

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

радіотехнічних систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: “Дослідження алгоритмів управління двигунами переміщення антени

(назва теми)

радіолокаційної системи”

(назва теми)

Виконав: студент VI курсу групи РРм-61

Спеціальності (напряму підготовки): 172

“Телекомунікації та радіотехніка”

(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

О.О. Шевчук

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Керівник

В.І. Яськів

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Нормоконтроль

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Рецензент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

м. Тернопіль – 20 19 рік.

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

Кафедра радіотехнічних систем

(повна назва кафедри, циклової комісії)

Освітній ступінь магістр

Напрямок підготовки: 172 "Радіотехніка"

(шифр і назва)

Спеціальність 172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(шифр і назва)

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри

В.Л. Дунець

(ім'я, по батькові прізвище)

“ ”

20 19 р.

## ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

Шевчуку Олегу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема: “Дослідження алгоритмів управління двигунами переміщення антени радіолокаційної системи”

Керівник: Яськів Володимир Іванович, к.т.н., доц., декан ФІТ

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Затверджені наказом по університету від “12” листопада 20 19 року № 4/7-1015

2 Термін подання студентом проекту (роботи): грудень 2019 р.

3 Вихідні дані роботи: Об'єкт дослідження: алгоритми та пристрої управління двигунами переміщення антени радіолокаційної системи.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

Розділ 1 Сучасний стан електроприводів переміщення антен радіоелектронних систем

Розділ 2 Синтез регуляторів слідкуючої системи управління антеною

обробці

Розділ 3 Математичне моделювання слідкуючих систем управління антеною

Розділ 4 Спеціальна частина

Розділ 5 Обґрунтування економічної ефективності

Розділ 6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Розділ 7 Екологія

Висновки

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)



## АНОТАЦІЯ

Шевчук О.О. Дослідження алгоритмів управління двигунами переміщення антени радіолокаційної системи – Рукопис.

Дипломна робота на здобуття освітнього ступеня магістра 172 – “Телекомунікації та радіотехніка”. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль 2019.

У дипломній роботі магістра проведено дослідження та аналіз сучасного стану алгоритмів управління вентилями двигунами переміщення антени радіолокаційної системи, досліджено методи управління двигунами, змодельована система управління двигунами, зпроектовано модель оптимального алгоритму управління двигунами.

Ключові слова: антена, алгоритм, вентильний двигун, електропривід, радіолокаційна система

## ANNOTATION

Shevchuk O. Investigation of radar system antenna displacement engines control algorithms – Manuscript,

The diploma paper for obtaining the Master's degree 172 – Telecommunications and radio engineering – Ivan Puluj Ternopil National Technical University, Ternopil 2019.

In the master's thesis the research and analysis of the current state of the algorithms of control of valve motors of antenna displacement of the radar system were carried out, the methods of motor control were investigated, the engine management system was modeled, modeled the optimal motors control algorithm was designed.

Keywords: antenna, asynchronous motor, algorithm, electric drive, radar system

## ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ АНТЕН РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ.....	12
1.1 Основні технічні характеристики АФП та САУ .....	14
1.2 Математичний опис вентильних двигунів .....	17
1.3 Розрахунок параметрів двигунів приводів азимута, поперечного крену і кута місця.....	21
1.4 Висновки до розділу 1 .....	23
РОЗДІЛ 2 СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ СЛІДКУЮЧОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АНТЕНОЮ .....	24
2.2 Контур регулювання струму.....	32
2.3 Контур регулювання швидкості.....	37
2.4 Контур регулювання положення.....	44
2.5 Висновки до розділу 2.....	47
РОЗДІЛ 3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЛІДКУЮЧИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ АНТЕНОЮ .....	48
3.1 Дослідження контурів регулювання сліdkуючих системи при ступінчастому вхідному впливі.....	48
3.2 Дослідження сліdkуючих систем управління антеною на грубість до варіацій параметрів об'єкту управління.....	60
3.3 Дослідження впливу збурюючих впливів на якість регулювання сліdkуючих систем управління антеною .....	64
3.4 Висновки до розділу 3 .....	71
РОЗДІЛ 4 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА .....	72
4.1 Програмне середовище математичного моделювання MATLAB ...	72
4.2 Середовище Simulink.....	75
РОЗДІЛ 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	82
5.1 Розрахунок норм часу на виконання науково–дослідної роботи ....	82

5.2 Розрахунок витрат на проведення НДР .....	82
5.3 Розрахунок ціни НДР і економічна ефективність від використання програмної системи .....	88
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	90
6.1 Охорона праці.....	90
6.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	94
РОЗДІЛ 7 ЕКОЛОГІЯ.....	98
7.1 Електромагнітне забруднення довкілля його вплив на людину. Шляхи його зменшення.....	98
7.2 Радіоекологія – один з нових розділів загальної екології .....	101
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104
ДОДАТКИ	105

## ВСТУП

*Актуальність теми дослідження.* Основним джерелом інформації про повітряну обстановку є радіолокаційне спостереження, що здійснюється радіотехнічними засобами України. Радіолокаційне спостереження ведеться черговими радіотехнічними підрозділами. Виходячи із завдань видів радіолокаційне спостереження повинно відповідати вимогам активності, оперативності та неперервності. Активність радіолокаційного спостереження забезпечується за рахунок правильного вибору радіолокаційних комплексів і станцій для ведення спостереження, своєчасного і правильного встановлення режимів їх роботи, відповідно до повітряної обстановки що складається. Максимальна ймовірність виявлення повітряних об'єктів досягається шляхом зменшення швидкості обертання антен радіолокаційних комплексів.

Одним із способів забезпечення необхідної оперативності радіолокаційного спостереження є правильний вибір і установка відповідного режиму роботи радіолокаційних комплексів. У свою чергу, неперервність супроводу повітряних об'єктів також забезпечується своєчасним застосуванням режимів роботи, відповідно дій повітряного судна.

Так, при пошуку цілі на низькій висоті огляд повітряного простору після виявлення цілі здійснюють на підвищеній швидкості обертання антен, що дозволяє отримати максимум інформації про цілі під час перебування їх в зонах виявлення.

Швидкість обертання антенних систем радіолокаційних комплексів і станцій при пошуку висотних цілей встановлюється максимальною, а при їхньому супроводі мінімальною. Зміна швидкості обертання антен здійснюється системою переміщення антен, вимоги до якої є суттєво суперечливі [3-5], що призводить при їх реалізації до підвищених габаритів та ваги, ускладнення апаратури, яка використовується, підвищеного енергоспоживання, збільшення вартості виробництва і експлуатації, зниження надійності і довговічності.



З іншої сторони, різноманіття завдань, що вирішуються радіолокаційними системами, а також широкий діапазон характеристик повітряних об'єктів не дозволяють обмежуватися застосуванням однотипних радіолокаційних станцій.

Системи переміщення антен, які використовуються в радіолокаційних системах різні, і в ряді випадків не в повній мірі здатні задовольнити вимогам. Які пред'являються до них по забезпеченню необхідної для пошуку і супроводу цілі частоти обертання антени.

У радіолокаційних станціях для виявлення об'єктів на низьких висотах, як правило, використовується режим качання, а для супроводу таких цілей використовується режим кругового огляду. Для пошуку і виявлення висотних цілей використовується режим секторного огляду з тридцятиградусним качанням. При цьому в залежності від призначення радіолокаційних комплексів і станцій, а також від задач, які вони розв'язують, частота обертання антеною системи різна.

**Мета і задачі дослідження.** Метою є створення слідкуючої системи управління антеною на базі вентильного двигуна і визначення оптимальних значень регуляторів для покращення динамічних характеристик антенного пристрою.

**Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати наступні задачі:**

- проведено аналіз вимог, які пред'являються до слідкуючих систем управління антеною;
- проведено аналіз сучасного стану технологій слідкуючих систем управління антеною;
- змодельовано роботу вентильного двигуна;
- розраховано параметри двигунів приводів азимута, поперечного крену і кута місця;
- проведено синтез регуляторів слідкуючої системи управління антеною;
- проведено математичне моделювання слідкуючих систем управління антеною;
- досліджено контури регулювання слідкуючих системи при ступінчастому вхідному впливі;

- досліджено слідкуючі системи управління антеною на грубість до варіацій параметрів об'єкту управління;
- дослідження вплив збурюючих впливів на якість регулювання слідкуючих систем управління антеною;
- перевірено динамічні похибки системи стабілізації, яка не повинна перевищувати 2-3 кутових хвилин при впливі можливих періодичних збурюючих кутів кильової качки, бортової качки і риску рівними  $\pm 25$ ,  $\pm 30$  і  $\pm 8$  градусів відповідно;
- обґрунтовано вибір типу двигуна слідкуючих систем управління антеною.

**Об'єкт дослідження.** Слідкуюча система управління антеною.

**Предмет дослідження.** Регулятори слідкуючих систем по трьох осях антенного пристрою з напівпровідниковим перетворювачем частоти, вентильним двигуном і з датчиками положення в колі зворотного зв'язку.

**Методи дослідження.** Для розв'язання поставлених задач використовувалися основні положення і методи теорії автоматичного управління, теорія експерименту, теорія ймовірності та методи математичної статистики.

**Наукова новизна отриманих результатів.** У магістерській роботі вперше:

- розроблено слідкуючу систему управління з безредукторним електроприводом з гіроскопічною системою стабілізації антени на основі вентильного двигуна з перетворювачами частоти.

**Апробація результатів досліджень.** Окремі результати роботи доповідались VIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів “Актуальні задачі сучасних технологій”. Тернопіль, ТНТУ, 27 – 28 листопада 2019 р.

**Практична цінність.** Впровадження Smart модуля управління з ціллю оптимізації процесів в автономному об'єкті. Основними є такі:

1. Запропонована математична модель та алгоритм роботи модуля управління антеною дозволить збільшити енергоефективність.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки. Розрахунково-пояснювальна записка складається із вступу, 7 розділів, висновків, бібліографії. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 104 арк. формату А4.

## РОЗДІЛ 1

### СУЧАСНИЙ СТАН ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ПЕРЕМІЩЕННЯ АНТЕН РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

Антено-фідерні пристрої (АФП) призначені для випромінювання і прийому електромагнітної енергії в напрямку на об'єкт, що знаходиться в просторі ціль. Система управління антенами (СУА) – це комплекс програмних засобів, електронних і електромеханічних пристроїв, призначений для наведення головного максимуму діаграми спрямованості антени в напрямку на ціль з мінімальною похибкою.

СУА станції має різні режими роботи, що дозволяють наводити АФП на ціль, що знаходяться як на геостаціонарній орбіті (ГСО), рухомі по високоеліптичних орбітах (ВЕО) та в навколоземному просторі.

Для виключення впливу на АФУ вітрових навантажень і з метою захисту від впливу навколишнього середовища антенні пристрої поміщені під радіопрозорі укриття (РПУ).

У радіолокаційних системах для виявлення цілей на низьких, як правило, використовується режим коли антена здійснює зворотно-поступальний рух в діапазоні  $30^\circ$ , а для супроводу таких цілей використовується режим “кругового огляду”. Для пошуку і виявлення висотних цілей використовується режим “секторного огляду” з тридцятиградусним зворотно-поступальним рухом, для стеження за такими цілями застосовується режим, який забезпечує вимір висоти цілі в максимально можливій зоні виявлення по куту місця. При цьому в залежності від призначення радіолокаційних систем, а також від задач, які вони розв'язують, частота обертання антенної системи різна. Так, в наземної трикоординатної радіолокаційної станції, яка призначена для далекого виявлення повітряних об'єктів, вимірювання їх просторових координат, огляд простору по азимуту здійснюється зі швидкостями обертання валу 3 або 6 об / хв.

При вирішенні ряду приватних завдань, таких як орієнтування, вимірювання діаграми спрямованості антен, коли антену необхідно встановлювати на заданий

азимут або здійснювати сканування по азимуту в заданому секторі, швидкість обертання антени змінюється в діапазоні від 0,1 до 0,3 об / хв.

У двохкоординатної, призначеної для далекого виявлення повітряних об'єктів, вимірювання їх просторових координат, основна і допоміжна антени переміщуються зі швидкостями 3 або 6 об / хв, а в технологічних режимах використовуються такі швидкості як 0,1-0,2 об / хв для основної антени і 0,5 об / хв для допоміжної антени.

В високомобільних, які призначені для виявлення повітряних суден, визначення їх дальності і азимуту, в режимі автономної роботи з круговим обертанням використовуються такі швидкості як  $2 \pm 0,2$  об / хв,  $4 \pm 0,2$  об / хв і  $6 \pm 0,3$  об / хв. При цьому швидкість 4 об / хв є основною швидкістю обертання і використовується для пошуку і виявлення цілей на всіх висотах. Швидкість 6 об / хв використовується при пошуку і виявленні цілей на низькій висоті. Швидкість 2 об / хв використовується для пошуку висотних цілей, а при їх виявленні включається швидкість 6 об / хв. При автономній роботі в режимі плавної зміни швидкості діапазон її зміни лежить від 0,3 до 6 об / хв, а для зняття діаграм спрямованості використовуються швидкості від 0 до 2 об / хв.

У рухомому радіовисотомірі, призначеному для роботи в якості засобу вимірювання частоти в складі радіолокаційного комплексу, приймально-передавальна кабіна переміщається по колу зі швидкістю 6 об / хв або 10 об / хв в варіанті незалежного обертання, а у варіанті синхронного з вимірювачем дальності кругового обертання використовується швидкість  $(3 \pm 0,2)$  об / хв або  $(6 \pm 0,2)$  об / хв.

Розглянуті варіанти режимів роботи РЛС і частот обертання антенних систем, які використовуються при цьому дають підставу стверджувати, що при проектуванні систем переміщення антен необхідно враховувати призначення РЛС, особливості їх застосування, а також характеристики антен, які використовуються.

Спільним для всіх систем переміщення антен, які використовуються в даний час є вимога забезпечення синхронного обертання всіх РЛС, що входять до складу радіолокаційного комплексу, а також вимога забезпечення незалежного обертання зі змінними частотами обертання.

## 1.1 Основні технічні характеристики АФП та САУ

Основні технічні характеристики АФУ і СУА станції наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Основні технічні характеристики АФУ і СУА

Найменування технічної характеристики	Значення
1. Зона огляду простору:	
– по азимуту	0-360°
– по куту місця	-2-90°
2. Режим наведення:	
	програмне наведення (ПН)
	ручне наведення (ПН)
	режим встановлення (РВ)
3. Режим корекції	по рівню сигналу
4. Тип підвіски опорно-поворотного пристрою (ОПП):	Трьохосьова неортогональна
5. Сектор обертання ОПП:	без обмеження від мінус 25° до 120°
6. Максимальна швидкість опрацювання розузгодження по кожній осі, не менше:	30°/с.
7. Динамічна похибка наведення по кожній осі, не більше с.	6

Загальний вигляд антенного пристрою зображено на рис. 1.1.

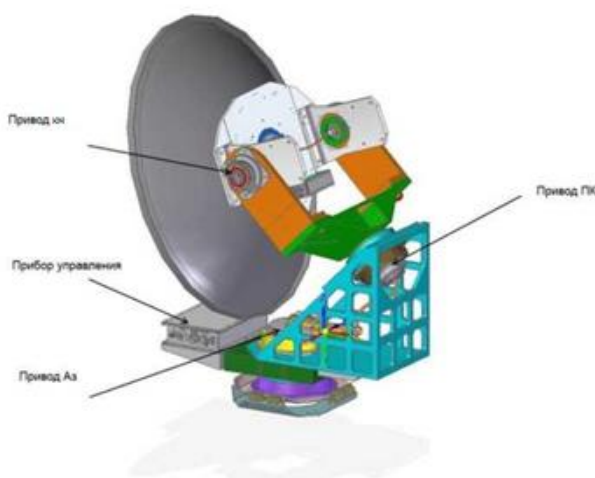


Рис. 1.1. Схема електрична функціональна слідкуючого азимутального приводу антени

Привід азимута включає в себе: двигун K254-185-5Y; датчик положення ЛІР-МС158; 16-ти розрядний перетворювач кут-код.

Привід поперечного крену включає в себе: двигун K254-150-5Y; датчик положення ЛІР-МС158; 16-ти розрядний перетворювач кут-код.

Привід кута місця включає в себе: двигун K254-120-5Y; датчик положення ЛІР-МС158; 16-ти розрядний перетворювач кут-код.

У роботі в якості об'єкта управління розглядаються вентильні двигуни серії BLDC. Безконтактні моментні електродвигуни з постійними магнітами на роторі широко застосовуються в приводах різних галузей промисловості. У режимі вентильного двигуна вони мають лінійні механічні і регульовальні характеристики, а також високою швидкістю, яка властива колекторним двигунам постійного струму, відрізняючись від них набагато більшою надійністю і терміном служби, особливо у важких умовах експлуатації систем залізничної, морської, авіаційної та космічної техніки. Електродвигуни нової серії BLDC в порівнянні з наявними аналогами мають підвищені енергетичні і динамічні показники за рахунок збільшення коефіцієнту статичної добротності по моменту і зниження електромеханічної сталої часу.

Основні технічні характеристики використовуваних в нашій роботі вентильних двигунів представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Основні технічні характеристики вентильних двигунів

	Найменування електродвигуна		
	K254-120-5Y	K254-150-5Y	K254-185-5Y
Номинальна напруга, В	27		
Гранична напруга, В	80		100
Максимальний статичний синхронізуючий момент при напрузі живлення 27 В, Н*м, не менше	2,79	11,7	17,2
Частота обертання при холостому ході, об./хв.	230-260	320-360	200-390
Номинальне значення максимального статичного моменту синхронізуючого моменту, Н * м не менше	1,0	4,0	16,0

Продовження Таблиці 1.2

	Найменування електродвигуна		
	K254-120-5Y	K254-150-5Y	K254-185-5Y
Коефіцієнт моменту, Н * м / А, не менше	1,0	0,8	61,0
Електромагнітна постійна часу, мс, не більше	2,0	4,0	6,0
Момент опору при знеструмлених обмотках, Н * м, не більше	0,12	4,0	6,0
Пульсація максимального статичного синхронізуючого моменту, % не більше	6,0		
Кутовий зміщення між фазами, ел. град.	120±3		
Нелінійність залежності максимального статичного синхронізуючого моменту від споживаного струму, %, не більше	7,0		
Коефіцієнт статичної добротності, (Н * м) / (кг * Вт), не менше	0,18	0,23	0,35
Коефіцієнт спотворення синусоїдальності, яка наводиться в обмотці двигуна ЕРС, %, не більше	3		
Коефіцієнт ЕРС, В * с / рад, не менше	1,0	0,8	6,1
Момент інерції ротора, кг * м <sup>2</sup> * 10 <sup>4</sup>	6,32	17,1	84,4
Число пар полюсів	10	10	16
Тепловий опір статора, °С / Вт	1,66	1,28	0,354
Електромеханічна постійна часу, мс	6,46	4,14	2,1

Давач положення ЛІР-МС158:

безкорпусний двополюсний обертовий трансформатор ЛІР-МС158 кл.0.2 застосовується в аналого-цифрових перетворювачах, системах передачі кута високої точності, як давачі зворотного зв'язку в системах, що стежать, за бортовою апаратурою.

Обертовий трансформатор ЛІР-МС158 являє собою чотириобмоткову машину

Технічні характеристики обертового трансформатора ЛІР-МС158:

Номінальна частота напруги збудження - 400Гц; Діапазон робочих частот напруги збудження -380-420Гц;



Зміна коефіцієнта трансформації при зміні температури навколишнього середовища на кожні 40 °С – 10%;

Габаритні розміри – d65x16ММ;

Маса - 0,17кг.

Умови експлуатації обертового трансформатора ЛІР-МС158:

Вібраційні навантаження:

- діапазон частот - не більше 300 Гц;
- прискорення - 100 м / с<sup>2</sup>;
- ударні навантаження - 120 м / с<sup>2</sup>;

Температура навколишнього середовища - від -60 до + 100 ° С;

Відносна вологість повітря при температурі 40 °С – 98%; Гарантійне напруцювання – 3000 год.

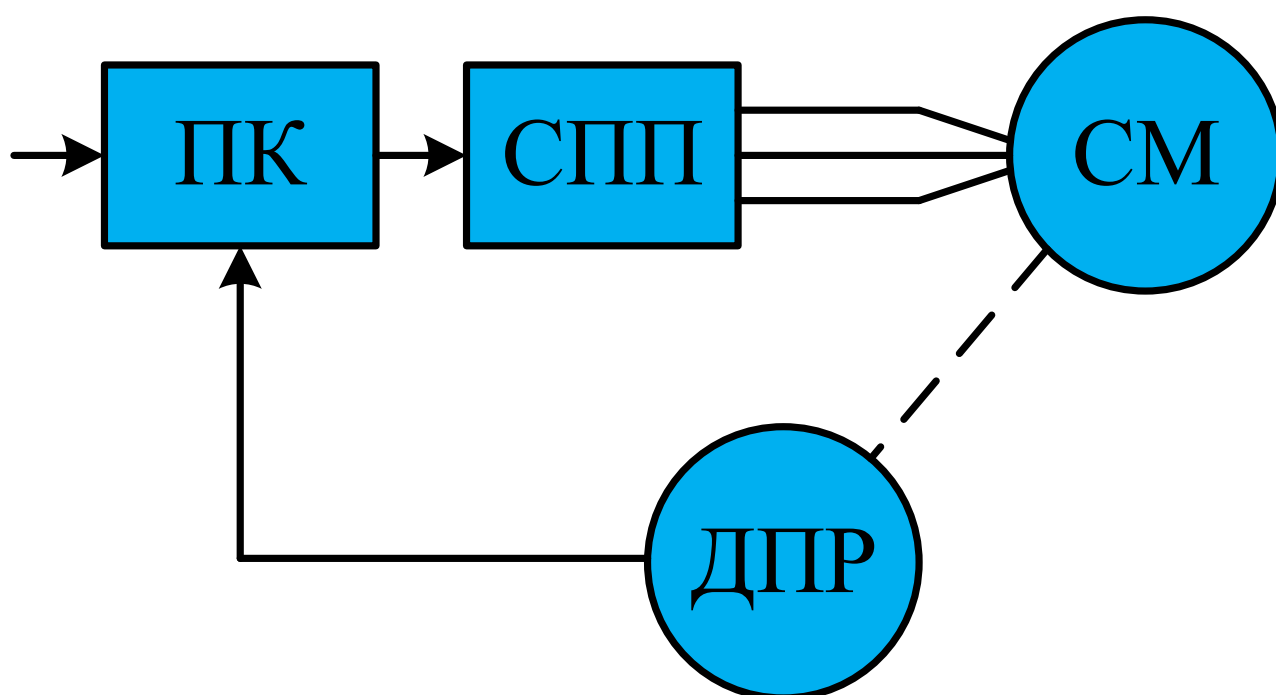
16-ти розрядний перетворювач кут-код (АЦП ВТ) – пристрій, призначений для перетворення кута повороту об'єкту, що обертається (валу) в електричні сигнали, що дозволяють визначити кут його повороту, джерелом вхідних сигналів є обертовий трансформатор (ОТ), який являє собою первинний давач кутового переміщення і перетворює кут повороту валу в дві змінних напруги, амплітуда яких пропорційна значенням синуса і косинуса вхідного кута. На основі послідовного включення синус-косинусного обертового трансформатора і АЦП ВТ отримується канал перетворень кутового переміщення в 16-ти розрядний цифровий код. Код в мікрозбірках формується в результаті подачі вхідних впливів – напруг на входах SIN, COS і сигналу F (опорний) частотою.

## 1.2 Математичний опис вентильних двигунів

У мехатронних системах з синхронними двигунами широке застосування знайшли магнітоелектричні і синхронні машини.

На базі цих машин проектуються підсистеми, які називаються вентильними двигунами.

Вентильні двигуни (ВД) див. рис. 1.1 – це пристрої, в яких магнітоелектрична синхронна машина з синусоїдальним розподілом магнітного поля в зазорі є частиною замкнутої системи з використанням датчика положення ротора (ДПР), перетворювача координат (ПК) і автономного інвертора. Форма магнітного поля в зазорі обумовлює спосіб формування напруги (струму) на виході автономного інвертора. У вентильному двигуні на виході інвертора необхідно формувати синусоїдальний струм, що досягається за рахунок синусоїдальної широтно-імпульсної модуляції в інверторі.



датчик положення ротора (ДПР); перетворювач координат (ПК); синхронна машина (СМ);

Рисунок 1.1. Функціональна модель вентильного двигуна

Інверторна модуляція відбувається в ПК, при цьому сигнал на вході ПК визначає амплітуду модулюючого сигналу, а сигнал з датчика положення ротора (кут повороту ротора) визначає миттєву фазу. Таким чином, за рахунок зміни вхідного сигналу, здійснюється регулювання вентильним двигуном.

Давачі положення ротора можна поділити на дві групи інерційні та безінерційні. До першої групи належать ДПР, виконані на трансформаторах обертання, індукційних. До другої – імпульсні і цифрові ДПР.

Статичні і динамічні характеристики ВД залежать від властивостей блоків, які входять до його складу.

Для спрощення математичного опису ВД використовується система координат d-q, яка жорстко пов'язана з ротором, при цьому з напрямком магнітного поля ротора спрямована вісь d.

