучення мікропроцесора серії КР580 з неперервною частиною системи керування можна успішно застосовувати перетворювачі серії КР572. Наявність у цій серії 12-розрядних АЦП й ЦАП дає можливість при необхідності нарощувати розрядність вхідних та вихідних даних змінімальними доопрацюваннями пристрою сполучення.

Цей пристрій забезпечує обмін даними між мікропроцесором та вхідним й вихідним перетворювачами без переривання програми. Пристрій

має такі характеристики: діапазон вхідних аналогових сигналів 0...4 В; діапазон вихідних аналогових сигналів ± 12 В; час перетворення (прийому) інформації в АЦП $T_{\text{пр}} = 120$ мкс; час встановлення (видачі) інформації ЦАП $T_{\text{вид}} = 15$ мкс.

Основними вузлами пристрою є 12-розрядні АЦП та ЦАП, реалізовані на базі мікросхем К572ПВ1 та К594ПА2 відповідно.

Висновки

Метою роботи було створення системи автоматичного регулювання вологості формовочної суміші в процесі її змішування. В процесі роботи була розроблена цифрова система автоматичного контролю з цифровим регулятором, який забезпечує необхідну точність регулювання подачі води. За допомогою цієї системи було досягнуто утримання вологості на сталому рівні у 3,3%, що знаходиться в оптимальних межах вологості, рекомендованих для формовочних сумішей. Завдяки цьому була покращена якість формовочної суміші, що значно зменшило кількість браку продукції ливарного цеху.

Аналізуючи проведену роботу можна сказати що мета роботи була досягнута.

Список літератури

1. Немировский Р.Г. Автоматические линии литейного производства. Киев - Донецк: Вища школа, 1981
2. Средства и системы автоматизации литейного производства/К.С. Богдан, В.Н. Горбунко, В.М. Денисенко и др. М.: Машиностроение, 1979
3. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., – К.: Либідь, 2007. - 656 с.
4. Åström K.J., Hägglund T. Advanced PID control. – ISA (The Instrumentation, System, and Automation Society) , 2006. — 460 p.
5. Astrom K.J. Advanced PID Control [Текст] / Astrom K.J., Hagglund T. - Instrumentation, Systems, and Automation Society, USA, 2006. – 250 p.
6. Astrom K.J. Control System Design. Lecture notes for ME 155A [Текст] / Astrom K.J. - Department of Automatic Control Lund Institute of Technology, Sweden, 2002. – 168 p.
7. Гостев В. Й., Стеклов В.К. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами: Справочник. – К.: "Радіоаматор", 1998.
8. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості: Підручник/ Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. – К.: Аграрна освіта, 2001 – 224 с.
9. Теорія автоматичного управління: Навчальний посібник [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кібер-енергетичних систем»; уклад.: О. Й. Штіфзон, П. В. Новіков, В.П. Бунь. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 144 с.

10. Аналіз та синтез систем автоматичного керування в MATLAB. Навчальний посібник/ О.Г. Гурко, І.Ф.Єрмоєнко. – Харків: ХНАДУ, 2011. - 286 с.
11. Matlab Documentation.[Електронний ресурс]. - Режим доступу: - <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/control>.
12. Simulink Documentation [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/simulink>.
13. Теорія систем керування: підручник / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусєв, О.В. Герасіна, В.П. Щокін; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро: НГУ, 2017. – 497 с.
14. А.П. Ладанюк Теорія автоматичного керування технологічних об'єктів: Навч. посіб. / А.П. Ладанюк, К.С. Архангельська, Л.О. Власенко – К.: НУХТ, 2014. – 274 с.
15. Автоматизація виробничих процесів: навч. посіб. / Б. М. Гончаренко, С. І. Осадчий, Л. Г. Віхрова [та ін.]. - Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2016. - 352 с.
16. Методичні вказівки «Проектування пристроїв та систем управління» В.О. Версаль, С.В. Березюк. 2004р.