В такому випадку операторні рівняння, якими описується електромеханічні і електромагнітні процеси в вентильному двигуні мають вигляд [1]:

$$U_d = R (T_d \cdot s + 1) i_d - \omega L_q i_q, \quad (1.1)$$

$$U_q = R (T_q \cdot s + 1) i_q + \omega L_d i_d + \Phi_0 \omega, \quad (1.2)$$

$$M = p \frac{m}{2} (\psi_0 \cdot i_q + (L_d - L_q) i_q i_d), \quad (1.3)$$

$$s \omega_m = R \frac{1}{J} (M - M_H), \quad (2.4)$$

$$s \theta_m = \omega_m, \omega = p \omega_m, \quad (1.5)$$

$$T_d = \frac{L_d}{R}, \quad (1.6)$$

$$T_q = \frac{L_q}{R}. \quad (1.7)$$

де  $U_d, U_q, i_d, i_q$  – проекції напруги і струму статора на осі d і q;

де  $T_d, T_q, L_d, L_q$  – постійні часу і індуктивності обмотки статора по поздовжній і поперечній осях;

$R$  – опір обмотки статора;

$\omega$  – кутова швидкість;

$\Phi_0$  – магнітний потік збудження двигуна;

$p$  – число пар полюсів;

$m$  – кількість фаз;

$\psi_0$  – номінальне потокощеплення;

$s$  – оператор Лапласа;

$\omega_m$  – механічна кутова швидкість;

$M$  – електромагнітний момент;

$M_H$  – момент навантаження і вт - механічний кут повороту валу;

$J$  – момент інерції ротора.

Структурна схема ВД, згідно за рівнянням (1.1-1.7), див. рис. 1.1.

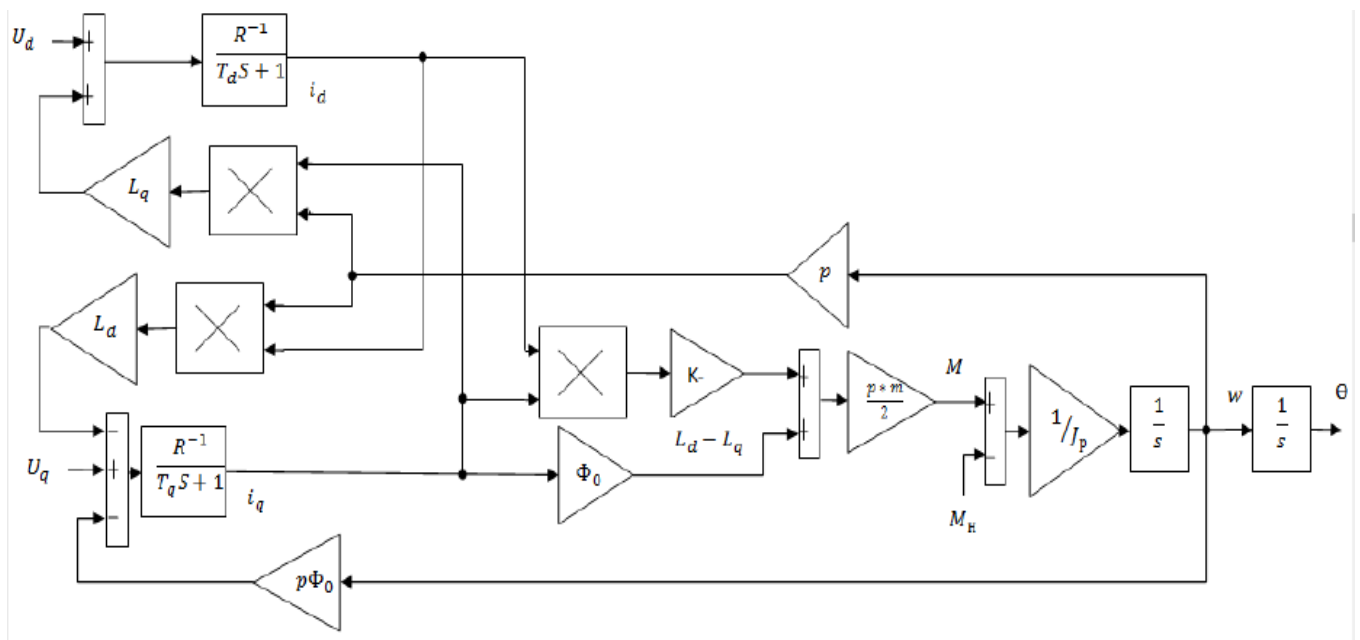


Рисунок 1.2. Структурна схема вентильного двигуна

Напруги  $U_d$ ,  $U_q$  задаються незалежно один від одного, а можна їх значення пов'язати з початковим встановленням датчика положення ротора в 0. У цьому випадку напруги  $U_d$ ,  $U_q$  визначаються виразами

$$U_d = u_1 K_{cep} \cos \theta_0 = U_1 \cos \theta_0, \quad (1.8)$$

$$U_q = u_1 K_{cep} \sin \theta_0 = U_1 \sin \theta_0, \quad (1.9)$$

Оскільки  $L_d = L_q$ , вплив перехресних зв'язків по змінних стану  $i_d$ ,  $i_q$  не враховується, що дозволяє використовувати для ВД модель ДПС див. рис. 1.3.

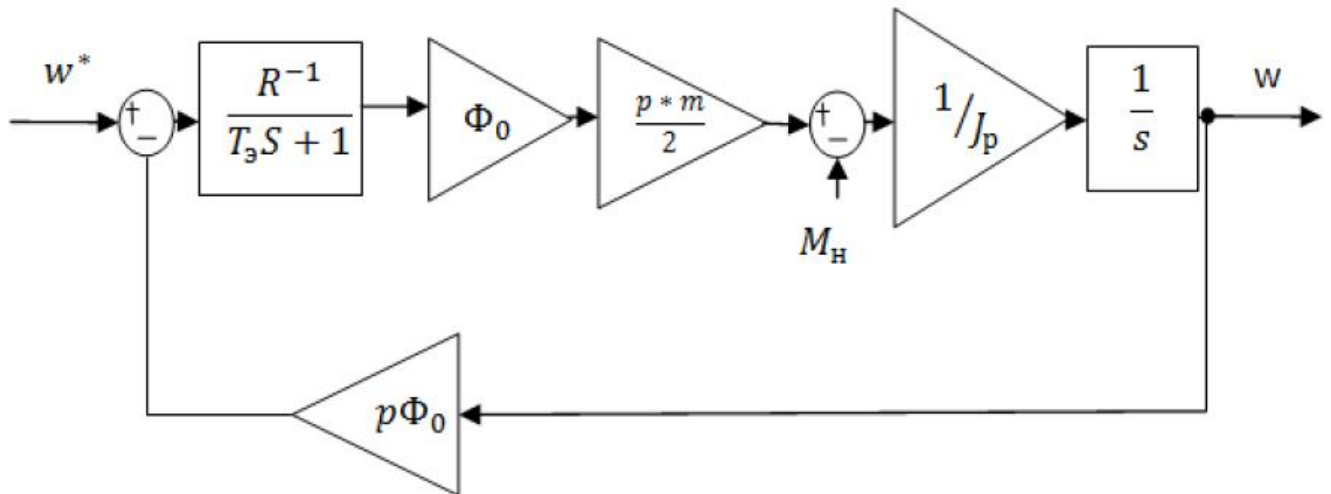


Рисунок 1.3. Спрощена структурна схема вентильного двигуна

1.3 Розрахунок параметрів двигунів приводів азимута, поперечного крену і кута місця

Розрахунок наведено на прикладі приводу азимута для двигуна К254-185-5У.

Передавальна функція електромагнітної інерції:

$$W_{EI}(p) = \frac{R^{-1}}{T_E + 1}, \quad (1.10)$$

$$W_{EI}(p) = \frac{0,46^{-1}}{0,004 s + 1} = \frac{2,17}{0,004 s + 1},$$

де  $R = 0,46$  – опір обмотки статора;

$T_E = 0,004$  – електромагнітна постійна часу.

Магнітний потік збудження двигуна ( $\Phi_0$ ) знаходиться за формулою:

$$\Phi_0 = \frac{C_E \Phi}{p}, \quad (1.11)$$

$$\Phi_0 = \frac{0,8}{10} = 0,08$$

де  $C_E \Phi = 0,8$  – коефіцієнт рушійної сили;

$p = 10$  – кількість пар полюсів.

Коефіцієнт конструкції:

$$k_K = \frac{p m}{2}, \quad (1.12)$$

$$k_K = \frac{10 \cdot 3}{2} = 15.$$

де  $m$  – кількість фаз, для даного двигуна дорівнює три.

Механічна інерція:

$$M_I = \frac{1}{J_p}, \quad (1.13)$$

$$M_I = \frac{1}{1,71 \cdot 10^{-4}} = 584,8.$$

Коефіцієнт електрорушійної сили:

$$k_{EC} = p \Phi_0, \quad (1.14)$$

$$k_{EC} = 10 \cdot 0,08 = 0,8$$

Розраховані параметри структурної схеми двигуна наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Параметри електродвигунів для структурної схеми рис. 1.1

	K254-120-5Y	K254-150-5Y	K254-185-5Y
$W_{EI}(p)$	$\frac{0,41}{0,002s+1}$	$\frac{2,17}{0,004s+1}$	$\frac{0,325}{0,006s+1}$
$\Phi_0$	0,1	0,09	0,37
$k_K$	14	15	23
$M_C$	2,81	11,9	18,2
$M_I$	1579,8	579,6	213,5
$k_{EC}$	1,1	0,79	5,9

#### 1.4 Висновки до розділу 1

В першому розділі магістерської роботи:

- проведено аналіз вимог, які пред’являються до слідкуючих систем управління антеною;
- проведено аналіз сучасного стану технологій слідкуючих систем управління антеною;
- змодельовано роботу вентильного двигуна;
- розраховано параметри двигунів приводів азимута, поперечного крену і кута місця.

## РОЗДІЛ 2

### СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРІВ СЛІДКУЮЧОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АНТЕНОЮ

В сучасних електроприводах переважно використовуються системи підпорядкованого регулювання. Система підпорядкованого регулювання – це система послідовного включення контурів регулювання, число яких повинно дорівнювати числу регульованих величин. На вхід кожного регулятора подається сигнал з попереднього каскаду, який відповідає заданому рівню регульованої величини, і сигнал з виходу даного каскаду, що відповідає фактичному рівню. Кожен попередній каскад є задаючим вузлом для наступних. Контур регулювання, як правило, проектується так, щоб мати тільки одну велику постійну часу. В цьому випадку можна використовувати однотипні регулятори.

Регулятор підбирається з умови, щоб при ввімкненні його послідовно з відповідною ланкою системи була скомпенсована велика постійна часу і замість неї діяла істотно менша постійна часу. При цьому результуюча еквівалентна ланка, що складається з початкової ланки і регулятора, має бути інтегруючою, з передавальною функцією.

Завдання синтезу полягає у визначенні структури і параметрів контурних регуляторів. Синтез здійснюється за методикою [2].

1. Синтез регуляторів проводиться послідовно, починаючи з регулятора внутрішнього контуру. Після цього синтезуються регулятори проміжних контурів і, після цього, регулятор зовнішнього контуру.

2. Контурний регулятор виконується у вигляді послідовного коригуючого пристрою, що забезпечує бажані властивості даної локальної системою регулювання. Регулятор будується з таким розрахунком, щоб своєю дією він:

а) компенсував дію (і перш за все прояв інерційності) ланки об'єкта, що потрапляє в даний контур;

б) забезпечував астатизм системи по керуючому впливу (тобто рівність нулю усталеною помилки САР при певному типі керуючого впливу).



в) забезпечував оптимізацію процесів регулювання за обраним критерієм.

### 2.1.1 Синтез регулятора першого контуру

Основою синтезу регулятора є розрахункова схема САР величини  $x_1$  див.

рис. 2.1.

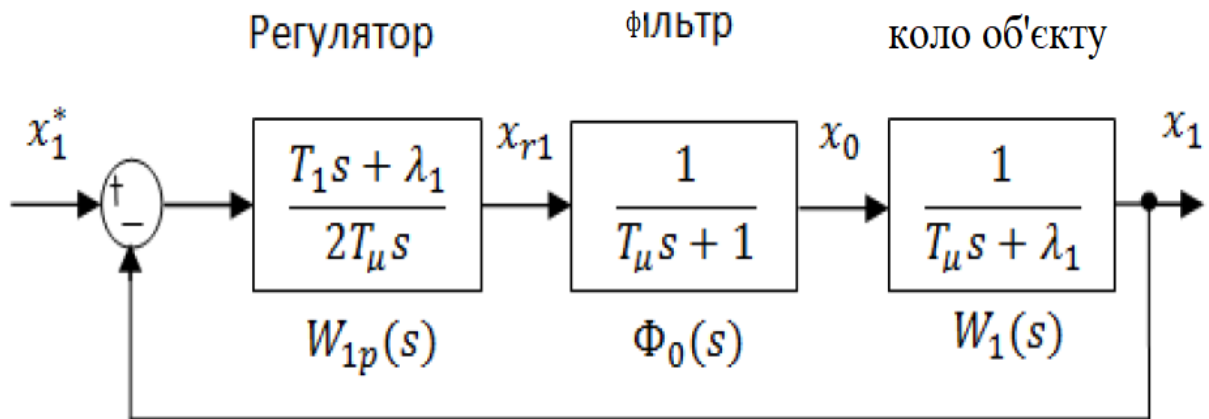


Рисунок 2.1. Вид квадратурного І-сигналу, отриманого з АЦП, і його спектр

На даному рисунку показана замкнута система з регулюванням по відхиленню, що включає в себе: регулятор  $W_{1p}(p)$ , фільтр  $\Phi_0(p)$  і ланка об'єкту  $W_1(p)$ . Давач регульованої величини  $x_1$  забезпечує одиничний зворотний зв'язок замкнутої САР.

До складу структури керованої частини першого контуру входить – фільтр і ланка об'єкту:

$$\Phi_0(s) = \frac{1}{T_\mu s + 1}, \quad (2.1)$$

Магнітний потік збудження двигуна ( $\Phi_0$ ) знаходиться за формулою:

$$W_1(s) = \frac{R^{-1}}{\tau_1 s + \lambda_1}, \quad (2.2)$$

де  $T_{\mu}$  – некомпенсовані постійна часу, що обирається, виходячи з необхідної швидкодії та завадостійкості системи регулювання;

$\tau_1, \lambda_1$  – параметри ланки об'єкту, що потрапляє в перший контур регулювання.

Параметри передавальної функції ланки об'єкту можуть задавати три типи ланок об'єкту регулювання:

1) якщо  $\tau_1 > 0$ , та  $\lambda_1 > 0$ , то ланка є аперіодичною. В цьому випадку параметри об'єкту визначаються як

$\lambda_1^{-1}$  – коефіцієнт підсилення;

$\tau_1 \lambda_1^{-1}$  – постійна часу;

2) якщо  $\tau_1 > 0$ ,  $\lambda_1 = 0$ , то  $W_1(s) = \frac{1}{\tau_1 p}$ , ланка є інтегруюча;

3) якщо  $\tau_1 = 0$ ,  $\lambda_1 > 0$  то  $W_1(s) = \frac{1}{\lambda_1}$ , ланка є підсилювальним.

До відомих елементів САР так само відноситься і давач регульованої величини. Так як  $D_1(p) = 1$ , (ПФ давача регульованої величини), то система з безінерційним зворотним зв'язком по  $x_1$ .

Параметри і структура регулятора величини  $x_1$  вибираються виходячи з вирішення основних завдань.

Для компенсації дії ланки об'єкту методом послідовної корекції в структуру регулятора вводиться ланка, ПФ якої обернена ПФ компенсуючої ланки:

$$W_{K1}(s) = \frac{1}{W_1(s)}, \quad (2.3)$$

Для забезпечення астатизму в структуру регулятора послідовно вводиться інтегруюча ланка:

$$W_{U1}(s) = \frac{1}{\tau_1 s}, \quad (2.4)$$

Загальний вигляд передавальної функції регулятора:

$$W_{1p}(s) = \frac{1}{W_1(s)} \cdot \frac{1}{\tau_1 s}, \quad (2.5)$$

Щодо структури регулятор складається з компенсуючої і інтегруючої частин.

Для подальшого синтезу регулятора необхідно визначити його, оптимізуючі процеси регулювання по деякому критерію.  $T_1$  – постійна часу інтегруючої ланки – єдиний параметр регулятора, який можна варіювати і використовувати для оптимізації процесу. Цю величину зручно виразити в частках від  $T_\mu$  ( $T_\mu$  – некомпенсована постійна часу), використовуючи коефіцієнт  $\alpha_1$  :

$$T_1 = \alpha_1 T_\mu, \quad (2.6)$$

Оптимальним варіантом налаштування регулятора вважається такий, при якому,  $\alpha_1 = 2$  [2].

$$T_1 = 2 T_\mu, \quad (2.7)$$

Цей варіант налаштування регулятора поєднує в собі високу швидкість протікання процесу, і невелике перерегулювання. Такий варіант налаштування має спеціальну назву: налаштування на технічний або модульний оптимум.

Завдяки компенсуючій дії регулятора швидкодія системи не залежить від параметрів об'єкту регулювання і повністю визначається обраною величиною базової (некомпенсованої) постійної часу  $T_\mu$ . У зв'язку з цим за допомогою зміни  $T_\mu$

досягається необхідна швидкодія САР і зберігається при цьому стандартне перерегулювання.

Для синтезу наступних регуляторів необхідно визначити передавальну функцію замкненої системи регулювання величини  $x_1$  як елемента, який підчиняється наступному регулятору.

Знайдемо передавальну функцію розімкнутої системи:

$$G_1(s) = W_{1p}(s) \Phi_0(s) W_1(s) = \frac{1}{W_1(s)} \frac{1}{T_1 s} \frac{1}{T_\mu s + 1}, \quad (2.8)$$

Отримуємо вираз, що характеризує стандартну ПФ розімкнутої системи, налаштованої на модульний оптимум:

$$G_1(s) = \frac{1}{T_1 s} \frac{1}{T_\mu s + 1}, \quad (2.9)$$

За допомогою формули замикання системи одиничним від'ємним зворотним зв'язком [3]:

$$\Phi_1(s) = \frac{G_1(s)}{G_1(s) + 1}, \quad (2.10)$$

Знайдемо передавальну функцію замкнутої, налаштованої на модульний оптимум, системи:

$$\Phi_1(s) = \frac{1}{2T_\mu^2 s^2 + 2T_\mu s + 1}, \quad (2.11)$$

### 2.1.2 Синтез регулятора другого контуру

Схема для розрахунку системи регулювання величини  $x_2$  (рисунок 2.2) складається з регулятора з функцією передачі  $W_{2p}(s)$ , яку необхідно знайти, замкнутої оптимально налаштованої САР величини  $x_1$  з ПФ  $\Phi_1(s)$  і ланки об'єкту з ПФ  $W_2(s)$ . Замкнута САР величини  $x_1$ , підпорядкована регулятору другого контуру, обмежує смугу пропускання внутрішньої системи. У зв'язку з цим в системі регулювання величини  $x_2$  замкнута САР величини  $x_1$  розглядається як некомпенсована частина.



Рисунок 2.2. Схема для розрахунку системи регулювання величини  $x_2$

Для синтезу регулятора використовуємо ту ж методику, що і для першого. Передавальна функція регулятора:

$$W_{2p}(s) = \frac{1}{T_2 s}, \quad (2.12)$$

Як і в попередньому розрахунку, варійований параметр регулятора – величина постійної часу  $T_2$  його інтегруючої ланки. За стандартною методикою дана система налаштовується на модульний оптимум за умови:

$$T_2 = 2T_1 = 4T_\mu, \quad (2.13)$$

Для даної системи існують стандартні ПФ, що відрізняються від ПФ попередньої системи. Розглянемо ПФ другої системи з налаштуванням на модульний оптимум. ПФ системи в розімкнутому стані:

$$G_2(s) = W_{2p}(s) \Phi_1(s) W_2(s) = \frac{1}{W_2(s)} \frac{1}{T_2 s} \times$$

$$\times \frac{1}{2 T_\mu^2 s^2 + 2 T_\mu s + 1} W_2(s), \quad (2.14)$$

Стандартна передавальна функція розімкнутої системи:

$$G_2(s) = \frac{1}{4 T_2 s} \frac{1}{2 T_\mu^2 s^2 + 2 T_\mu s + 1}, \quad (2.15)$$

Від'ємним зворотним зв'язком замикаємо систему:

$$\Phi_2(s) = \frac{G_2(s)}{G_2(s) + 1}, \quad (2.16)$$

Отримуємо стандартну ПФ другої замкнутої системи:

$$\Phi_2(s) = \frac{1}{8 T_\mu^3 s^3 + 8 T_\mu^2 s^2 + 4 T_\mu s + 1}, \quad (2.17)$$

### 2.1.3 Синтез регулятора третього контуру

Структура схеми САР величини  $x_2$ , яка розраховується див. рис. 2.3 триланкова, аналогічна попереднім, роль некомпенсованої ланки виконує замкнута САР величини  $x_2$ .

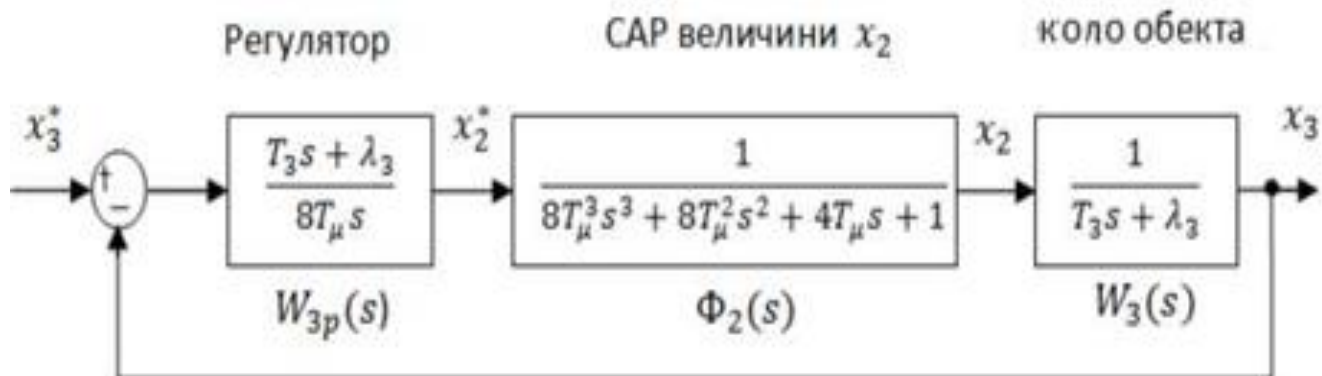


Рисунок 2.3. Схема для розрахунку системи регулювання величини  $x_3$

За стандартною методикою передавальна функція регулятора:

$$W_{3p}(s) = \frac{1}{T_3 s}, \quad (2.18)$$

Умови оптимального налаштування регулятора:

$$T_2 = 2T_2 = 4T_1 = 8T_\mu, \quad (2.19)$$

Передавальна функція системи в розімкненому стані:

$$G_2(s) = \frac{1}{8T_2 s} \frac{1}{8T_\mu^3 s^3 + 8T_\mu^2 s^2 + 4T_\mu s + 1}, \quad (2.20)$$

В результаті стандартна передавальна функція третьої замкнутої системи:

$$\Phi_3(s) = \frac{1}{64T_\mu^4 s^4 + 64T_\mu^3 s^3 + 32T_\mu^2 s^2 + 8T_\mu s + 1}, \quad (2.21)$$

## 2.2 Контур регулювання струму

### 2.2.1 Методика синтезу регулятора струму

Контур струму є першим (внутрішнім), тому від вибору величини  $T_{CP}$  (некомпенсована постійна часу) цього контуру залежить швидкодія повної системи регулювання.

Схема регулювання контуру струму див. рис. 2.4 складається з силового перетворювача, ланки електромагнітної інерції і коефіцієнта зворотного зв'язку по струму.

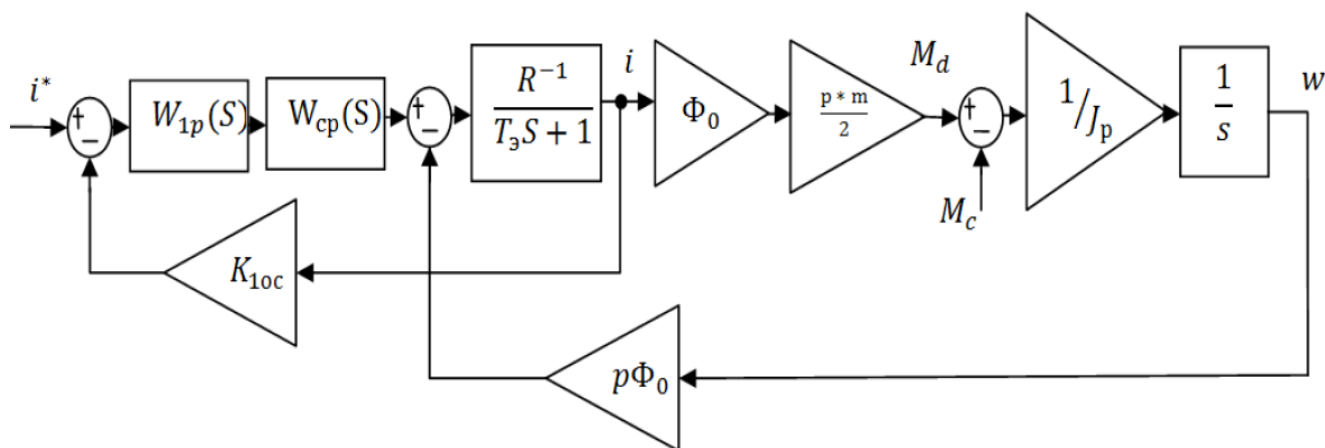


Рисунок 2.4. Схема регулювання контуру струму

Передавальна функція об'єкту регулювання контуру струму:

$$W_{OPC}(s) = \frac{K_{CP} K_{133}}{R(T_{CP}s + 1)(T_E s + 1)}, \quad (2.22)$$

де  $R$  – опір обмотки двигуна;

$T_E$  – електромагнітна постійна часу;

$K_{10c}$  – коефіцієнт передачі зворотного зв'язку по струму.



ВД управляється від силового регулятора (представлений ланкою  $W_{CP}(s)$ ). На вхід регулятора з ПФ  $W_{1P}(s)$ , який керується силовим регулятором, подається різниця сигналу управління і зворотного зв'язку по струму.

Передавальна функція регулятора:

$$W_{1P}(s) = \frac{(T_E s + 1) K_{1P}}{T_{CP} s}, \quad (2.23)$$

де  $K_{1P}$  – коефіцієнт підсилення для налаштування замкнутого контуру на оптимум по модулю.

$$K_{1P} = \frac{1}{2 K_{CP} K_{133} K_1}, \quad (2.24)$$

$K_{CP}$  – коефіцієнт підсилення перетворювача.

$$K_{CP} = \frac{U_1}{U_{3T \max}}, \quad (2.25)$$

де  $U_1$  – максимальне напруження живлення;

$U_{3T \max}$  – максимальне значення напруги в системі управління відповідає завданню на струм двигуна.

$K_1$  – коефіцієнт передачі ланки електромагнітної інерції двигуна.

$$K_1 = \frac{1}{R}, \quad (2.26)$$

В якості силового перетворювача використано перетворювач частоти з широтно-імпульсною модуляцією вихідної напруги. Перетворювач представлений ланкою з затримкою на період комутації  $T_{CP}$  і коефіцієнтом посилення  $K_{CP}$ . Задавши частоту комутації 500 Гц, тоді  $T_{CP} = 2 \text{ мс}$ .

При синтезі регулятора контуру струму представимо силовий перетворювач аперіодичною ланкою з передавальною функцією:

$$W_{CP}(s) = \frac{K_{CP}}{T_{CP}s + 1}, \quad (2.27)$$

### 2.2.2 Формування сигналу зворотного зв'язку по струму

Коефіцієнт зворотного зв'язку див. рис. 2.5 по струму  $K_{133}$  вибирають з виразу [4].

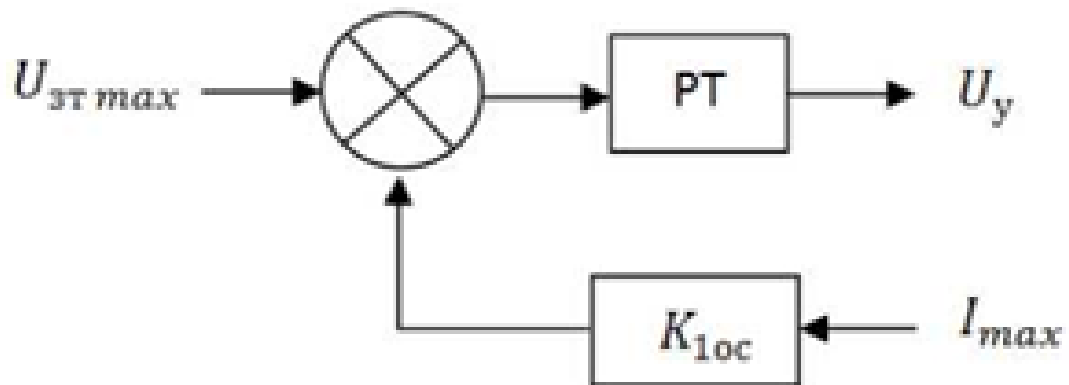


Рисунок 2.5. Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму

$$I_{\max} K_{133} = U_{3T \max}, \quad (2.28)$$

де  $I_{\max}$  – максимальний струм в обмотці двигуна;

$U_{3T \max}$  – максимальне значення напруги в системі управління відповідає заданням на струм двигуна.

$$K_{133} = \frac{U_{3T \max}}{I_{\max}}, \quad (2.29)$$

де  $U_{3T \max}$  – приймаємо рівним 10;

$I_{\max}$  – знаходимо за формулою:

$$I_{\max} = \frac{M_{\max}}{CeM}, \quad (2.30)$$

де  $M_{\max}$  – максимальний статичний синхронізуючий момент;

$CeM$  – коефіцієнт моменту для 3-х фазного живлення:

$$CeM = 1,5 CeM_2, \quad (2.31)$$

Де  $CeM_2$  – коефіцієнт моменту для 2-х фазного живлення,

1,5 – коефіцієнт перетворення коефіцієнта моменту з 2-х фазної системи в 3-х фазну [5].

2.2.3 Розрахунок регуляторів струму двигуна приводів азимута, поперечного крену і кута місця

Розрахунок наведено на прикладі приводу поперечного крену для двигуна К254-150-5У:

Передавальна функція пропорційно-інтегрального регулятора див. рис. 2.23:

$$W_{1p}(s) = \frac{0,000112 s + 0,028}{0,002 s},$$

$K_{1p}$  – коефіцієнт підсилення для налаштування замкнутого контуру на оптимум по модулю див. рис. 2.24:

$$K_{1p} = \frac{1}{2 \cdot 8 \cdot 1,025 \cdot 2,17} = 0,028,$$

$K_{cp}$  – коефіцієнт підсилення перетворювача:

$$K_{cp} = \frac{U_1}{U_Y}, \quad (2.32)$$

$$K_{cp} = \frac{80}{10} = 8,$$

де  $U_1$  – максимальна напруга живлення (таблиця 1) 80В;

$U_{3T \max}$  – максимальне значення напруги в системі управління двигуна 1В;

$K$  – коефіцієнт передачі ланки електромагнітної інерції двигуна (Опір обмотки двигуна –  $R = 0,46$  (таблиця 2)).

$$K_1 = \frac{1}{R}, \quad (2.33)$$

$$K_1 = \frac{1}{0,46} = 2,17,$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму  $K_{133}$  згідно 2.29:

$$K_{133} = \frac{10}{9,75} = 1,025,$$

$U_{3T \max} = 10$ В;

$I_{\max}$  – знаходимо за формулою 2.30 при  $M_{\max}=11,7$ , та з 2.31  $CeM = 1,5 \cdot 0,8 = 1,2$ , для  $CeM_2 = 0,8$  :

$$I_{\max} = \frac{11,7}{1,2} = 9,75,$$

Силовий регулятор див. рис. 2.29:

$$W_{CP}(s) = \frac{8}{0,002s + 1},$$

Розраховані параметри контуру струму для всіх трьох приводів див. таблицю 4.

Таблиця 2.1

Розраховані параметри контуру струму для всіх трьох приводів

	K254-120-5Y	K254-150-5Y	K254-185-5Y
$W_{1p}(s)$	$\frac{0,000056s + 0,028}{0,002s}$	$\frac{0,000112s + 0,028}{0,002s}$	$\frac{0,000174s + 0,029}{0,002s}$
$W_{cp}(s)$	$\frac{8}{0,002s + 1}$	$\frac{8}{0,002s + 1}$	$\frac{10}{0,002s + 1}$
$K_{133}(s)$	5,38	1,025	5,32

## 2.3 Контур регулювання швидкості

### 2.3.1 Однократна система регулювання швидкості

Однократні системи автоматичного регулювання швидкості проектується шляхом однократного доповнення розглянутої раніше САР струму системою автоматичного регулювання швидкості.

Однократна система автоматичної стабілізації швидкості виконується у вигляді замкнутої системи з регулюванням по відхиленню. При побудові САР швидкості необхідно додати до САР струму регулятор швидкості  $W_{1,1}(s)$  і давач швидкості  $K_{133}(s)$ . На вхід регулятора швидкості  $W_{1,1}(s)$  подається різниця сигналу управління і зворотного зв'язку по швидкості. На виході регулятора швидкості формується завдання струму якоря  $i_{я}$  для підпорядкованої йому системи регулювання струму якоря. Для регулювання швидкості використовується внутрішній контур регулювання струму якоря і зовнішній контур регулювання швидкості див. рис. 2.6.

За методикою передавальна функція регулятора швидкості інтегрування:

$$W_{1,1}(s) = \frac{T_j K_{133}}{T_w K_{233}}, \quad (2.34)$$

де  $T_w = 4 T_{cp}$  – постійна, що обирається, за умовою налаштування САР на модульний оптимум;

Інерційна постійна часу електроприводу:

$$T_j = \frac{2 J_p}{p m \Phi_0} \quad (2.35)$$

де  $T_p$  – момент інерції ротора;

$p$  – число пар полюсів;

$m$  – кількість фаз;

$\Phi_0$  – магнітний потік збудження двигуна:

$$\Phi_0 = \frac{C_e \Phi}{p}. \quad (2.36)$$

де  $Ce\Phi$  – коефіцієнт ЕРС.

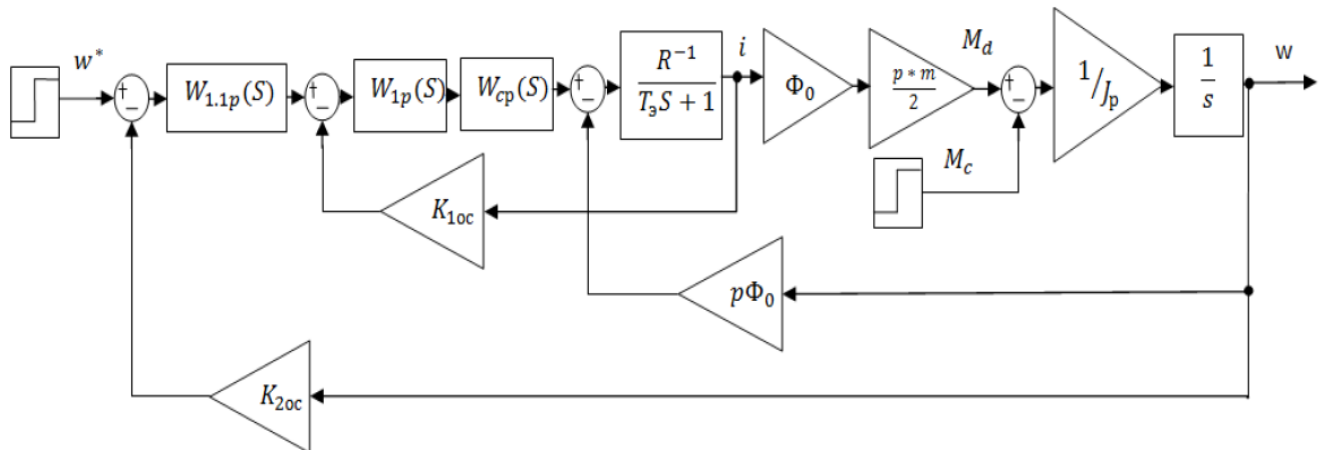


Рисунок 2.6. Однократна система автоматичного регулювання швидкості

Статизм по збуренню, властивий одноразовим САР положення, не дозволяє використовувати їх для механізмів з підвищеними вимогами по точності позиціонування. Підвищення точності позиційних САР в рамках структур підпорядкованого регулювання досягається за допомогою переходу від однократної САР положення до двократної. Тоді і САР швидкості теж повинна бути двократною [2].

Для того щоб забезпечити точність системи регулювання, необхідно перейти до двократної САР швидкості.

### 2.3.2 Двократна система регулювання швидкості

Двократну САР швидкості створюють за допомогою доповнення однократної системи автоматичної стабілізації ще одним контуром регулювання швидкості. Виходить триконтурна структура:

- 1) контур регулювання струму;
- 2) проміжний контур регулювання швидкості;
- 3) зовнішній контур регулювання швидкості.

Так як додатковий контур швидкості, так само як і попередній, регулює координату швидкості, то передавальна функція ланки об'єкту в додатковому контурі приймається рівною одиниці  $W_w(s) = 1$ .

Синтез додаткового регулятора швидкості здійснюється за типовою методикою:

$$\Phi = \frac{1}{T_w' s + 1}, \quad (2.37)$$

З урахуванням правила налаштування чергової системи автоматичної стабілізації на модульний оптимум приймаємо:  $T_w' = 2 T_w = 8 T_{cp}$  – постійна інтегрування.

Двократна система автоматичної стабілізації має внутрішній і зовнішній регулятори швидкості.

Еквівалентними перетвореннями переходимо від САР з двома регуляторами швидкості в схему з одним пропорційно-інтегральним регулятором швидкості і аперіодичним фільтром в колі задання див. рис. 2.7.

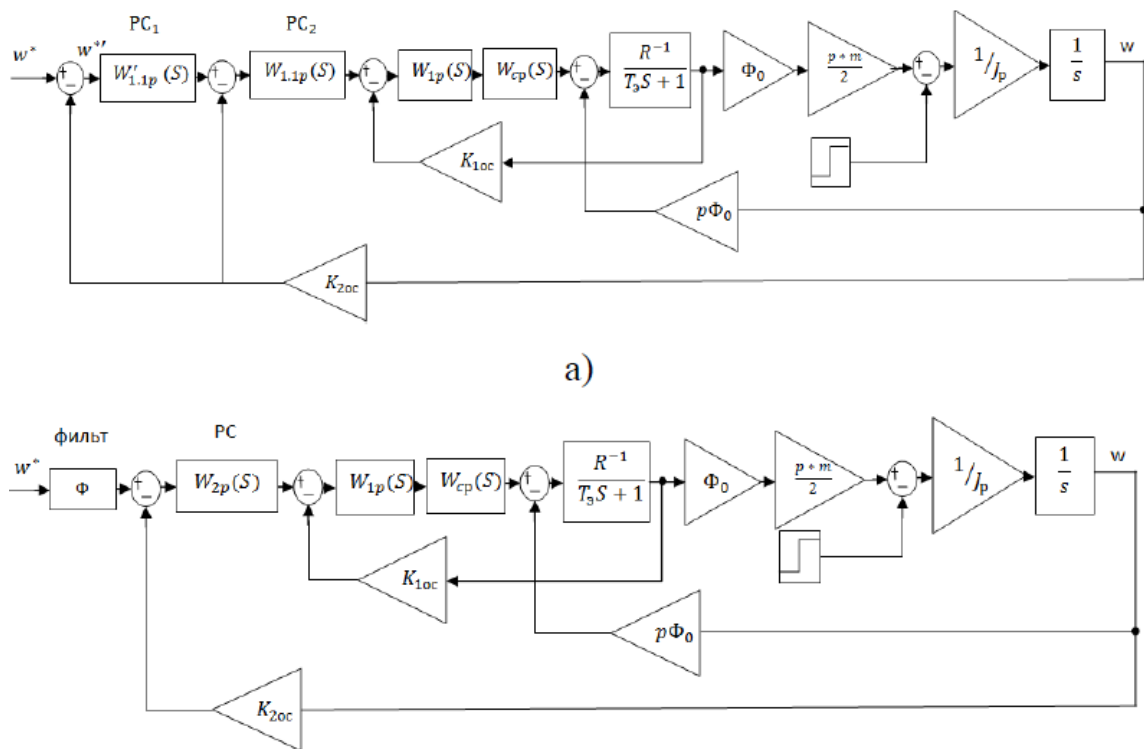


Рисунок 2.7. Об'єднання регуляторів двократною САР швидкості:

- а) вихідна структура з двома регуляторами швидкості; б) перетворена структура з об'єднаним регулятором швидкості і фільтром в колі задання



Передавальна функція аперіодичного фільтра в колі задання:

$$\Phi = \frac{1}{T_w' s + 1}, \quad (2.38)$$

Об'єднаний регулятор швидкості:

$$W_{2p}(s) = \frac{T_w' s + 1}{T_w' s} = \frac{T_j K_{133}}{T_w K_{233}}, \quad (2.39)$$

### 2.3.3 Формування сигналу зворотного зв'язку по швидкості

Коефіцієнт зворотного зв'язку див. рис. 2.8 по швидкості  $K_{233}$  вибирають з виразу (2.40) [4].

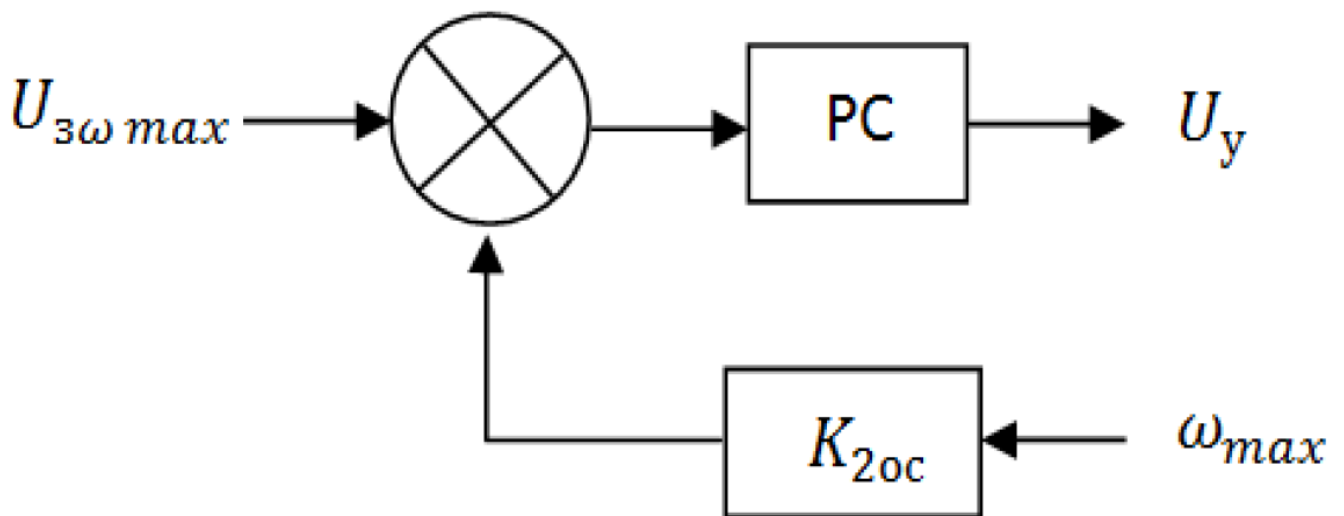


Рисунок 2.8. Функціональна схема зворотного зв'язку по швидкості

$$\omega_{\max} K_{233} = U_{з\omega \max}, \quad (2.40)$$

де  $\omega_{\max}$  – максимальна швидкість двигуна;

$U_{3\omega_{\max}}$  – максимальне значення напруги в системі управління, яке відповідає заданням на швидкість двигуна.

$$K_{233} = \frac{U_{3\omega_{\max}}}{\omega_{\max}}, \quad (2.41)$$

де  $U_{3\omega_{\max}}$  – приймаємо рівним 10;

$\omega_{\max}$  – знаходимо за формулою:

$$\omega_{\max} = \frac{2 \pi \nu}{60}, \quad (2.42)$$

де  $\nu$  – беремо з вихідних даних.

2.3.4 Розрахунок регуляторів швидкості двигуна приводів азимута, поперечного крену і кута місця

Розрахунок наведено на прикладі приводу поперечного крену для двигуна К254-150-5У:

Регулятор в однократної (проміжної) системі регулювання швидкості див. рис. 2.34:

$$W_{1,1}(s) = \frac{0,00143 \cdot 1,025}{0,008 \cdot 0,27} = 0,67,$$

де  $K_{133} = 0,67$  – коефіцієнт зворотного зв'язку по струму;

$T_w = 4 T_{cp} = 4 \cdot 0,002 = 0,008$  – постійна інтегрування;

$T_j$  – інерційна постійна часу електроприводу див. рис. 2.35:

$$T_j = \frac{2 \cdot 17,1 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 3 \cdot 0,8} = 0,00143$$

де  $J_p = 17,1 \cdot 10^{-4}$  – момент інерції ротора;

$p = 10$  – число пар полюсів;

$m = 3$  – кількість фаз;

$\Phi_0$  – магнітний потік збудження двигуна:

Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості див. рис. 2.41:

$$K_{233} = \frac{U_{3\omega_{\max}}}{\omega_{\max}},$$

де  $U_{3\omega_{\max}}$  – приймаємо рівним 10;

$\omega_{\max}$  – знаходимо за формулою 2.42:

$$\omega_{\max} = \frac{2 \pi 360}{60} = 37,7,$$

де  $\nu = 360$  – частота обертання при холостому ході.

Регулятор у зовнішній системі регулювання швидкості згідно 2.34:

$$W_{1,1}(s) = \frac{1}{0,016 s},$$

де  $T_w' = 2 T_w = 8 T_{cp} = 8 \cdot 0,002 = 0,016$

Об'єднаний регулятор швидкості в двократній системі регулювання швидкості:

$$W_{2p}(s) = \frac{W_{1.1p}(s) T_w' s + W_{1.1p}(s)}{T_w' s}, \quad (2.43)$$

$$W_{2p}(s) = \frac{0,674 \cdot 0,016 s + 0,674}{0,016 s},$$

Передавальна функція аперіодичного фільтра в колі задання згідно 2.38:

$$\Phi = \frac{1}{0,016 s + 1},$$

Розраховані параметри контуру швидкості для всіх трьох приводів в таблиці 2.

Таблиця 2.2

Розраховані параметри контуру струму для всіх трьох приводів

	K254-120-5Y	K254-150-5Y	K254-185-5Y
$W_{2p}(s)$	$\frac{0,01224 s + 0,765}{0,016 s}$	$\frac{0,0108 s + 0,674}{0,016 s}$	$\frac{0,004 s + 0,25}{0,016 s}$
$\Phi$	$\frac{1}{0,016 s + 1}$	$\frac{1}{0,016 s + 1}$	$\frac{1}{0,016 s + 1}$
$K_{233}(s)$	0,37	0,27	2,45

## 2.4 Контур регулювання положення

### 2.4.1 Система автоматичного регулювання положення

САР положення проектується шляхом доповнення розглянутої раніше САР швидкості системою автоматичного регулювання положення. При проектуванні САР положення необхідно додати до САР швидкості: давач положення  $K_{333}$ ; ре-

гулятор положення  $W_{3p}(s)$  і задання, яке виробляє сигнал положення  $\theta^*$  командний пристрій. На виході регулятора положення формується сигнал задання швидкості  $w^*$  який надходить на вхід, підпорядкованої йому САР швидкості. Для регулювання положення використовується триконтурна структура, що включає в себе: внутрішній контур регулювання струму якоря; проміжний контур регулювання швидкості; зовнішній контур регулювання положення див. рис. 2.9.

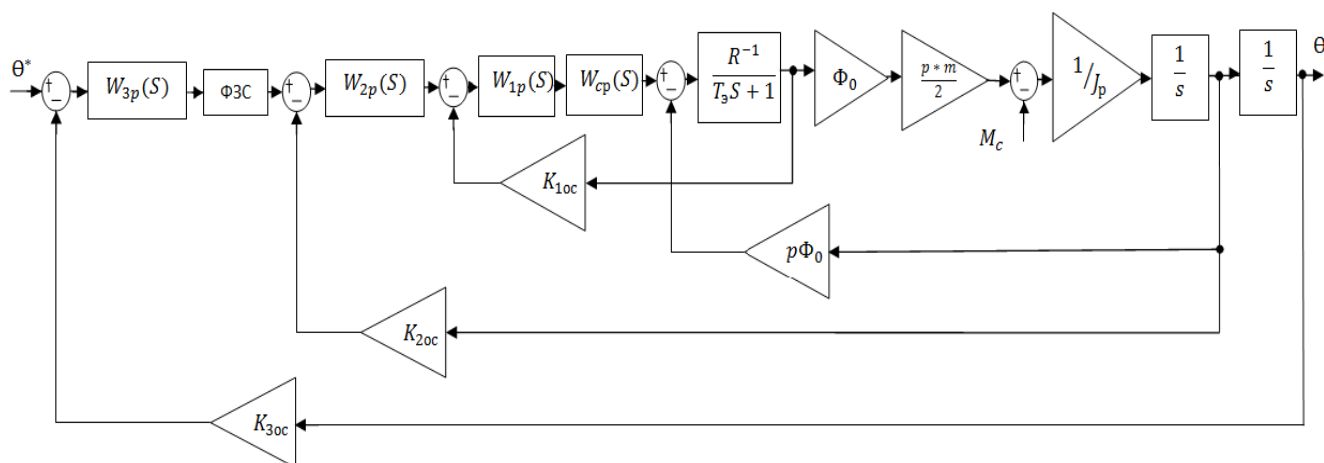


Рисунок 2.9. Контур регулювання положення

Синтез регулятора положення проводиться за стандартною методикою. Ланка об'єкту в контурі положення:

$$W_{\theta}(s) = \frac{1}{T_{\theta} s}, \quad (2.44)$$

де  $T_{\theta} = 1 \text{ c}$  – базисна постійна часу.

Відповідно до стандартної методики синтезу передавальної функції регулятора положення:

$$W_{3p}(s) = \frac{1}{W_{\theta}(s)} \cdot \frac{1}{T_{\theta} s}, \quad (2.45)$$

За умовою налаштування системи автоматичної стабілізації на модульний оптимум з урахуванням наявності підпорядкованої двократної САР швидкості приймаємо:  $T_{\theta} = 2 T_w' = 16 \cdot T_{cp}$  – постійна інтегрування.

У підсумку, з урахуванням коефіцієнтів передачі давачів положення  $K_{333}$  і швидкості  $K_{233}$ , отримуємо пропорційний регулятор положення з передавальною функцією:

$$W_{2p}(s) = \frac{T_{\delta} K_{233}}{T_{\theta} K_{333}}, \quad (2.46)$$

2.4.2 Розрахунок регуляторів положення двигуна приводів азимута, поперечного крену і кута місця

Розрахунок наведено на прикладі приводу поперечного крену для двигуна.

Регулятор положення:

$$W_{3p}(s) = \frac{T_{\delta} K_{233}}{T_{\theta} K_{333}}, \quad (2.47)$$

$$W_{3p}(s) = \frac{1 \times 0,27}{0,032 \times 1} = 8,44 .$$

де  $T_{\delta} = 1 \text{ c}$  – базисна постійна часу;

$T_{\theta} = 16 T_{CP} = 0,032$  ;

$K_{233} = 0,27$  – коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості;

$K_{333} = 1$  – коефіцієнт зворотного зв'язку по положенню.

## 2.5 Висновки до розділу 2

В другому розділі магістерської роботи проведено синтез регуляторів слідкуючої системи управління антеною:

- контуру регулювання струму;
- контуру регулювання швидкості;
- контуру регулювання положення.

### РОЗДІЛ 3

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СЛІДКУЮЧИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ АНТЕНОЮ

3.1 Дослідження контурів регулювання слідкуючих системи при ступінчастому вхідному впливі

#### 3.1.1 Перехідні процеси в контурі регулювання струму

Розрахункова схема контуру регулювання струму див. рис. 3.1.

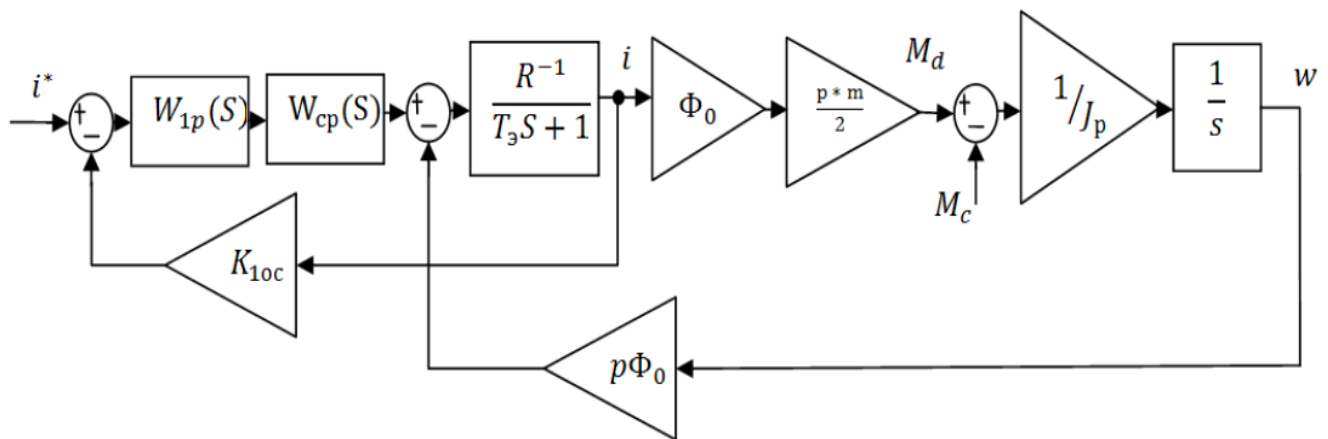


Рисунок 3.1. Схема контуру регулювання струму

На вхід регулятора струму подається сигнал задання  $i^*$  при  $U_{3\omega\max} = 10\text{ В}$  раніше прийняте максимальне значення напруги в системі управління, яке відповідне заданням на струм двигуна). Використовуючи значення (таблиці 3.1) регуляторів струму для двигунів всіх приводів (кута місця, поперечного крену, азимута), моделюємо перехідні процеси в контурі регулювання струму.



Таблиця 3.1  
Значення регуляторів струму для двигунів всіх приводів

	K254-120-5Y	K254-150-5Y	K254-185-5Y
$W_{2p}(s)$	$\frac{0,01224s + 0,765}{0,016s}$	$\frac{0,0108s + 0,674}{0,016s}$	$\frac{0,004s + 0,25}{0,016s}$
$\Phi$	$\frac{1}{0,016s + 1}$	$\frac{1}{0,016s + 1}$	$\frac{1}{0,016s + 1}$
$K_{233}(s)$	0,37	0,27	2,45
$W_{EI}(p)$	$\frac{0,41}{0,002s + 1}$	$\frac{2,17}{0,004s + 1}$	$\frac{0,325}{0,006s + 1}$
$\Phi_0$	0,1	0,09	0,37
$k_K$	14	15	23
$M_C$	2,81	11,9	18,2
$M_I$	1579,8	579,6	213,5
$k_{EC}$	1,1	0,79	5,9
$W_{1p}(s)$	$\frac{0,000056s + 0,028}{0,002s}$	$\frac{0,000112s + 0,028}{0,002s}$	$\frac{0,000174s + 0,029}{0,002s}$
$W_{cp}(s)$	$\frac{8}{0,002s + 1}$	$\frac{8}{0,002s + 1}$	$\frac{10}{0,002s + 1}$
$K_{133}(s)$	5,38	1,025	5,32

Перевірка контуру струму здійснюється в нерухомому стані, щоб виключити вплив ЕРС двигуна див. рис. 3.2 – 3.8.

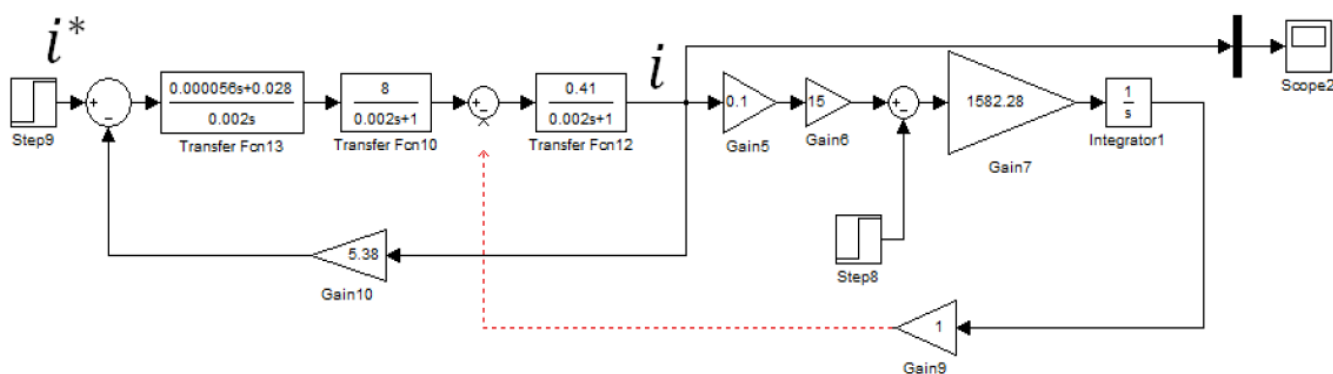


Рисунок 3.2. Привід кута місця контур регулювання струму

Графік перехідного процесу в контурі струму приводу кута місця, час перехідного процесу 1,01 мс, перерегулювання – 3,76% див. рис. 3.3.

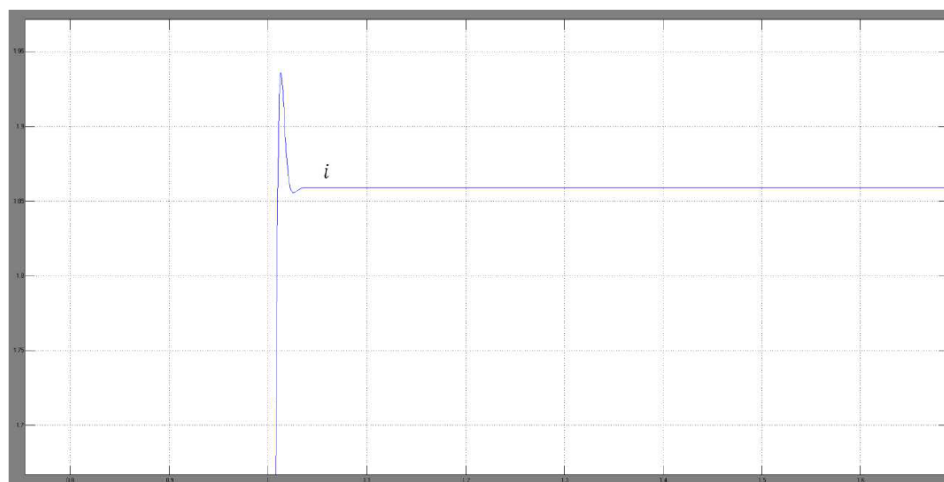


Рисунок 3.3. Привід кута місця перехідний процес в контурі регулювання струму

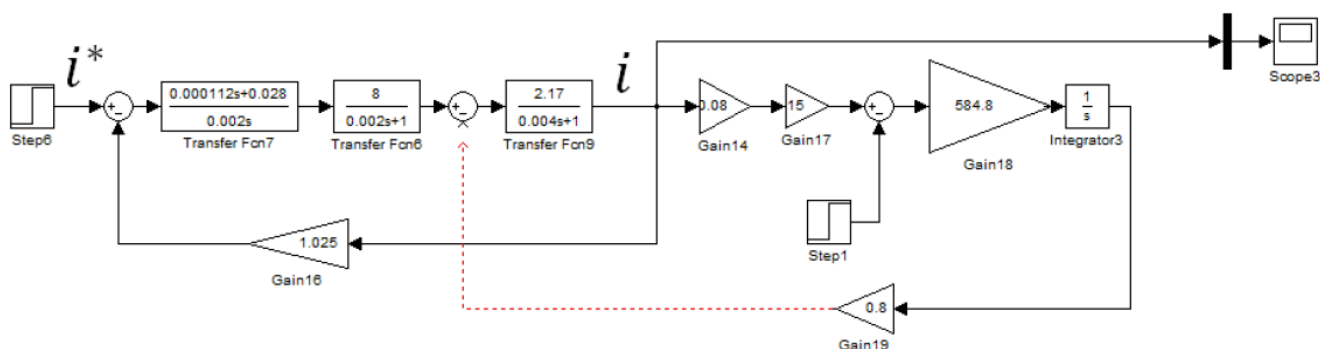


Рисунок 3.4. Привід поперечного крену контур регулювання струму

Графік перехідного процесу в контурі струму приводу поперечного крену, час перехідного процесу 1,01 мс, перерегулювання – 4,3% див. рис. 3.5.

Графік перехідного процесу в контурі струму приводу азимуту, час перехідного процесу 1,01 мс, перерегулювання – 4,25% див. рис. 3.7.



Рисунок 3.5. Привід поперечного крену перехідний процес в контурі регулювання струму

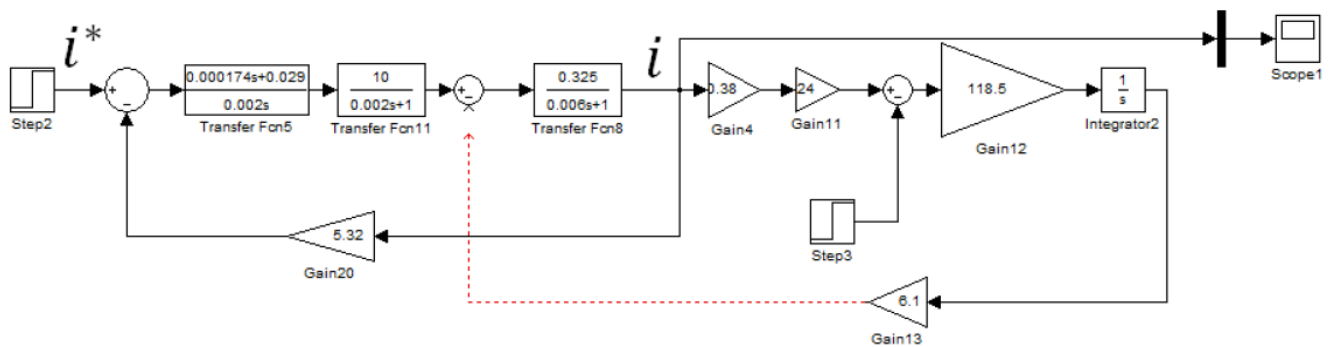


Рисунок 3.6. Привід азимуту контур регулювання струму

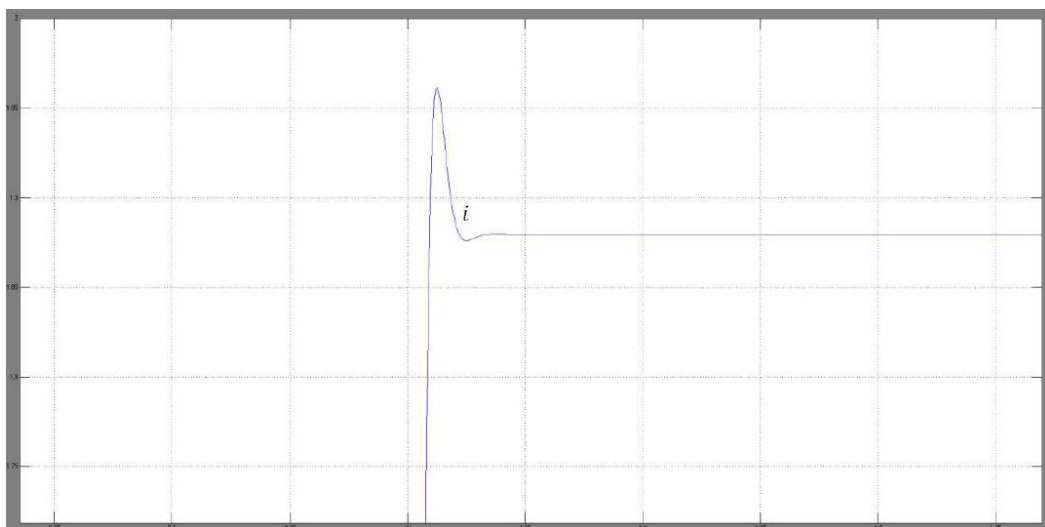


Рисунок 3.7. Привід азимуту перехідний процес в контурі регулювання струму

### 3.1.2 Перехідні процеси в контурі регулювання швидкості

Розрахункова схема контуру регулювання швидкості див. рис. 3.8.

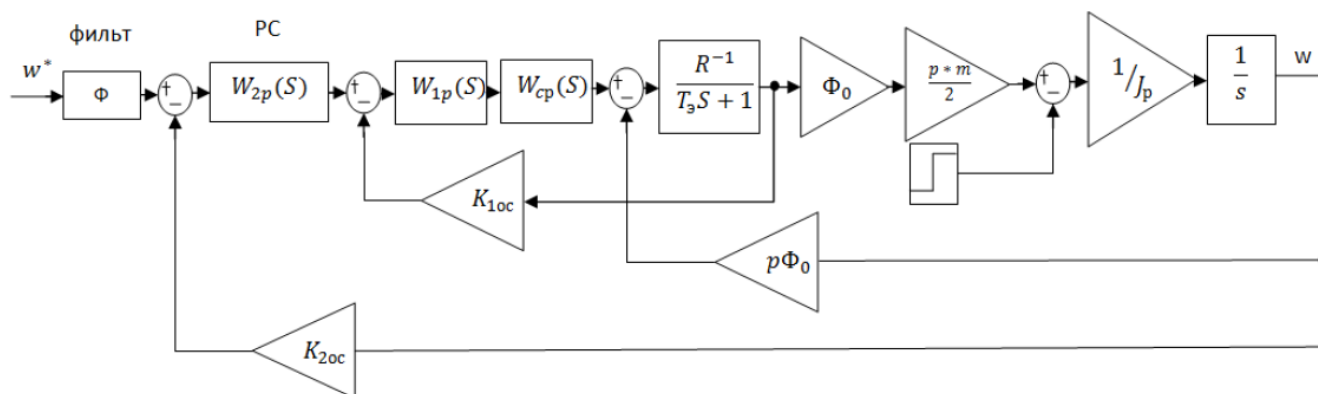


Рисунок 3.8. Схема контуру регулювання швидкості

На вхід фільтра в колі регулювання швидкості подається сигнал задання  $i^*$  при  $U_{3\omega_{\max}} = 10 \text{ В}$  раніше прийняте максимальне значення напруги в системі управління відповідне завданням на швидкість двигуна). Скористаємося значеннями таблиця 3.1 регуляторів струму, регуляторів швидкості отримані для двигунів всіх приводів (кута місця, поперечного крену, азимута).

Моделюємо перехідні процеси в контурі регулювання швидкості див. рис. 3.9 – 3.14.

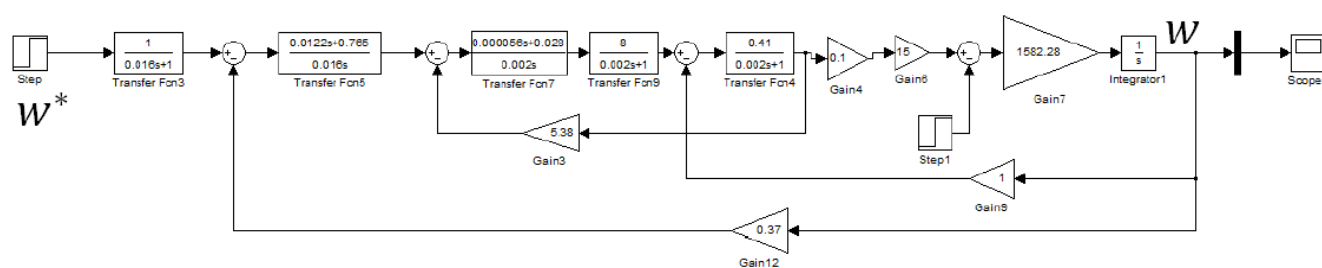


Рисунок 3.9. Привід кута місця контур регулювання швидкості

Графік перехідного процесу в контурі швидкості приводу кута місця, час перехідного процесу 1,24 мс, перерегулювання – 36% див. рис. 3.10.



Рисунок 3.10. Привід кута місця перехідний процес в контурі регулювання швидкості

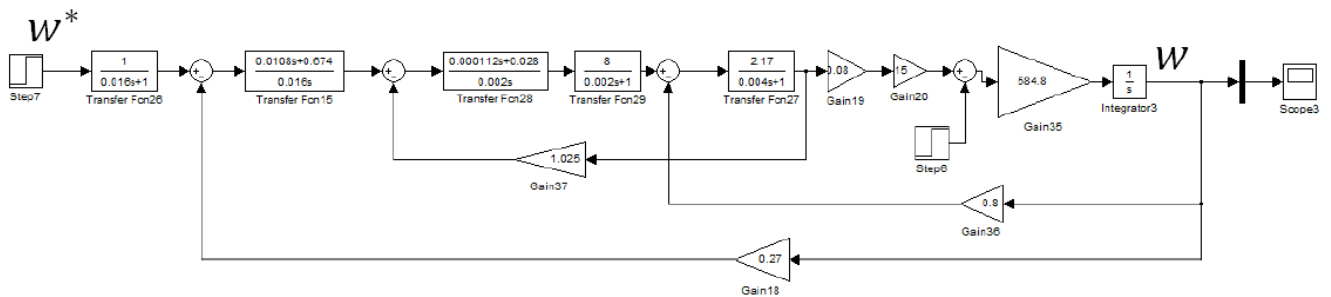


Рисунок 3.11. Привід поперечного крену контур регулювання швидкості

Графік перехідного процесу в контурі швидкості приводу поперечного крену, час перехідного процесу 1,21 мс, перерегулювання – 35% див. рис. 3.12.

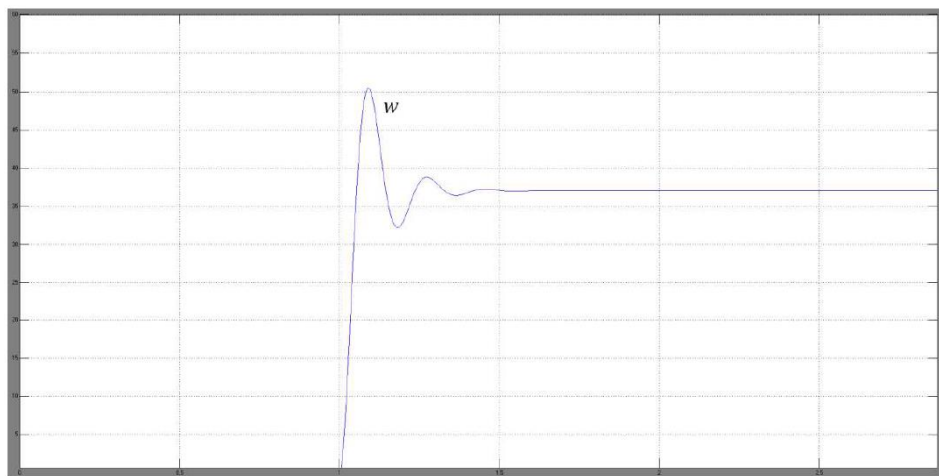


Рисунок 3.12. Привід поперечного крену перехідний процес в контурі регулювання швидкості

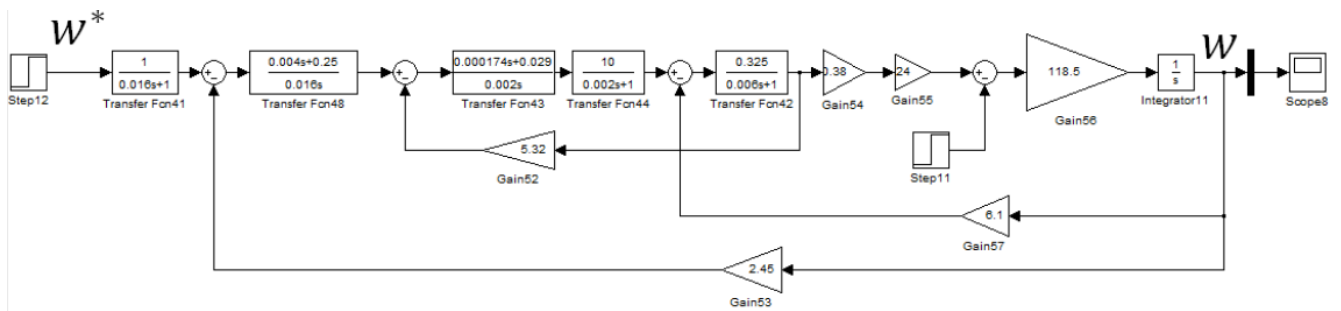


Рисунок 3.13. Привід азимуту контур регулювання швидкості

На рисунку 3.13 зображено графік перехідного процесу в контурі швидкості приводу азимута, час перехідного процесу 1,39 мс, перерегулювання – 44%.



Рисунок 3.14. Привід азимуту перехідний процес в контурі регулювання швидкості

### 3.1.3 Перехідні процеси в контурі регулювання положення

Розрахункова схема контуру регулювання положення див. рис. 3.15.

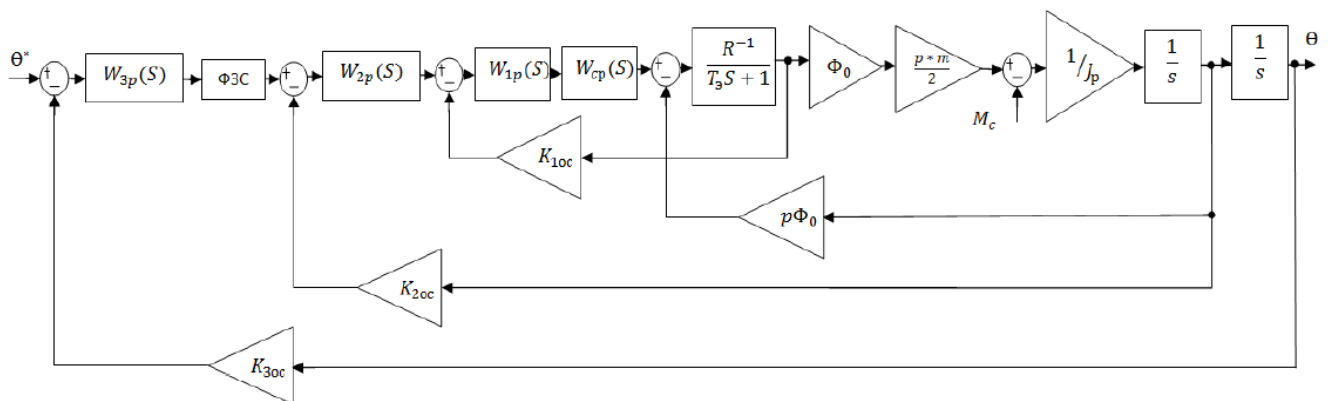


Рисунок 3.15. Схема контуру регулювання положення

На вхід регулятора положення подається сигнал завдання  $\theta^* = \pi$ . Скористаємося значеннями для двигунів таблиця 3.1, регуляторів струму, регуляторів швидкості та регуляторів положення, отримані для двигунів всіх приводів (кута місця, поперечного крену, азимута).

Моделюємо перехідні процеси в контурі регулювання положення див. рис. 3.16 – 3.19.

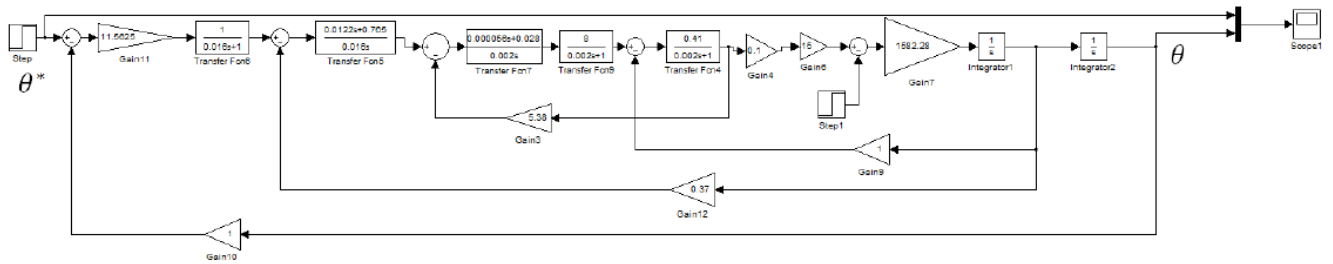


Рисунок 3.16. Привід кута місця контур регулювання положення

Графік перехідного процесу нестійкості системи в контурі регулювання положення приводу кута місця див. рис. 3.17.

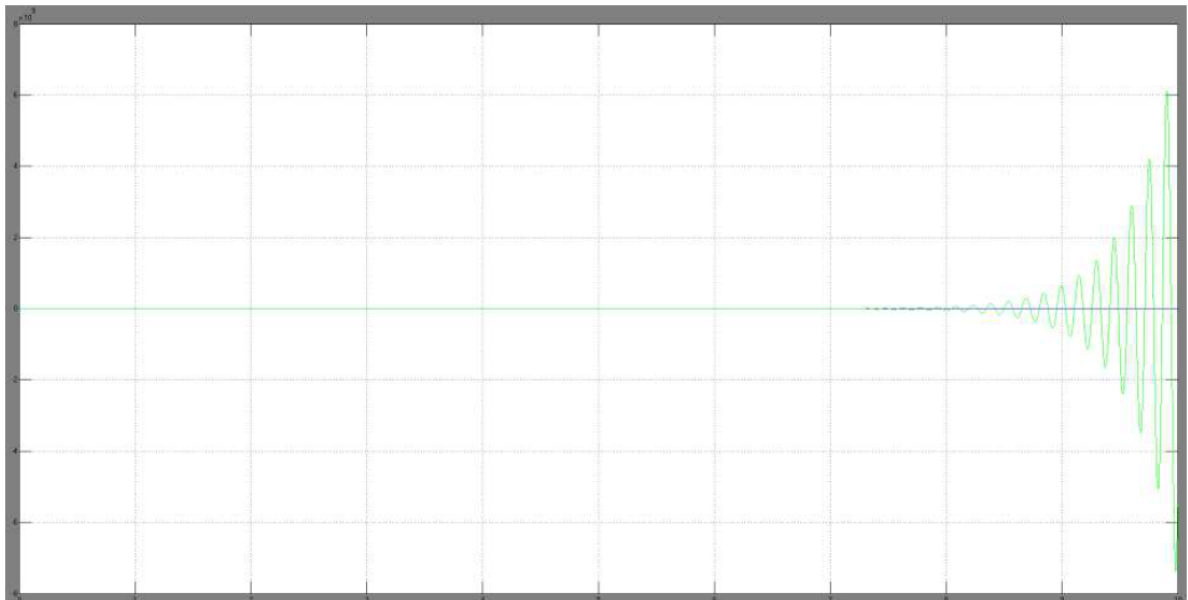


Рисунок 3.17. Привід кута місця перехідний процес в контурі регулювання положення

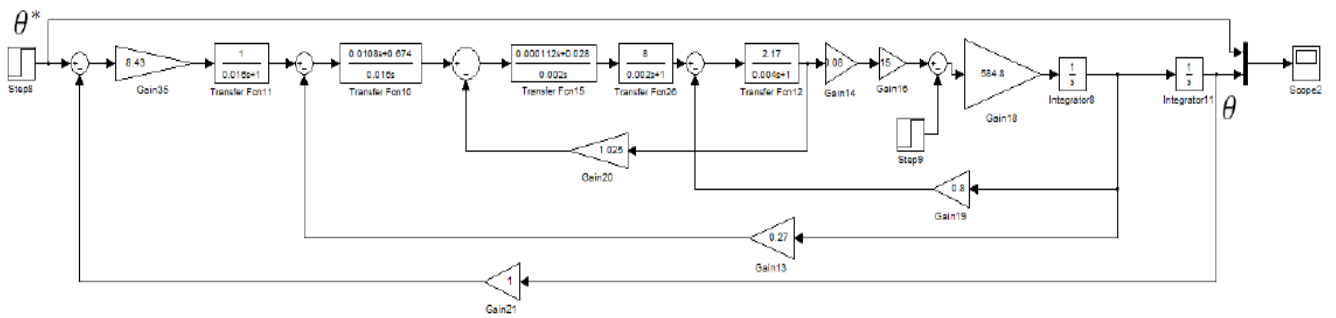


Рисунок 3.18. Привід поперечного крену контур регулювання положення

Графік перехідного процесу нестійкої системи в контурі положення приводу поперечного крену див. рис. 3.19.



Рисунок 3.19. Привід поперечного крену перехідний процес в контурі регулювання положення

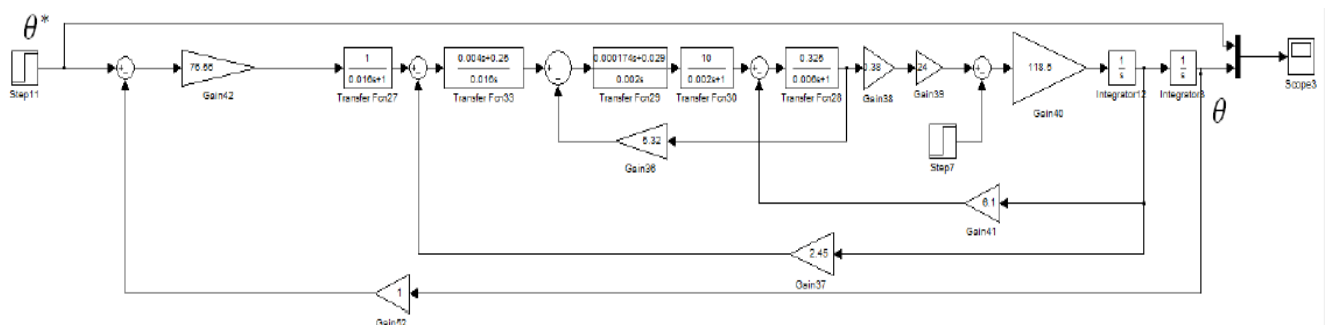


Рисунок 3.20. Привід азимуту контур регулювання положення

Графік перехідного процесу нестійкої системи в контурі положення приводу азимута див. рис. 3.21.



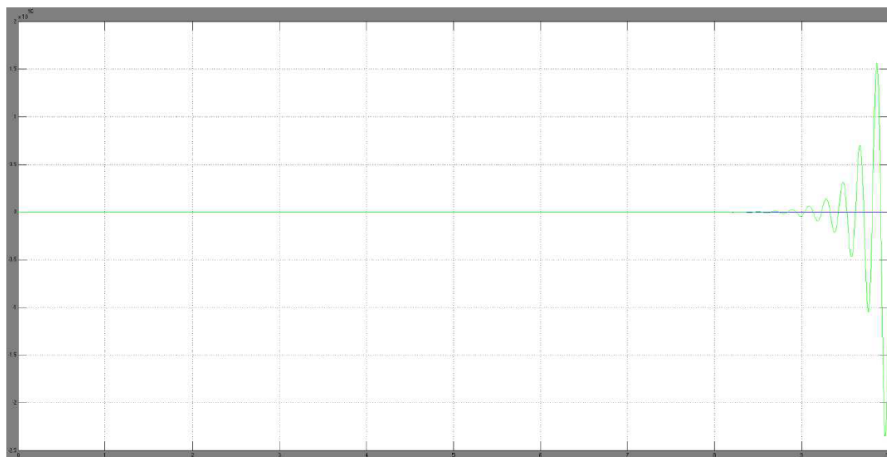


Рисунок 3.21. Привід азимуту перехідний процес в контурі регулювання положення

### 3.1.4 Компенсація впливу протидії ЕРС двигуна на характер перехідних процесів

Зменшити вплив ЕРС на динаміку електроприводу можна за допомогою сигналу компенсації [6]. Необхідно подати ДЗЗ (рисунок 3.22) по ЕРС двигуна на вхід регулятора струму, паралельно з сигналом зворотного зв'язку по струму, через коло компенсації з передавальною функцією, обернену передавальній функції регулятора струму  $W_{1p}(s)$  [7].

$$W_{\text{комн}}(s) = \frac{1}{W_{1p}(s)} \cdot \frac{T_{cp} s + 1}{0,001 s + K_{cp}}, \quad (3.1)$$

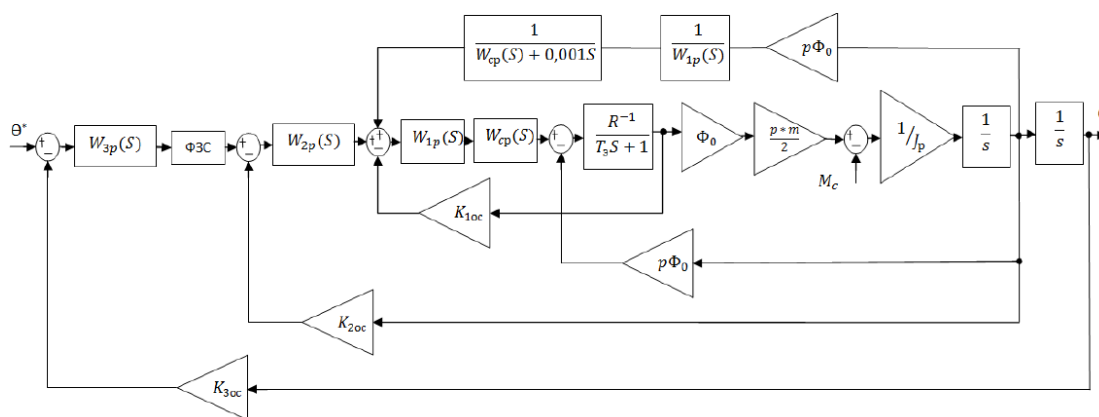


Рисунок 3.22. Структурна схема контуру регулювання положення з компенсуючою вплив ЕРС ланкою

Результати моделювання перехідних процесів в замкнутій системі регулювання положення з компенсацією впливу ЕРС див. рис. 3.23 – 3.28.

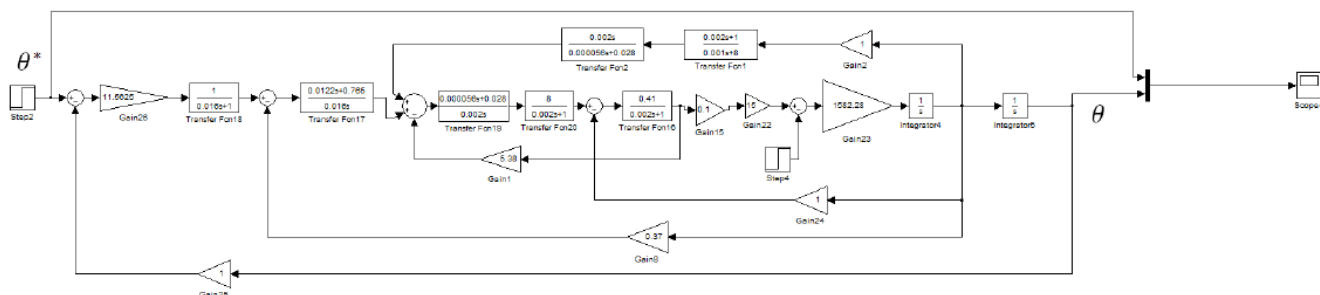


Рисунок 3.23. Привід кута місця з компенсацією впливу ЕРС контур регулювання положення

Графік перехідного процесу в контурі регулювання положення приводу кута місця. Час перехідного процесу 1,05 мс, перерегулювання – 4,7% див. рис. 3.24.

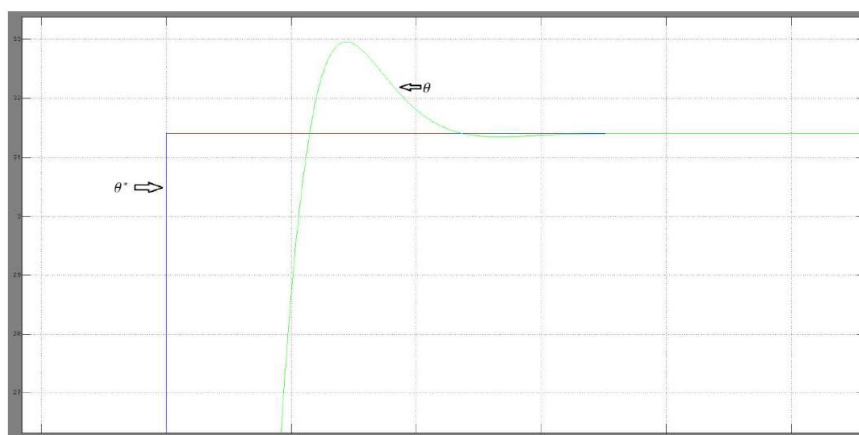


Рисунок 3.24. Привід кута місця з компенсацією впливу ЕРС перехідний процес в контурі регулювання положення

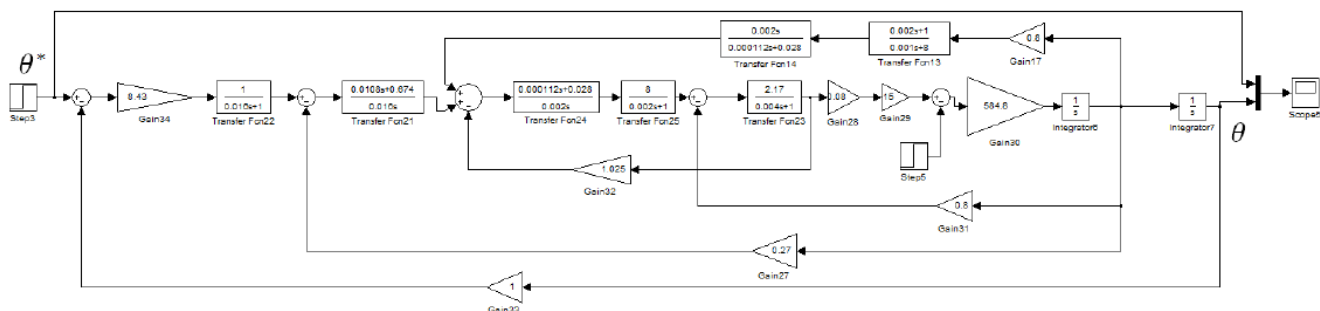


Рисунок 3.25. Привід поперечного крену з компенсацією впливу ЕРС контур регулювання положення

Графік перехідного процесу в контурі регулювання положення приводу поперечного крену [8], час перехідного процесу 1,05 мс, перерегулювання - 4,7% див. рис. 3.26.

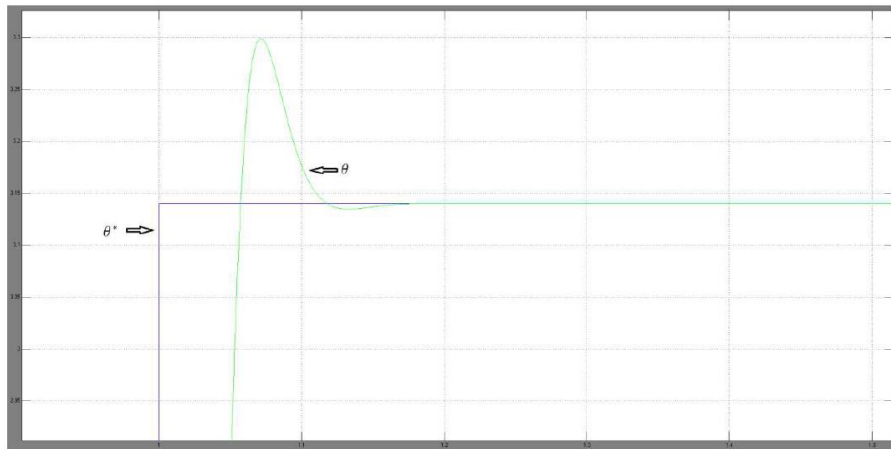


Рисунок 3.26. Привід поперечного крену з компенсацією впливу ЕРС перехідний процес в контурі регулювання положення

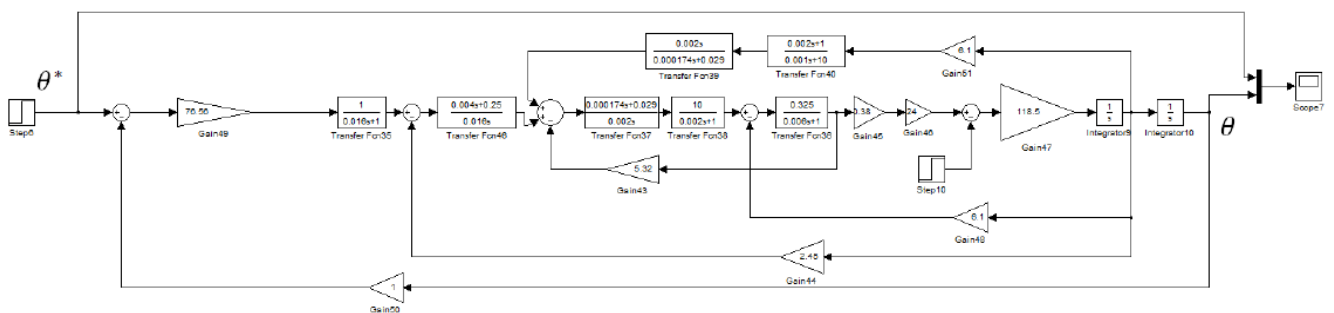


Рисунок 3.27. Привід азимуту з компенсацією впливу ЕРС контур регулювання положення

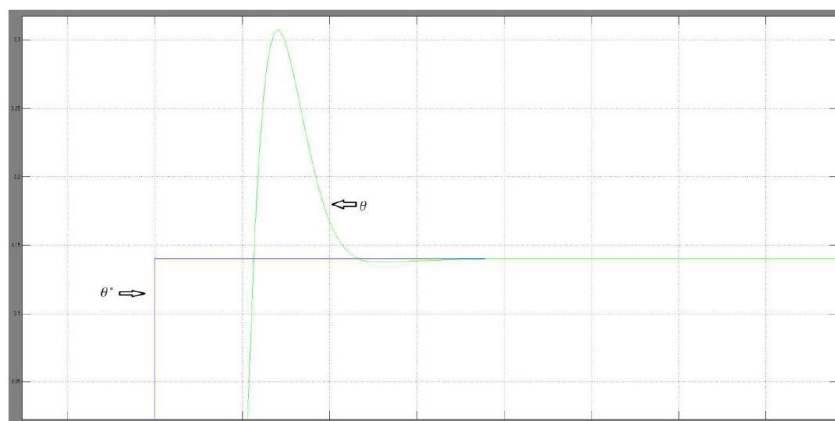


Рисунок 3.28. Привід азимуту з компенсацією впливу ЕРС перехідний процес в контурі регулювання положення

Графік перехідного процесу в контурі регулювання положення приводу азимута, час перехідного процесу 1,05мс, перерегулювання – 5% див. рис. 3.28.

3.2 Дослідження слідкуючих систем управління антеною на грубість до варіацій параметрів об'єкту управління

### 3.2.1 Варіація значення опору обмотки статора вентиляного двигуна

В якості першого змінного параметру взято опір обмотки двигуна  $R$  з діапазоном зміни від  $0,5 R$  до  $1,5 R$  (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

Варіація опору обмотки двигунів  $R$

	K254-120-5Y	K254-150-5Y	K254-185-5Y
$0,5 R$	1,21	0,23	1,54
$R$	2,42	0,46	0,69
$1,5 R$	3,63	0,69	4,62

Графік перехідного процесу в контурі положення приводу поперечного крену з опором обмотки двигуна  $0,5 R = 0,23$  , час перехідного процесу збільшується до 1,09 мс, і трохи збільшується перерегулювання – 6,69% див. рис. 3.29.

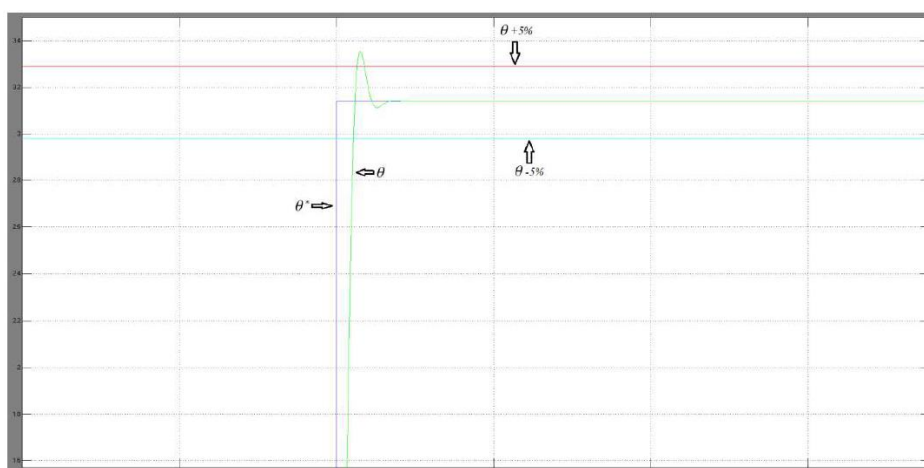


Рисунок 3.29. Графік перехідного процесу в контурі положення з опором обмотки двигуна  $0,5 R = 0,23$

На рисунку 3.30 показані перехідні процеси в контурі положення приводу поперечного крену. Параметри перехідного процесу при  $1,5 R = 0,69$  : час перехідного процесу зменшується до 1,06 мс, так само трохи збільшується перерегулювання – 5,09%

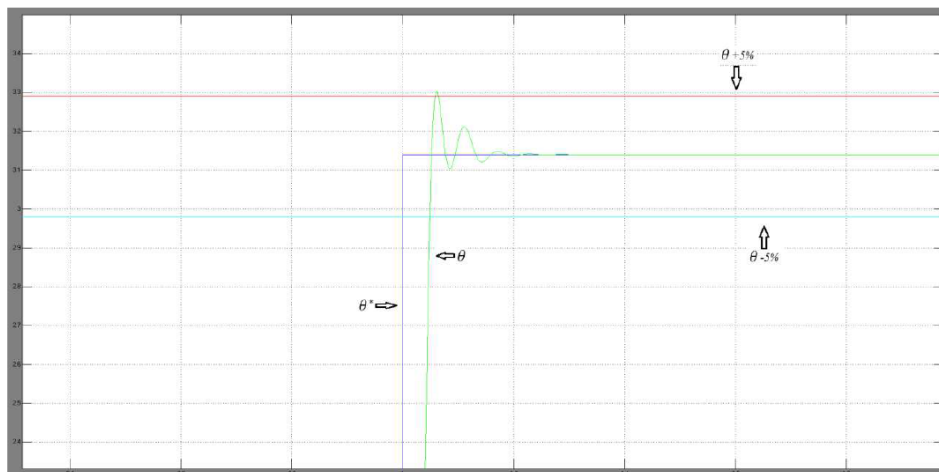


Рисунок 3.30. Графік перехідного процесу в контурі положення з опором обмотки двигуна  $1,5 R = 0,69$

Зроблено оцінку грубості замкнутої системи, шляхом варіації опором обмотки двигуна  $R = \pm 50\%$ , в ході якої виявилася незначна зміна перерегулювання (в районі 7%), а також незначні зміни тривалості перехідного процесу (в районі 4%) (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

Варіація опоры обмотки двигунів  $R$

		K254-120-5Y	K254-150-5Y	K254-185-5Y
0,5 $R$	Перерегулювання %	6,69	4,7	4,46
	Перехідний процес	1,09	1,05	1,04
$R$	Перерегулювання %	6,69	4,7	5,09
	Перехідний процес	1,08	1,05	1,05
1,5 $R$	Перерегулювання %	6,69	5,0	5,32
	Перехідний процес	1,08	1,05	1,07

### 3.2.2 Варіація значення моменту інерції ротора вентильного двигуна

В якості другого змінного параметру взято максимальний момент інерції ротора з діапазоном зміни від  $0,5 J_p$  до  $1,5 J_p$  (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4

Таблиця 3.5 Варіація моменту інерції ротора двигунів  $J_p$ 

	K254-120-5Y	K254-150-5Y	K254-185-5Y
$0,5 J_p$	0,000316	0,000855	0,00422
$J_p$	0,000632	0,00171	0,002565
$1,5 J_p$	0,000948	0,69	0,01266

На рисунку 3.31 зображений графік перехідного процесу в контурі положення приводу поперечного крену з моментом інерції  $0,5 J_p = 0,000855$ , час перехідного процесу зменшується до 1,06 мс, а так само зменшується перерегулювання – 3,82%.

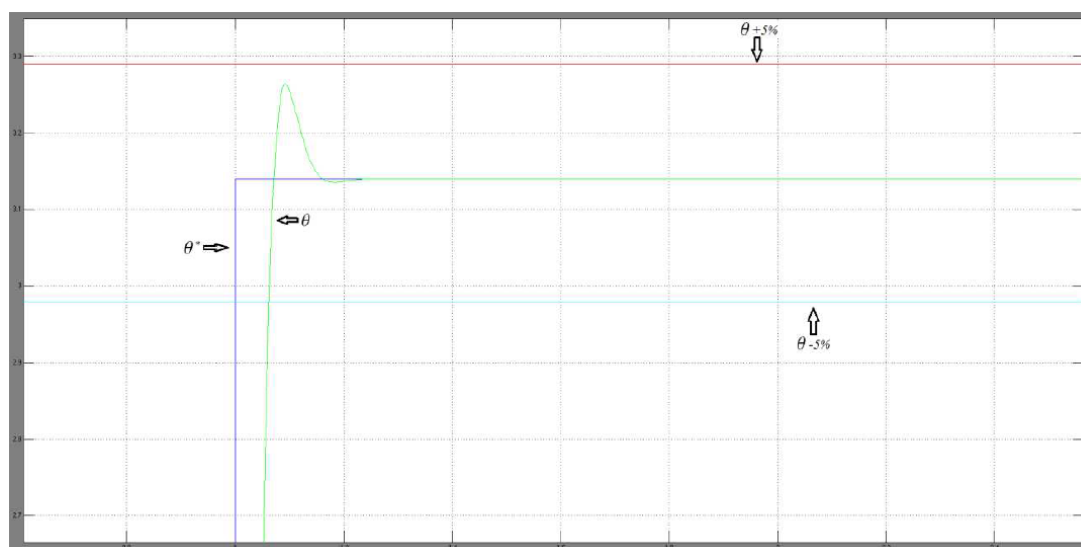


Рисунок 3.31. Графік перехідного процесу в контурі положення з моментом інерції ротора  $0,5 J_p = 0,000855$

На рисунку 3.32 показані перехідні процеси в контурі положення. Параметри перехідного процесу при  $1,5 J_p = 0,002565$  : час перехідного процесу збільшується до 1,13 мс, так само збільшується перерегулювання – 18,79%

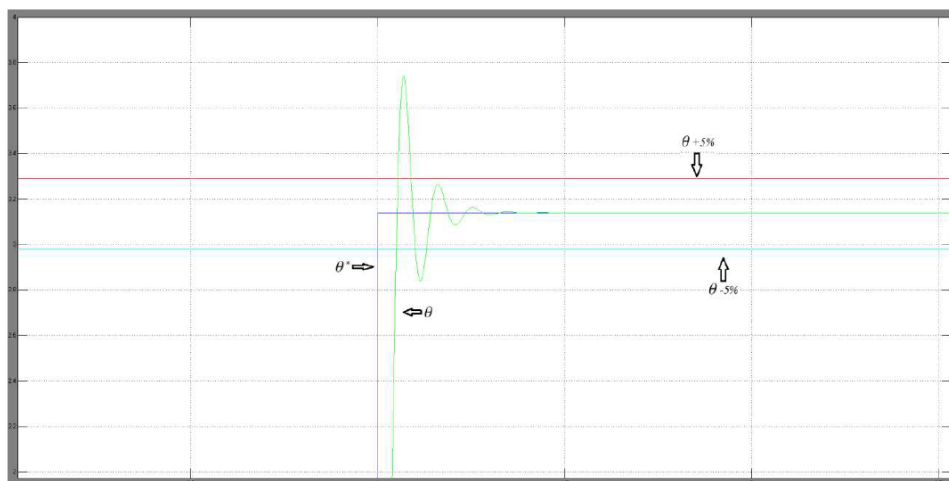


Рисунок 3.32. Графік перехідного процесу в контурі положення з моментом інерції ротора  $1,5 J_p = 0,002565$

Зроблено оцінку грубості замкненої системи, шляхом варіації максимальним моментом інерції ротора  $J_p \pm 50\%$ , в ході якої виявлялося не значне перерегулювання (в районі 19%), і незначні зміни тривалості перехідного процесу (8%).

Таблиця 3.6

Варіація опору обмотки двигунів  $R$

		K254-120-5Y	K254-150-5Y	K254-185-5Y
$0,5 J_p$	Перерегулювання %	4,14	3,82	3,83
	Перехідний процес	1,06	1,06	1,07
$J_p$	Перерегулювання %	4,70	4,7	5,00
	Перехідний процес	1,05	1,05	1,05
$1,5 J_p$	Перерегулювання %	18,79	18,79	19,43
	Перехідний процес	1,13	1,13	1,13

### 3.3 Дослідження впливу збурюючих впливів на якість регулювання слідкуючих систем управління антеною

#### 3.3.1 Вплив зміни кута кільової качки

Збурюючий вплив кут кільової качки  $\pm 25$ . На вході слідкуючої системи стабілізації приводу кута місця синусоїдальний сигнал  $\theta^*$  з амплітудою 25 (рис. 3.33).

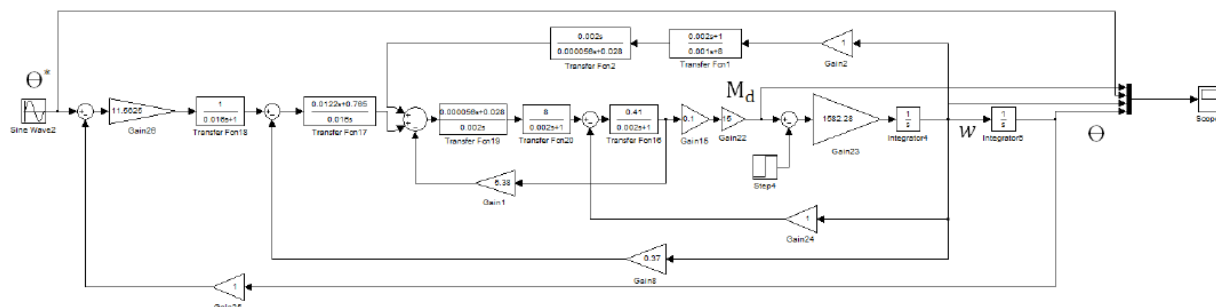


Рисунок 3.33. Привід кута місця контур регулювання положення

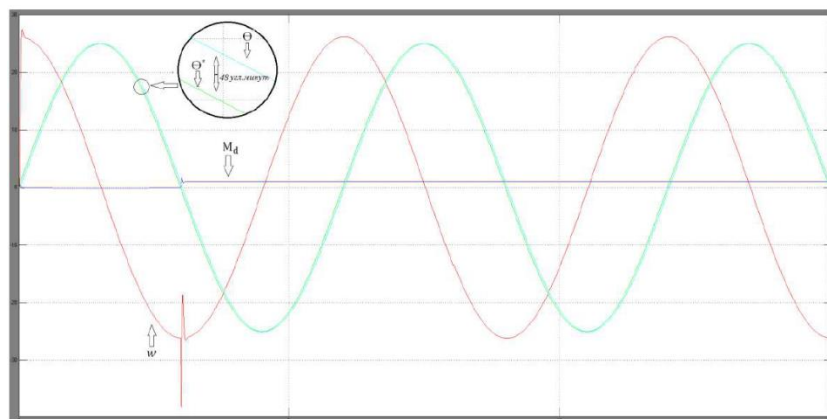


Рисунок 3.34. Привід кута місця контур регулювання положення перехідний процес

Динамічна похибка системи стабілізації приводу кута місця по куту кільової качки склала 48 кут. хв.

Для досягнення потрібної точності (за умовою не більше 2-3 кут. хв.) необхідно збільшити швидкодію системи. За допомогою математичного моделювання підібрано значення некомпенсовані постійної часу  $T_{cp} = 0,000125$ , динамічна помилка рівний 3 кут. хв. (див. рис. 3.35).



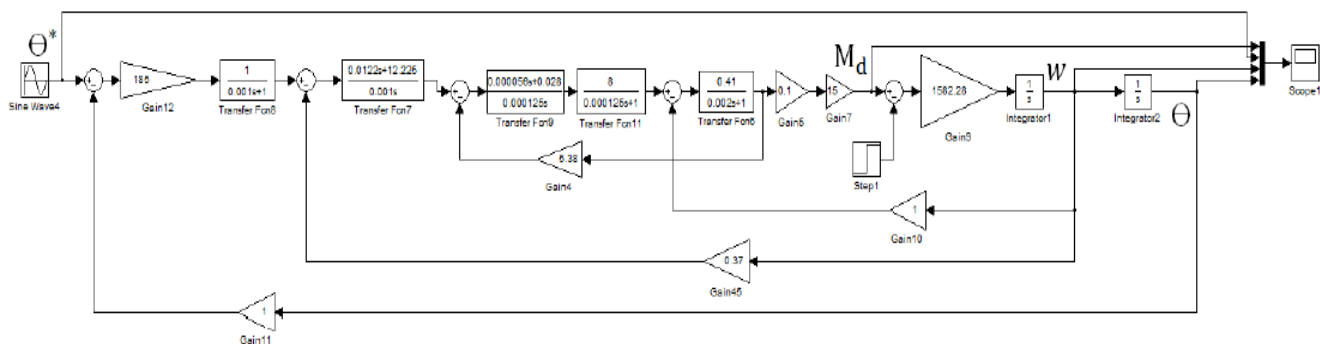


Рисунок 3.35. Привід кута місця контур регулювання положення

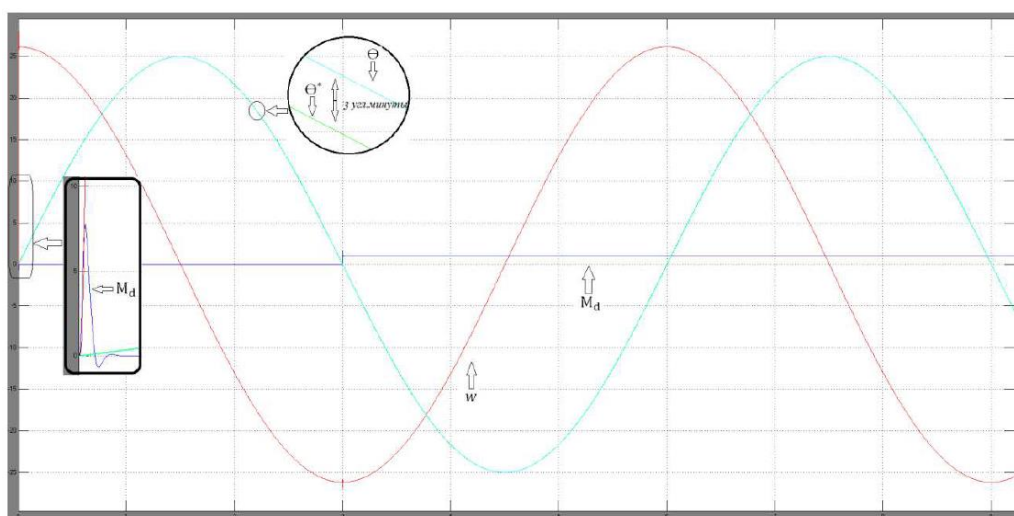


Рисунок 3.36. Привід кута місця контур регулювання положення перехідний процес

Система стабілізації приводу кута місця по куту кільової качки забезпечує динамічну помилку приводу кута місця по куту кільової качки, що не перевищує заданий інтервал від 2 до 3 кут. хв. Але при цьому статичний синхронізуючий момент ( $M = 7,7$ ) двигуна К254-120-5У перевищує максимальне значення статичного синхронізуючого моменту  $M_{\max} = 2,79$  в 2,78 рази.

Шляхом коригування швидкодії, так щоб статичний синхронізуючий момент двигуна К254-150-5У не перевищував свого максимального значення, підбрано оптимальне значення некомпенсовані постійної часу  $T_{cp}$  рівне 0,0005 (рисунок 3.37)

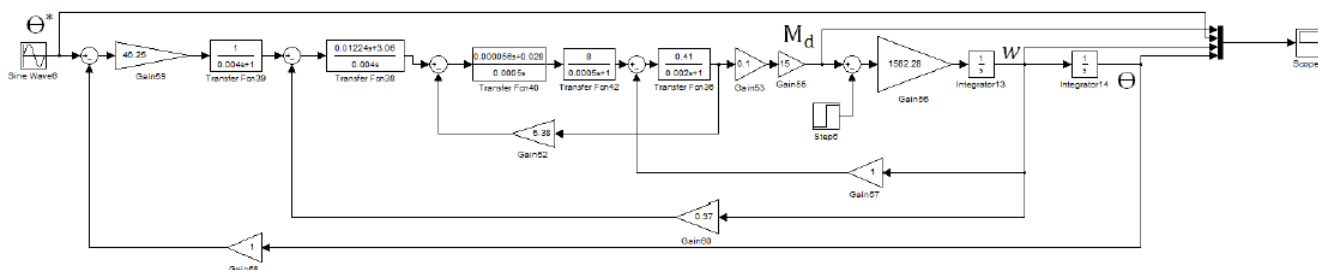


Рисунок 3.37. Привід кута місця контур регулювання положення

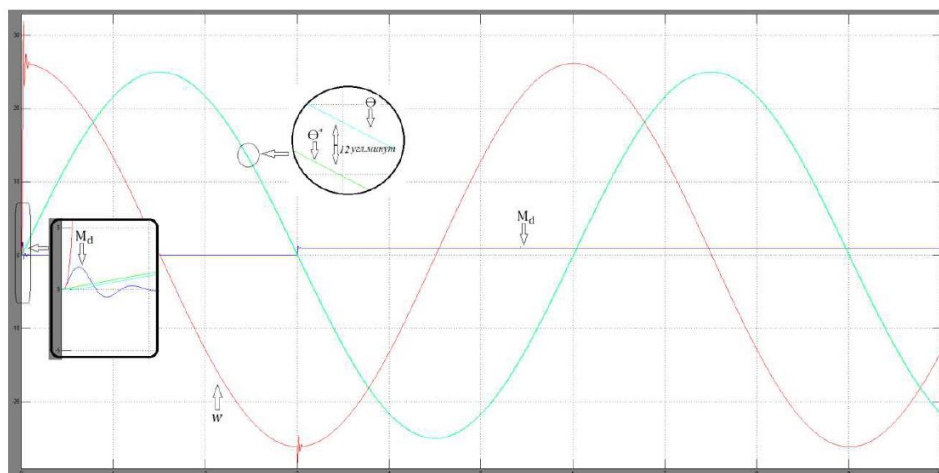


Рисунок 3.38. Привід кута місця контур регулювання положення перехідний процес

Мінімальна динамічна помилка системи стабілізації приводу кута місця по куту кильової качки рівна 12 кут. хвилин досягається при тому, що статичний синхронізуючий момент двигуна K254-150-5Y дорівнює 1,82.

### 3.3.2 Вплив зміни кута бортовий качки

Збурюючий вплив за кутом бортової качки одно  $\pm 30$ . Підставами на вхід системи, що стежить стабілізації для приводу поперечного крену синусоїдальний сигнал  $\theta^*$  з амплітудою 30 див. рис. 3.22).

Привід кута місця контур регулювання положення перехідний процес

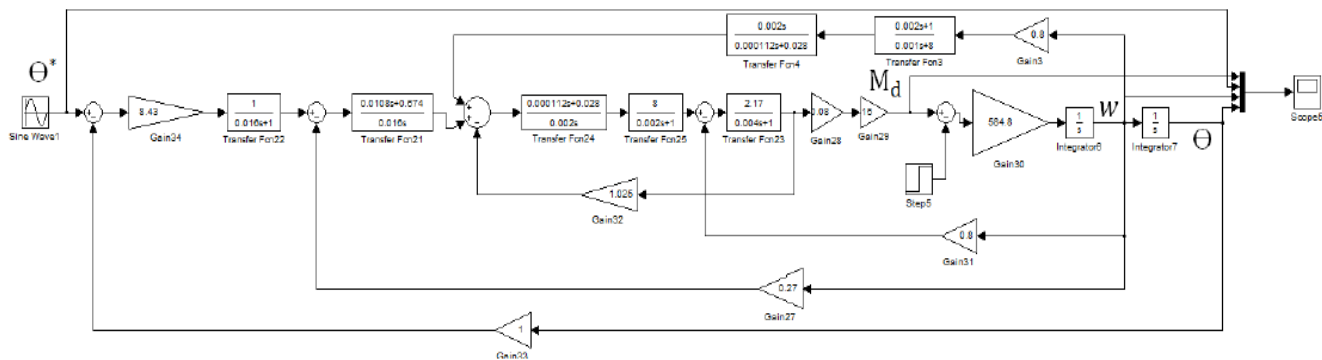


Рисунок 3.39. Привід поперечного крену контур регулювання положення

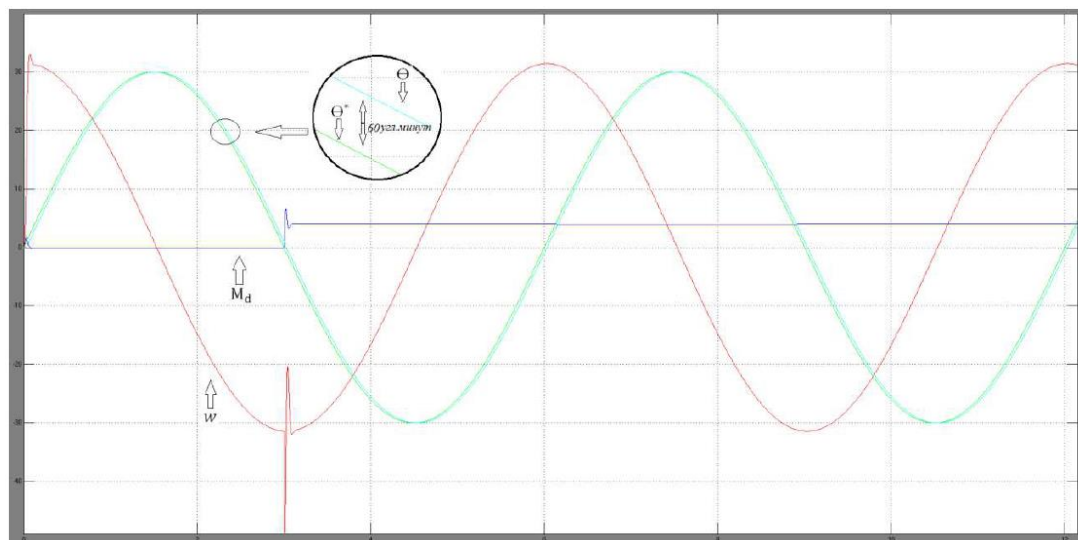


Рисунок 3.40. Привід поперечного крену контур регулювання положення перехідний процес

Динамічна помилка системи стабілізації приводу поперечного крену по куту бортовий качки склала 60 кут. хв.

Для досягнення потрібної нам точності (за умовою не більше 2-3 кут. Хвилини) необхідно збільшити швидкодію системи.

За допомогою математичного моделювання було підібрано значення некомпенсовані постійної часу  $T_{cp} = 0,000125$  , при якому динамічна помилка дорівнює 3 кут. хв. (рисунок 3.23).

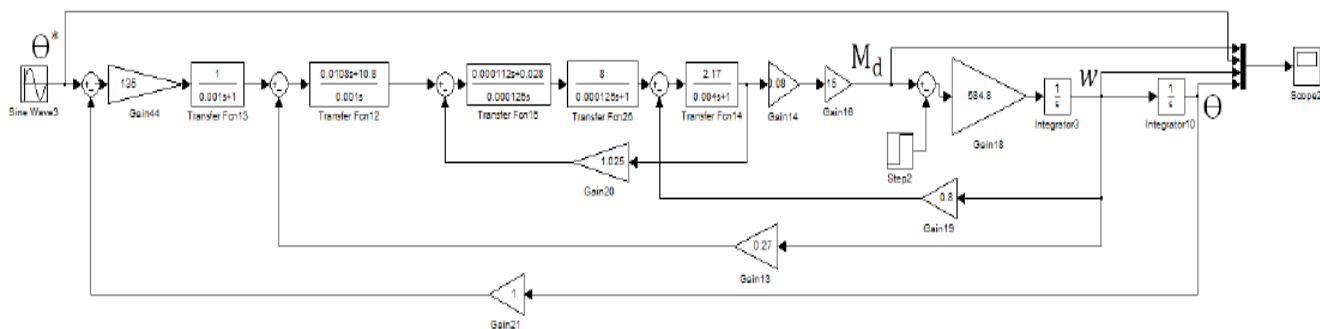


Рисунок 3.41. Привід поперечного крену контур регулювання положення

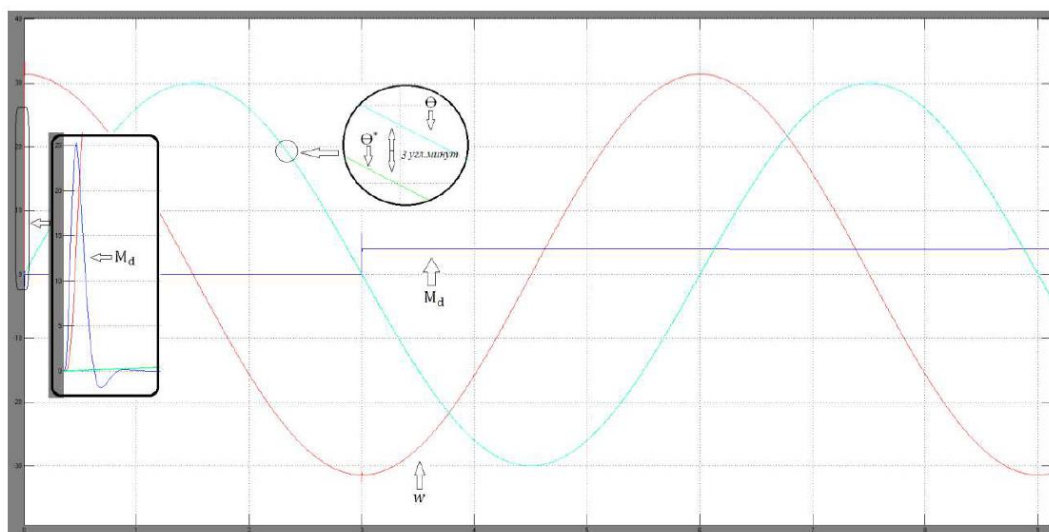


Рисунок 3.42. Привід поперечного крену контур регулювання положення перехідний процес

Система стабілізації приводу поперечного крену по куту бортовий качки забезпечує динамічну помилку приводу кута місця по куту кільової качки не перевищено заданий інтервал від 2 до 3 кут. хв, Але при цьому статичний синхронізуючий момент ( $M = 25,36$ ) двигуна К254-150-5У перевищує максимальне значення статичного синхронізуючого момент  $M_{\max} = 11,7$  двигуна К254-150-5У в 2,16 раз.

Шляхом коригування швидкодії, так щоб статичний синхронізуючий момент двигуна К254-150-5У не перевищував свого максимального значення, було підібрано оптимальне значення некомпенсовані постійної часу  $T_{cp}$  рівне 0,0003 див. рис. 3.43).

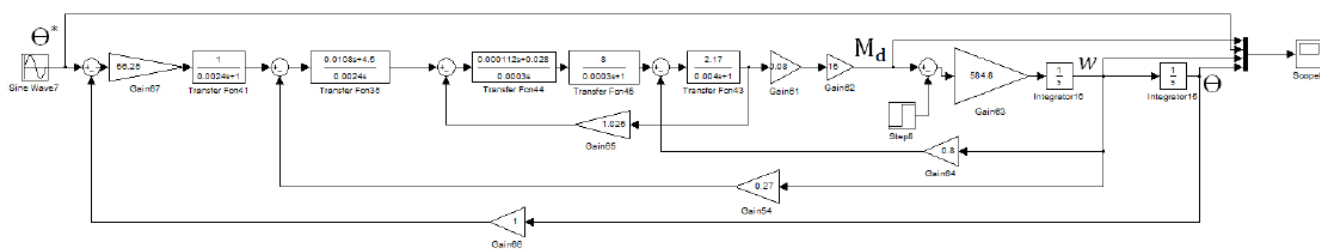


Рисунок 3.43. Привід поперечного крену контур регулювання положення

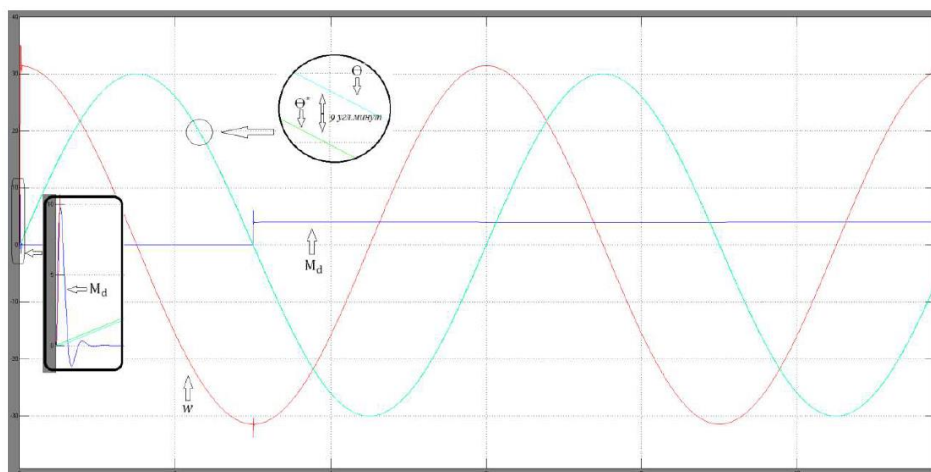


Рисунок 3.44. Привід поперечного крену контур регулювання положення перехідний процес

Мінімальна динамічна помилка системи стабілізації приводу поперечного крену по куту бортовий качки рівна 9 кут. хв. досягається при тому, що статичний синхронізуючий момент двигуна K254-150-5Y дорівнює 9,76.

### 3.3.3 Вплив зміни кута ризиання

Збурюючий вплив за кутом ризиання одно  $\pm 8$ . Підставляємо на вхід системи, що стежить стабілізації для приводу азимута синусоїдальний сигнал  $\theta^*$  з амплітудою 8 (рисунок 3.45).

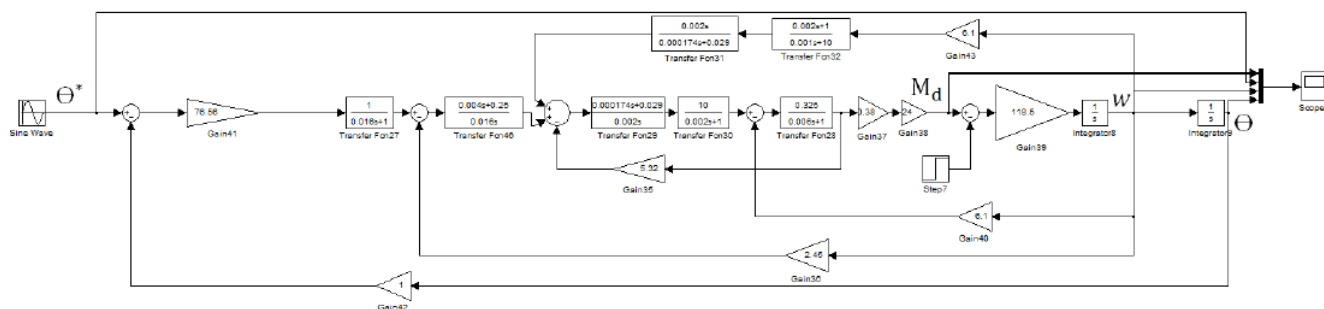


Рисунок 3.45. Привід азимуту контур регулювання положення

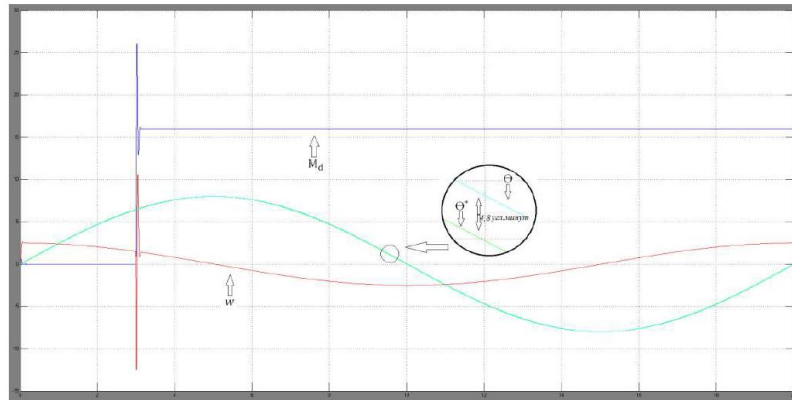


Рисунок 3.46. Привід азимуту контур регулювання положення перехідний процес

Динамічна похибка системи стабілізації приводу азимута по куту рискання складала 4,8 кут. хв.

Для досягнення потрібної нам точності (за умовою не більше 2-3 кут. хв. необхідно збільшити швидкодію системи.

За допомогою математичного моделювання було підібрано значення некомпенсовані постійної часу  $T_{cp} = 0,001$ , при якому динамічна похибка дорівнює 2,4 кут. хв. [9] (рисунок 3.47).

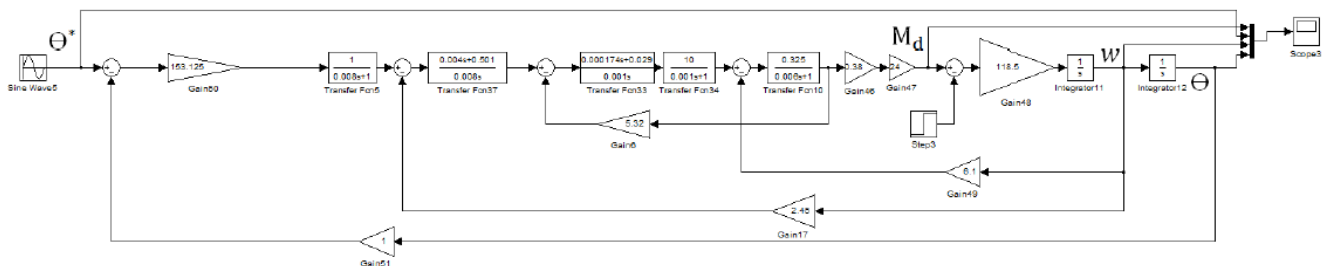


Рисунок 3.47. Привід азимуту контур регулювання положення

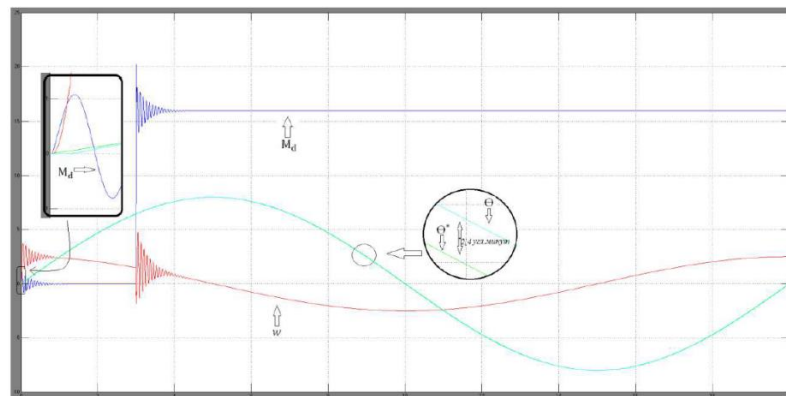


Рисунок 3.48. Привід азимуту контур регулювання положення перехідний процес

Система стабілізації приводу азимута по куту рискання забезпечує динамічну похибку не перевищуючи заданий інтервал від 2 до 3 кут. хв. (2,4 кут. хв.), при цьому статичний синхронізуючий момент ( $M = 1,08$ ) двигуна K254-185-5Y не перевищує максимальне значення статичного синхронізуючого моменту  $M_{\max} = 17,2$  двигуна K254-185-5Y.

### 3.4 Висновки до розділу 3

В розділі 3 магістерської роботи:

- проведено математичне моделювання слідкуючих систем управління антеною;
- досліджено контури регулювання слідкуючих системи при ступінчастому входному впливі;
- досліджено слідкуючі системи управління антеною на грубість до варіацій параметрів об'єкту управління;
- дослідження вплив збурюючих впливів на якість регулювання слідкуючих систем управління антеною;
- перевірено динамічні похибки системи стабілізації, яка не повинна перевищувати 2-3 кутових хвилин при впливі можливих періодичних збурюючих кутів кильової качки, бортової качки і риску рівними  $\pm 25$ ,  $\pm 30$  і  $\pm 8$  градусів відповідно.

## РОЗДІЛ 4

### СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 4.1 Програмне середовище математичного моделювання MATLAB

MATLAB – одна з найстарших, ретельно пророблених та перевічених часом систем автоматизації математичних обчислювань, побудована на розширеному подаванні та застосуванні матричних операцій. Це знайшло відображення в назві системи MATLAB – MATrix LABoratory (МАТрична ЛАБораторія) [36, с.18]. Типове використання MATLAB – це:

- створення алгоритмів;
- математичні обчислення;
- моделювання;
- аналіз даних, дослідження і візуалізація;
- наукова і інженерна графіка;
- розробка додатків, включаючи створення графічного інтерфейсу.

Дана система може бути використовувана в областях науки та техніки, таких як електро- і радіотехніка, динаміка, акустика, енергетика, економіка. MATLAB дозволяє виконувати матричний аналіз, вирішення задач математичної фізики, статистичних, оптимізаційних та фінансово-економічних задач, дослідження та обробка сигналів та зображень, обробка та візуалізація інформації. Але найбільшою мірою це середовище орієнтоване на виконання інженерних задач, тому що її математичний апарат базується на обчислюванні з матрицями та комплексними числами. MATLAB містить кількість процедур та функцій, необхідних інженеру та науковому робітнику для виконання складних обчислювань та моделювання поведінки технічних та фізичних систем.

Система MATLAB складається з п'яти основних частин. MATLAB – це мова матриць і масивів високого рівня з управлінням потоками, функціями, структурами даних, введенням та виведенням даних і особливостями об'єктно-орієнтованого програмування. Середовище MATLAB. Це набір інструментів і пристосувань, з



якими працює користувач або програміст MATLAB. Вона включає засоби для управління змінними в робочому просторі MATLAB, введення і виведення даних, а також створення, контролю і відладки m-файлів і додатків MATLAB. Графічна система MATLAB включає команди високого рівня для візуалізації дво- і тривимірних даних, обробки зображень, анімації і ілюстрованої графіки. Вона також включає команди низького рівня, що дозволяють повністю редагувати зовнішній вигляд графічної інформації таким чином, як при створенні графічного (для користувача) інтерфейсу (GUI) для MATLAB додатків. Бібліотека математичних функцій – це велика колекція обчислювальних алгоритмів від елементарних функцій, таких як сума, синус, косинус, комплексна арифметика, до складніших, таких як обертання матриць, знаходження власних значень, функції Бесселя, швидке перетворення Фур'є. Програмний інтерфейс – це бібліотека, яка дозволяє писати програми на Сі і Фортрані, які взаємодіють з MATLAB. Вона включає засоби для виклику програм з MATLAB (динамічний зв'язок): MATLAB викликається як обчислювальний інструмент і для читання або запису m-файлів.

Інтерфейс MATLAB відповідає сучасним канонам. Він багато віконний і має низку засобів прямого доступу до різних компонентів системи. Середовище MATLAB включає такі елементи:

- рядок меню – File, Edit, View, Web, Window, Help;
- панель інструментів з кнопками, які дозволяють виконувати декілька найбільш розповсюджених операцій;
- командне вікно (Command Window), в якому відображаються команди та результати їх виконання, тексти програм, які виконуються, а також інформація про помилки;
- вікно с вкладками Workspace (дозволяє отримати доступ до робочого простору) та Current Directory (служить для установки поточного каталогу);
- вікно Command History, в якому здійснюється перегляд та повторний виклик раніше введених команд.

Робота з операціями меню в MATLAB подібна роботі з операціями меню програм Microsoft Office.

Операція меню File містить стандартні команди: відкриття (New) нового файлу (m-файлу, нової змінної, нового графічного вікна), відкриття раніше збереженого файлу (Open), збереження змінних робочого простору (Save Workspace as), імпорту даних (Import Data). За допомогою команди Set Path (визначити шлях) проводиться установка шляхів, що вказують розташування m-файлів для того, щоб система могла швидко знайти необхідний файл.

Команда Preferences (перевага) дозволяє відобразити однойменне діалогове вікно, в якому можна визначити різні параметри системи. У меню File є також команди, які відповідають за друк файлу (Print), визначення параметрів сторінки та умови роботи принтеру (Page Setup). У меню File відображаються останні чотири файли, до яких звертались в попередні моменти. Список команд завершує команда Exit MATLAB, яка дозволяє зупинити процес та вийти з програми.

Операція меню Edit містить команди редагування файлів, а саме скасування останньої операції (Undo), відновлення останньої скасованої операції (Redo), виділення та вирізання фрагменту та переміщення його в буфер обміну (Cut), копіювання фрагменту у буфер (Copy), вставка (Paste) та спеціальна вставка (Paste Special), знищення обраних фрагментів (Delete). Виділити увесь фрагмент дозволяє команда Select All. Знайти файл можна за допомогою команди Find. Також можна виконати очищення внутрішніх вікон робочого простору (Clear Command Window, Clear Command History, Clear Workspace). Операція меню View призначена для виведення та приховування панелі інструментів і управління виглядом інтерфейсу. Операція меню Web здійснює доступ до інтернет-ресурсів. Меню Windows встановлює властивості вікна. Операція меню Help встановлює доступ до довідкових підсистем MATLAB. Робота у середовищі MATLAB проводиться за допомогою командного вікна (Command Window). У процесі роботи введені дані розташовуються в пам'яті (Workspace).

## 4.2 Середовище Simulink

Simulink – інтерактивний інструмент (Програмне забезпечення) для моделювання, імітації та аналізу динамічних систем, включаючи дискретні, неперервні та гібридні, нелінійні та розривні системи. Розроблене компанією The MathWorks. Дає можливість будувати графічні блок-діаграми, імітувати динамічні системи, досліджувати працездатність систем і вдосконалювати проекти. Simulink повністю інтегрований з MATLAB, що забезпечує швидкий доступ до широкого спектру інструментів аналізу і проектування. Simulink також інтегрується з Stateflow для моделювання поведінки, викликані подіями. Ця перевага робить Simulink найпопулярнішим інструментом для проектування систем керування і комутації, цифрової обробки і інших додатків моделювання.

Моделювання та симуляції алгоритмічної і фізичної частин системи, яка тестується допомагає всебічно досліджувати весь проект. Вся команда може використовувати єдину середу для моделювання поведінки всіх частин системи.

Зниження витрат на дорогі фізичні прототипи за рахунок тестування системи, що розробляється в таких умовах, які в іншому випадку були б занадто ризикованими або трудомісткими для розгляду. Перевірка проекту здійснюється за допомогою напівнатурного моделювання і швидкого прототипування. Встановлюється зв'язок між вимогами, моделями і кодом.

Замість написання тисяч рядків коду застосовується автоматична генерація коду промислового якості на мовах C, C ++ і HDL. Код поводитьься так само, як модель, створена в Simulink. Потім код розгортається на цільовому обладнанні або FPGA / ASIC.

MATLAB-SIMULINKSTATEFLOW є потужним універсальним інструментом моделювання реактивних систем. Додаткова можливість стежити в режимі реального часу за процесом виконання діаграми шляхом включення режиму анімації робить процес моделювання реактивних систем по-справжньому наочним.


Stateflow – потужний графічний інструмент проектування і моделювання комплексних систем локального управління і супервізорного логічного контролю. Використовуючи Stateflow, можна:

1. Візуально моделювати комплексні реактивні системи.
2. Проектувати детерміновані системи супервізорного управління.
3. Легко змінювати проект, оцінювати результати змін і досліджувати поведінку системи на будь-якій стадії проекту.
4. Автоматично генерувати програмний код (цілочисельний або із плаваючою точкою) безпосередньо за проектом (для цього потрібний Stateflow Coder).
5. Користуватися перевагами інтеграції з середовищами MATLAB і Simulink в процесі моделювання і аналізу систем.

Stateflow дозволяє використовувати діаграми потоків (flow diagram) і діаграми станів і переходів (state transition) в одній діаграмі Stateflow. Система позначень діаграми потоків – ефективний спосіб представити загальну структуру програмного коду як конструкцію у вигляді умовних операторів і циклів.

Для запуску програми необхідно попередньо запустити пакет MATLAB.

Після відкриття основного вікна програми MATLAB потрібно запустити програму Simulink. Це можна зробити одним з трьох способів:

Натиснути кнопку  (Simulink) на панелі інструментів командного вікна MATLAB.

У командному рядку головного вікна MATLAB надрукувати Simulink і натиснути клавішу Enter на клавіатурі.

Виконати команду Open ... в меню File і відкрити файл моделі (mdl-файл).

Останній варіант зручно використовувати для запуску вже готової і налагодженої моделі, коли потрібно лише провести розрахунки і не потрібно додавати нові блоки в модель. Використання першого і другого способів призводить до відкриття вікна оглядача розділів бібліотеки Simulink.

Тема, з назвою вікна – Simulink Library Browser.

Меню, з командами File, Edit, View, Help.

Панель інструментів, з ярликами найбільш часто використовуваних команд.

Вікно коментаря для виведення пояснюючого повідомлення про обраний блок.

Список розділів бібліотеки, реалізований у вигляді дерева.

Вікно вмісту розділу бібліотеки (список вкладених розділів бібліотеки або блоків).

Рядок стану, що містить підказку по виконуваного дії.

Бібліотека Simulink містить наступні основні розділи:

Continuous – лінійні блоки.

Discrete – дискретні блоки.

Functions & Tables – функції і таблиці.

Math – блоки математичних операцій.

Nonlinear – нелінійні блоки.

Signals & Systems – сигнали і системи.

Sinks – самописці.

Sources – джерела сигналів і впливів.

Subsystems – блоки підсистем.

Список розділів бібліотеки Simulink представлений у вигляді дерева, і правила роботи з ним є загальними для списків такого виду:

Піктограма згорнутого вузла дерева містить символ “+”, а піктограма розгорнутого містить символ “-”.

Для того щоб розгорнути або згорнути вузол дерева, досить клацнути на його піктограмі лівою клавішею миші (ЛКМ).

Для роботи з вікном використовуються команди зібрані в меню. Меню оглядача бібліотек містить наступні пункти:

File (Файл) – Робота з файлами бібліотек.

Edit (Редагування) – Додавання блоків і їх пошук (за назвою).

View (Вид) – Управління показом елементів інтерфейсу.

Help (Довідка) – Висновок вікна довідки по оглядачеві бібліотек.

Створення нової S-моделі (відкрити нове вікно моделі).

Відкрити одну з існуючих S-моделей.

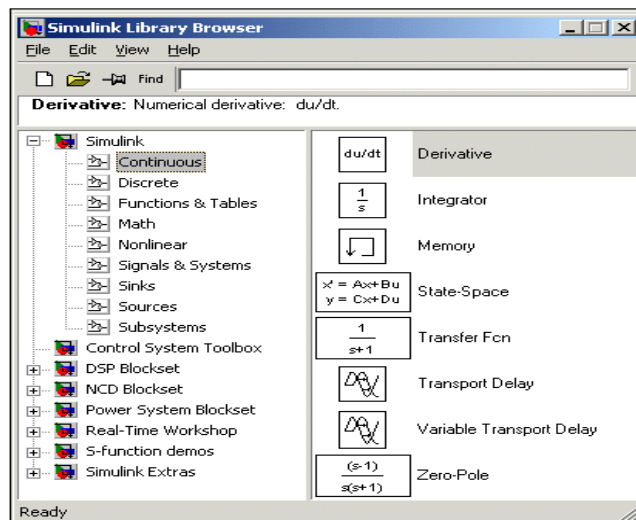


Рисунок 4.1. Вікно з набором блоків розділу бібліотеки

Змінити властивості вікна оглядача. Дана кнопка дозволяє встановити режим відображення вікна оглядача “поверх всіх вікон”. Повторне натискання скасовує такий режим.

Пошук блоку за назвою (по перших символах назви). Після того як блок буде знайдений, у вікні оглядача відкриється відповідний розділ бібліотеки, а блок буде виділено. Якщо ж блок з такою назвою відсутній, то у вікні коментаря буде виведено повідомлення Not found <ім'я блоку> (Блок не знайдене).

Створити новий файл моделі за допомогою команди File / New / Model, або використовуючи кнопку на панелі інструментів (тут і далі, за допомогою символу “/”, вказані пункти меню програми, які необхідно послідовно вибрати для виконання зазначеного дії).

Розташувати блоки у вікні моделі. Для цього необхідно відкрити відповідний розділ бібліотеки (Наприклад, Sources – Джерела). Далі, вказавши курсором на необхідний блок і натиснувши на ліву клавішу “миші” – “перетягнути” блок у створене вікно. Клавішу миші потрібно тримати натиснутою.

Сеанс роботи з MATLAB прийнято називати сесією (session). Сесія, по суті, є поточним документом, що відображає роботу користувача з системою MATLAB. У ній є рядки введення, висновку і повідомлень про помилки. Вхідні в сесію визначення змінних і функцій, розташовані в робочій області пам'яті, але не саму сесію,

можна записати на диск (файли формату `.mat`), використовуючи команду `save` (зберегти). Команда `load` (завантажити) дозволяє рахувати з диска дані робочої області. Фрагменти сесії можна оформити у вигляді щоденника за допомогою команди `diary` (щоденник). Робота в середовища MATLAB може здійснюватися у двох режимах.

1. Режим калькулятора. Обчислення можна виконувати у режимі прямих обчислювань, тобто без підготовки програми. Робота з системою у такому режимі носить характер діалогу і відбувається згідно правила «задав питання, отримав відповідь». Користувач набирає на клавіатурі обчислювальний вираз, редагує його (коли треба) у командному рядку та завершує введення інформації натисканням клавіши ENTER.
2. Програмний режим. Це режим виклику програми, що створена та записана на диск мовою MATLAB і містить усі необхідні команди, які забезпечують введення даних, організацію обчислень та виведення результатів на екран. У командному вікні у режимі діалогу проводяться обчислення та активізуються елементи середовища MATLAB. Виконувач завдання вводить команди або запускає на виконання файли з текстами на мові MATLAB. Інтерпретатор здійснює обробку введених даних та формує результати: числові та строкові данні, попередження та інформацію про помилках. В обох режимах користувачу доступні практично всі обчислювальні можливості системи, у тому числі виведення інформації в графічній формі. Програмний режим дозволяє зберігати розроблені обчислювальні алгоритми і без додаткових операцій повторювати обчислення з іншими початковими даними.

Для роботи з вікном використовуються команди зібрані в меню. Меню оглядача бібліотек містить наступні пункти:

File (Файл) – Робота з файлами бібліотек.

Edit (Редагування) – Додавання блоків і їх пошук (за назвою).

View (Вид) – Управління показом елементів інтерфейсу.

Help (Довідка) - Висновок вікна довідки по оглядачеві бібліотек.

Для роботи з оглядачем можна також використовувати кнопки на панелі інструментів див. рис. 4.1.

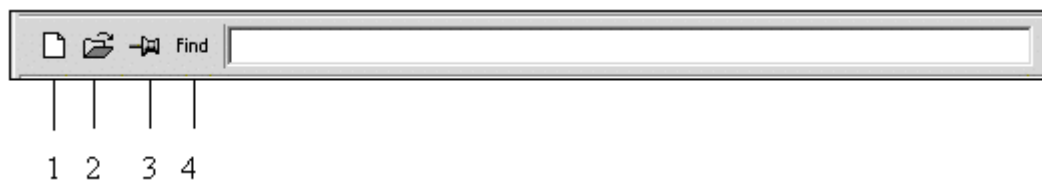


Рисунок 4.1. Панель інструментів оглядача розділів бібліотек

Кнопки панелі інструментів мають таке призначення:

створити нову S-модель (відкрити нове вікно моделі).

відкрити одну з існуючих S-моделей.

Змінити властивості вікна оглядача. Дана кнопка дозволяє встановити режим відображення вікна оглядача “поверх всіх вікон”. Повторне натискання скасовує такий режим.

Пошук блоку за назвою (по перших символах назви). Після того як блок буде знайдений, у вікні оглядача відкриється відповідний розділ бібліотеки, а блок буде виділено. Якщо ж блок з такою назвою відсутній, то у вікні коментаря буде виведено повідомлення Not found <ім'я блоку> (Блок не знайдене).

Створити новий файл моделі за допомогою команди File / New / Model, або використовуючи кнопку на панелі інструментів (тут і далі, за допомогою символу “/”, вказані пункти меню програми, які необхідно послідовно вибрати для виконання зазначеного дії). Новостворене вікно моделі показано див. рис. 4.2.

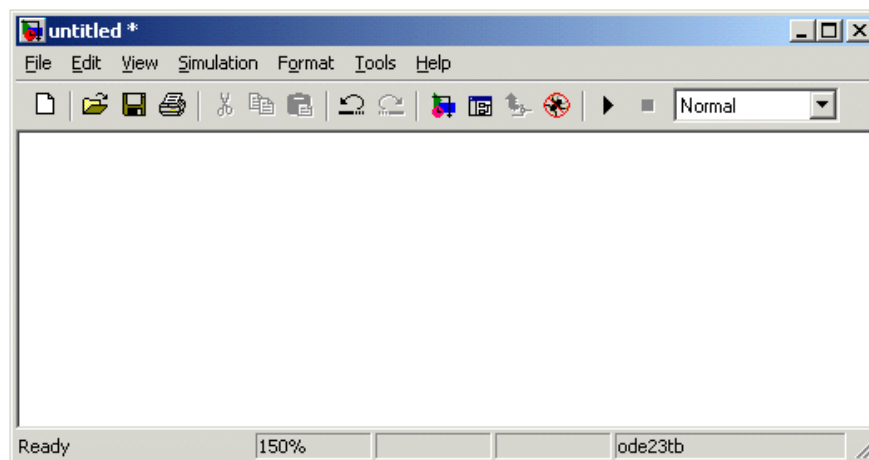


Рисунок 4.2. Робоча область моделі



Розташувати блоки у вікні моделі. Для цього необхідно відкрити відповідний розділ бібліотеки (Наприклад, Sources – Джерела). Далі, вказавши курсором на необхідний блок і натиснувши на ліву клавішу “миші” – “перетягнути” блок у створене вікно. Клавішу миші потрібно тримати натиснутою. На Рис. 4.6 показано вікно моделі, що містить блоки.

Для видалення блоку необхідно вибрати блок (вказати курсором на його зображення і натиснути ліву клавішу “миші”), а потім натиснути клавішу Delete на клавіатурі.

Для зміни розмірів блоку потрібно вибрати блок, встановити курсор в один з кутів блоку і, натиснувши ліву клавішу “миші”, змінити розмір блоку (курсор при цьому перетвориться в двосторонню стрілку).

Далі, якщо це потрібно, потрібно змінити параметри блоку, встановлені програмою “за замовчуванням”. Для цього необхідно двічі клацнути лівою клавішею “миші”, вказавши курсором на зображення блоку. Відкриється вікно редагування параметрів даного блоку. При завданні численних параметрів необхідно мати на увазі, що в якості десяткового роздільника повинна використовуватися крапка, а не кома. Після внесення змін потрібно закрити вікно кнопкою ОК.

#### 4.3 Висновки до розділу 4.

В даній магістерській роботі проведено побудову математичних моделей вентильного двигуна, слідкуючих систем управління антеною. Досліджено контури регулювання слідкуючих системи при ступінчастому вхідному впливі. Отримані результати перевірені за допомогою імітаційних моделей і експериментів досліджуваного пристрою. в середовищі MATLAB.

## РОЗДІЛ 5

### ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Встановлення економічної ефективності проведення науково–дослідної роботи є основною метою виконання розділу обґрунтування економічної ефективності дипломної роботи магістра.

#### 5.1 Розрахунок норм часу на виконання науково–дослідної роботи

Основні етапи виконання НДР та витрати часу на їх виконання представлено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Основні етапи виконання НДР

№ та назва етапу	Середній час виконання, год.
визначення актуальності теми ДР магістра	50
розробка першого розділу магістерської роботи	100
розробка другого розділу магістерської роботи	100
розробка третього розділу магістерської роботи	95
розробка спеціальної частини магістерської роботи	20
обґрунтування економічної ефективності	20
охорона праці та безпека життєдіяльності	10
екологія	5
загальні висновки магістерської роботи	8
Разом	408

Витрати часу керівника на виконання окремих стадій (етапів) при недостатній кількості інформації доцільно приймати в межах 5% сумарних витрат часу інженерів на виконання цих стадій (етапів).

#### 5.2 Розрахунок витрат на проведення НДР

Розрахунок поточних витрат на проведення НДР проводять в розрізі таких калькуляційних статей:

- основна заробітна плата (з/п);

- додаткова (з/п);
- нарахування на (з/п);
- консультаційні витрати;
- матеріали для виконання робіт по НДР ;
- експериментально–виробничі витрати;
- загальновиробничі витрати;
- адміністративні витрати;
- поза виробничі витрати.

При системному розв'язанні питання про облік праці і заробітної плати велике значення має умовно–постійна (нормативна, довідкова та інша) інформація, яка в даному разі характеризує переважно постійних виконавців (людей і механізми) та постійні процеси (технологічні операції). Тому у першу чергу зміст по обліку праці і заробітної плати неодмінно повинна входити інформація про виконавців (облік складу працівників).

Основна з/п складається із прямої з/п і доплати, яка при укрупнених розрахунках становить 25% – 35% від прямої з/п. При розрахунку з/п кількість робочих днів в місяці необхідно приймати — 25,4 дні/міс., що відповідає 203,2 год./міс. Прийmemo розмір місячного окладу інженера розряд 13 тарифна ставка 4000 грн.

Пряма з/п визначається [48]:

$$ЗП = O_i \times T_i / 203,2, \quad (5.1)$$

де  $O_i$  – розмір місячних окладів  $i$ -х категорій працівників;

$T_i$  – трудомісткість робіт виконаних працівниками  $i$ -х категорій.

Для інженера:  $ЗП = 4000 \times 408 / 203,2 = 8031,50$  грн.

Величина доплат обраховується за формулою:

$$ЗП_1 = ЗП \times K_i, \quad (5.2)$$

де  $K_i$  – коефіцієнт доплат (0,25 – 0,35).

Вибираємо коефіцієнт 0,3:

Для інженера:  $ЗП_1 = 8031,50 \times 0,3 = 2409,45$  грн.

Основна з/п обчислюється за формулою:

$$ЗП_0 = ЗП + ЗП_1, \quad (5.3)$$

Для інженера:  $ЗП_0 = 8031,50 + 2409,45 = 10441,00$  грн.

Величина додаткової з/п обчислюється за формулою [48]:

$$ЗП_д = ЗП_0 \times K_д \quad (5.4)$$

де  $K_д$  – коефіцієнт додаткової з/п (0,05 – 0,1).

Нехай коефіцієнт додаткової  $K_д = 0,1$ .

Для інженера додаткова плата:  $ЗП_д = 10441 \times 0,1 = 1044,10$  грн.

Витрати, на проведення НДР, крім річного фонду заробітної плати, включають ще й соціальні нарахування. Всього норматив нарахувань на заробітну плату становить 37% .

Загальний норматив нарахувань на заробітну плату згідно формули [48]:

$$ЗП_н = (ЗП_0 + ЗП_д) \times K_н, \quad (5.5)$$

де  $ЗП_0$  – величина основної заробітної плати;

$ЗП_д$  – величина додаткової заробітної плати;

$K_н$  – загальний відсоток нарахувань на заробітну плату.

Для інженера загальний норматив нарахувань становить:

$ЗП_н = (10441 + 1044,10) \times 0,37 = 4249,50$  грн.

Для розрахунку витрат на консультації, врахуємо, що консультації були надані в обсязі 2 год., вартість їх 400 грн.

Витрати на матеріали розраховуються на основі норм їх витрат і відповідних оптових цін [48]:

Таблиця 5.2

Зведена відомість витрат на заробітну плату, грн.

№ з/п	Категорія працівників	Основна заробітна плата			Додаткова заробітна плата	Нарахування на заробітну	Всього витрати на заробітну плату
		Пряма заробітна	Доплати	Всього:			
1	Інженер	10441	2409,45	12850,45	1044,1	4249,50	18144,05

$$M_3 = \sum_{i=1}^{\Pi} H_{mi} * C_{oi} \quad M_3 = \sum_{i=1}^{\Pi} H_{Mi} \times C_{oi}, \quad (5.6)$$

де  $M_3$  – затрати на матеріали;

$H_{Mi}$  – норма затрат  $i$ -их матеріалів;

$C_{oi}$  – оптова ціна за одиницю витрат  $i$ -их матеріалів;

Таблиця 5.3

Визначення величини матеріальних витрат

Найменування матеріальних ресурсів	Одиниця виміру	Норма витрат	Ціна за одиницю, грн	Затрати матеріалів, грн	Транспортно-заготівельні витрати, грн.	Загальна сума витрат на матеріали, грн.
1 Основні матеріали						
Ручка	шт.	2	10	20	2,00	22,00
Олівець	шт.	2	5	10	1,00	11,00
Гумка	шт.	1	5	5	5,50	5,50
Флешка	шт.	1	5	50	55,00	55,00
Разом						93,50

Експериментально-виробничі витрати визначаються як витрати на машинний час для виконання необхідного об'єму робіт виходячи з його вартості за одиницю часу, тобто [48]:

$$Z_{E.B.} = V_p \times T, \quad (5.7)$$

де  $Z_{E.B.}$  – затрати експериментально–виробничі;

$V_p$  – витрати на користування ПК та послуги інтернет;

$T$  – час роботи ПК.

Вартість роботи на ПЕОМ і користування мережею Інтернет встановлюємо виходячи з реальних даних (6 грн./год.). Оскільки, інтернет та ПК використовувався на стадіях 4–7, то експериментально–виробничі затрати становлять:

$$Z_{E.B.} = (60 + 94 + 60 + 28) \times 6 = 1452,00 \text{ грн.}$$

Загальновиробничі витрати при укрупнених розрахунках приймаємо на рівні 70% – 90% від суми основної і додаткової з/п інженерів, яка була нарахована за роботу при проведенні НДР, тобто [48]:

$$Z_{3.B.} = (Z_{П_0} + Z_{П_д}) \times K_{3.B.}, \quad (5.8)$$

де  $Z_{3.B.}$  – загально–виробничі затрати;

$Z_{П_0}$  – основна заробітна плата;

$Z_{П_д}$  – додаткова заробітна плата;

$K_{3.B.}$  – коефіцієнт загальновиробничих затрат.

В даному випадку прийmemo коефіцієнт загально–виробничих затрат на рівні 75%, тоді сума затрат становитиме:  $Z_{3.B.} = (10441 + 1044,10) \times 0,75 = 8613,80$  грн.

Аналогічно визначаються адміністративні витрати, які доцільно приймати на рівні 50% – 60% від суми основної і додаткової з/п інженерів.

$$Z_{3.A.} = (Z_{П_0} + Z_{П_д}) \times K_{3.A.}, \quad (5.9)$$

де  $Z_{3.A.}$  – адміністративні витрати;

$Z_{П_0}$  – величина основної заробітної плати;

$З_{ПД}$  – величина додаткової заробітної плати;

$K_{З.А.}$  – коефіцієнт адміністративних витрат.

Коефіцієнт адміністративних витрат становить 50%, то величина адміністративних витрат буде рівна:  $З_{З.А.} = (10441 + 1044,10) \times 0,5 = 5742,50$  грн.

Позавиробничі витрати необхідно приймати на рівні 3% – 7% від виробничої собівартості. Виробнича собівартість включає [48]:

$$V_{П.В.} = (З_{П_0} + З_{ПД} + З_{Н} + M_3 + З_{Е.В.} + З_{З.В.}) \times K_{П.В.}, \quad (5.10)$$

де  $V_{П.В.}$  – позавиробничі витрати;

$K_{П.В.}$  – коефіцієнт позавиробничих витрат.

В даному випадку  $K_{П.В.} = 5\%$ , тоді позавиробничі витрати становитимуть:

$$V_{П.В.} = (10441 + 1044,10 + 4249,50 + 93,50 + 1452,00 + 8613,80) \times 0,05 = 1294,70 \text{ грн.}$$

Розрахунок поточних витрат зводиться в таблицю 5.4:

Таблиця 5.4

## Калькуляція собівартості проведення НДР

Статті витрати, грн.	Витрати, грн.	В % до загальної суми
Основна заробітна плата	10441,00	30,41
Додаткова заробітна плата	1044,10	03,04
Нарахування на заробітну плату	4249,50	12,38
Консультації	400,00	1,17
Матеріали	93,50	0,27
Експериментально–виробничі витрати	1452,00	4,23
Загальновиробничі витрати	8613,80	25,09
Разом виробнича собівартість	26293,90	76,59
Адміністративні витрати	6742,50	19,64
Позавиробничі витрати	1294,70	3,77
Повна собівартість	34331,10	100

Заключною частиною роботи є показники, які необхідні для встановлення собівартості, проведення комплексного економічного аналізу затрат праці і нарахованої заробітної плати.

### 5.3 Розрахунок ціни НДР і економічна ефективність від використання програмної системи

Ціну НДР можна визначити [48]:

$$Ц = (C_{\text{ПР}}/N + C_{\text{КОП}}) + П, \quad (5.11)$$

де  $C_{\text{ПР}}$  – собівартість НДР, грн.;

$N$  – кількість замовлень, од.;

$C_{\text{КОП}}$  – собівартість копіювання (ксерокопії, дискети, компакт-диски, поштові витрати, відрядження спеціалістів тощо), грн.;

$П$  – нормативна величина прибутку (15% – 30% від собівартості  $C_{\text{ПР}}$ ).

Кількість замовлень при проведенні НДР:  $N = 1$ , собівартість копіювання становить:  $C_{\text{КОП}} = 100$  грн. Оцінка економічної ефективності розробки НДР при створенні магістерської рівна:  $Ц = (34331,10/1 + 100) + 34331,10 \times 0,2 = 41297,30$  грн.

Економічна ефективність від використання НДР зумовлена:

- скороченням трудовитрат при виконанні певних завдань;
- скороченням машинного часу при виконанні певних завдань.

При визначенні економічної ефективності необхідно порівняти використовуваний (базовий) програмний продукт і пропонований. З допомогою відповідних розрахунків (в разі значної складності використання експертних оцінок) визначається скорочення трудовитрат і (або) машинного часу, і як наслідок – економія коштів при використанні нового програмного продукту.

Для визначення ефективності продукту розраховують чисту приведену цінність  $NVP$  і термін окупності  $T_{\text{ОК}}$  [48]:



$$NVP = \sum\{(D_t - B_t)/(1 + i)^t\}, \quad (5.12)$$

де  $D_t$  – повний дохід за рік  $t$  при використанні методу;

$B_t$  – повні витрати за рік  $t$  при використанні;

$t$  – відповідний рік проекту;

$i$  – дисконтна ставка (0,3).

Нехай повний дохід за рік при використанні – 30000 грн., а витрати на обслуговування – 10000 грн. тоді чиста приведена цінність:

$$NVP = \sum_{i=1}^2\{(30000 - 10000)/(1 + 0,3)^2\} = 27218,90 \text{ грн.}, \quad (5.13)$$

Термін окупності визначається за формулою [48]:

$$T_{OK} = C/\sum\{D_i/(1 + i)^t\}, \quad (5.14)$$

Термін окупності становить:

$$T_{OK} = 41297,30/\{30000/(1 + 0,3)^1 + 30000/(1 + 0,3)^2\} = 1,011 \text{ року.}$$

Таблиця 5.5

#### Основні показники ефективності

№ п/п	Назва показника	Один, вимір.	Величина
1	Витрати часу на розробку	год.	440
2	Витрати на розробку	грн.	34331,10
3	Кількість покупців системи	од.	1,00
4	Ціна розробки	грн.	41297,30
5	Чиста приведена цінність	грн.	27218,90
6	Термін окупності витрат по НДР	рік	1,011

Отже, собівартість методу оцінювання якості систем дистанційного навчання становить 19183,59 грн., а термін окупності даного методу – 1,011 року, що дозволяє говорити про економічну доцільність та ефективність їх впровадження.

## РОЗДІЛ 6

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 6.1 Охорона праці

Оскільки, важливим чинником якості систем будь-якого класу є безпека користувачів, то необхідним є врахування та дотримання норм та правил з охорони праці і техніки безпеки при використанні комп'ютерів та інших пристроїв. Окрім цього, супровід та налаштування системи проводить спеціаліст, який також відповідає за дотримання техніки безпеки та охорони праці при використанні ПК.

Основним нормативним документом, який регламентує норми і правила експлуатації електронно-обчислювальної техніки є НПАОП 0.00–1.28–10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин». Правила встановлюють вимоги безпеки до обладнання робочих місць операторів ЕОМ. Вимоги НПАОП 0.00–1.28–10 є обов'язковими для роботодавців, операторів електронно-обчислювальних машин, операторів комп'ютерного набору, операторів комп'ютерної верстки та працівників інших професій, які у своїй роботі застосовують ЕОМ з ВДТ і ПП [14].

Згідно з [14, 15] площа, на якій розташовується одне робоче місце, облаштоване комп'ютером, повинна становити не менше як  $6.0 \text{ м}^2$ , об'ємом не менше як  $20 \text{ м}^3$ .

Робочі місця працівників, які використовують ПК, розташовуються на відстані від стін – на 1м; між собою на відстані 1,7 м, що відповідає вимогам до організації робочих місць, обладнаних комп'ютерами.

З метою запобігання нещасним випадкам та організації охорони праці на виробництві розробляються інструкції з охорони праці і техніки безпеки при використанні комп'ютерної техніки. Дія інструкції поширюється на всі структурні підрозділи даної установи.

До роботи на ПК допускаються особи, які пройшли спеціальне навчання, медичне обстеження, вступний інструктаж з охорони праці, інструктаж на робочому

місці та інструктаж з пожежної безпеки.

Згідно із розробленою інструкцією, відповідальний працівник за охорону праці і техніку безпеки при експлуатації системи підтримки процесу оцінювання якості систем дистанційного навчання, повинен дотримуватись правил внутрішнього трудового розпорядку, не допускати в робочу зону сторонніх осіб, не виконувати вказівок, які суперечать правилам охорони праці та пам'ятати про особисту відповідальність за виконання правил охорони праці та безпеку товаришів по роботі.

Для усіх працівників поставлено вимоги щодо вміння надавати першу медичну допомогу потерпілим від нещасних випадків, користування первинними засобами пожежогасіння та дотримання правил особистої гігієни.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами, які впливають на користувачів ПК є:

- підвищений рівень шуму на робочому місці (від вентиляторів, процесорів та аудіоплат);
- можливе підвищене значення напруги в електричному колі, замикання якого може статися через тіло людини;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітного випромінення;
- підвищена напруженість електричного поля;
- прямий та відбитий від екранів блиск; несприятливий розподіл яскравості в полі зору;
- фізичні перевантаження статичної та динамічної дії;
- нервово–психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження).

При виборі кімнат для розміщення робочих місць ПК враховано ступінь відбиття світла на екранах дисплеїв, яке проходить через вікна і яке може викликати значне осліплення в тих, хто сидить перед ними, особливо влітку та в сонячні дні. Тому, ПК і оргтехніка розміщені біля стін, які не знаходяться біля вікон або навпроти них.

Оскільки, при незадовільному освітленні знижується продуктивність праці користувачів ПК, і можливі негативні впливи на здоров'я такі, як короткозорість, швидка втомленість, тому всі приміщення мед закладу, які облаштовані робочими місцями з ПК, мають природне і штучне освітлення.

Розміщення робочих місць користувачів ПК повинні відповідати ГОСТ 22269–76 «Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места». Не допускається розташування робочих місць з ПК в підвальних приміщеннях.

Робочі місця з ПК при виконанні творчої роботи, яка потребує значної розумової напруги чи великої концентрації уваги, ізольовано одне від одного перегородкою висотою 1,6 м.

Поверхня підлоги у приміщеннях повинна бути оздоблена керамічною плиткою і бути рівною та зручною для очищення та вологого прибирання.

Штучне освітлення у приміщеннях повинно бути виконано у вигляді комбінованої системи освітлення з використанням люмінесцентних джерел світла у світильниках загального освітлення, які розташовувати над робочими поверхнями у рівномірно–прямокутному порядку. Штучне освітлення забезпечує на робочих місцях з ПК освітленість 300 – 500 лк.

Для запобігання засвітленню екранів ПК прямими світловими потоками лінії світильників розташовані з достатнім бічним зміщенням відносно рядів робочих місць, а також паралельно до світлових отворів. При цьому кожне вікно повинно мати світлорозсіюючі штори з коефіцієнтом відбивання 0,7.

У приміщенні також необхідно забезпечити і природне освітлення, при цьому на кожному вікні закріплені жалюзі з вертикальними ламелями, що регулюються для зменшення прямого попадання сонячного світла на екран комп'ютерів.

Згідно [18] світлових відблисків з клавіатури, екрана та від інших частин ВДТ у напрямку очей оператора не повинно бути. Усі робочі місця з ПК повинні бути розташовані таким чином, щоб в поле зору користувача не потрапляли вікна або освітлювальні прилади.

З метою мінімізації відблисків від клавіатури та екрану застосовуються спеціальні захисні козирки і джерела штучного світла розташовано паралельно напрямку погляду на екран ПК з обох сторін.

Для запобігання засліпленню користувачів світильники місцевого освітлення молочного кольору. Захисний кут відбивача світильника становить  $60^{\circ}$ .

Для оздоблення приміщень використовують дифузно–відзеркалюючі матеріали з коефіцієнтами відбиття: стелі – 0,8; стін – 0,5; підлоги – 0,3, що відповідає чинним вимогам [14].

Вміст шкідливих хімічних речовин у приміщеннях з ПК не перевищує концентрацій вказаних у ГОСТ 12.1.005–88 «Общие санитарно–гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».

На робочому місці користувачів ПК розміщується монітор, клавіатура, робочий стіл, крісло. При розташуванні елементів робочого місця враховано наступні фактори:

- робочу позу користувача;
- простір для розміщення користувача;
- можливість огляду елементів робочого місця;
- можливість огляду простору за межами робочого місця;
- можливість робити записи, розміщення документації і матеріалів, які використовує користувач.

Взаємне розташування елементів робочого місця не заважає виконанню всіх необхідних рухів та переміщень для експлуатації ПК. Отже, при розробці моделей, методів і системи підтримки процесу оцінювання якості систем дистанційного навчання, враховано необхідні вимоги щодо охорони праці при використанні електронно–обчислювальної техніки і забезпечено умови для зручної та ефективної роботи працівників.

## 6.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

### 6.2.1 Розроблення заходів з підвищення стійкості роботи об'єктів зв'язку, радіомовлення та телебачення

Для підвищення стійкості роботи центрального, республіканського і зонального радіомовлення необхідно передбачати:

□ будівництво захищених запасних центрів мовлення (ЗЦМ) і кабельних ліній їхньої прив'язки до комутаційно-розподільчих апаратних, створюваним на вузлах зв'язку. При цьому огорожувальні конструкції захищених споруд ЗЦМ повинні розраховуватися на надлишковий тиск у фронті ударної хвилі: для об'єктів центрального радіомовлення  $\Delta P_{\phi} = 200$  кПа (2 кгс / см<sup>2</sup>), для об'єктів зонального радіомовлення  $\Delta P_{\phi} = 100$  кПа (1 кгс / см<sup>2</sup>);

□ розміщення радіомовних комплексів центрального радіомовлення і зональних телерадіокомітетів захищених робочих приміщеннях відповідних пунктів управління, а також будівництво кабельних ліній їх прив'язки до ЗЦМ Держтелерадіо України;

□ передачу (розподіл) програм мовлення тільки по кабельним магістральними та внутрішньо зонних лініях зв'язку загальнодержавної ЕАСС;

□ створення у складі об'єктів зв'язку (обслуговуваних підсилюючих пунктів, радіоцентрів та ін.), розташованих за межами зон можливих руйнувань і зон можливого катастрофічного затоплення, дублюючих апаратно-студійних блоків і пунктів підключення пересувних засобів Держтелерадіо. Створення і розміщення вказаних допоміжних комплексів здійснюється по спільних планах Держтелерадіо і Мінзв'язку, погодженим з зацікавленими організаціями.

Підвищення стійкої роботи місцевого, а також міського радіомовлення в категорійних містах необхідно забезпечувати шляхом:

□ розміщення радіомовних комплексів місцевих телерадіокомітетів і комутаційно-розподільних апаратних в захищених робочих приміщеннях пунктів управління;

□ передачі (розподілу) програм мовлення тільки по кабельним магістральними та внутрішньо зоновим лініям зв'язку загальнодержавної ЕАСС, а також по кабельним радіотрансляційним мережам категорійних міст, перелік яких узгоджується Штабом ЦЗ держави;

□ використання радіо домів, радіо телецентрів і радіомовних студій підприємств зв'язку в некатегорюваних містах, селищах і сільських населених пунктах.

З метою підвищення стійкості центрального і регіонального телевізійного мовлення необхідно створювати загородні захищені виробничі бази телецентрів, що розташовуються поблизу вузлових радіорелейних станцій і станцій космічного зв'язку за межами зон можливих руйнувань і зон можливого катастрофічного затоплення.

6.2.2 Здійснення заходів щодо зниження дії іонізуючого випромінювання на радіоелектронну апаратуру зв'язку, радіомовлення та телебачення

Заходи радіаційної безпеки використовуються на підприємствах і, як правило, потребують проведення цілого комплексу різноманітних захисних заходів, що залежать від конкретних умов роботи з джерелами іонізуючих випромінювань і, передусім, від типу джерела випромінювання.

Закритими називаються будь-які джерела іонізуючого випромінювання, устрій яких виключає проникнення радіоактивних речовин у навколишнє середовище при передбачених умовах їхньої експлуатації і зносу.

Це – гамма-установки різноманітного призначення; нейтронні, бета і гамма-випромінювачі; рентгенівські апарати і прискорювачі заряджених часток. При роботі з закритими джерелами іонізуючого випромінювання персонал може зазнавати тільки зовнішнього опромінення.

Захисні заходи, що дозволяють забезпечити умови радіаційної безпеки при застосуванні закритих джерел, ґрунтуються на знанні законів поширення іонізуючих випромінювань і характеру їхньої взаємодії з речовиною. Головні з них такі:

□ доза зовнішнього опромінення пропорційна інтенсивності випромінювання і часу впливу;

□ інтенсивність випромінювання від точкового джерела пропорційна кількості квантів або часток, що виникають у ньому за одиницю часу, і обернено пропорційна квадрату відстані;

□ інтенсивність випромінювання може бути зменшена за допомогою екранів.

З цих закономірностей випливають основні принципи забезпечення радіаційної безпеки:

□ зменшення потужності джерел до мінімальних розмірів (“захист кількістю”);

□ скорочення часу роботи з джерелом (“захист часом”);

□ збільшення відстані від джерел до людей (“захист відстанню”);

□ екранування джерел випромінювання матеріалами, що поглинають іонізуюче випромінювання (“захист екраном”).

Найкращими для захисту від рентгенівського і гамма-випромінювання є свинець і уран. Проте, з огляду на високу вартість свинцю й урану, Можуть застосовуватися екрани з більш легких матеріалів – просвинцьованого скла, заліза, бетону, залізобетону і навіть води. У цьому випадку, природно, еквівалентна товща екрану значно збільшується.

Для захисту від бета-потоків доцільно застосовувати екрани, які виготовлені з матеріалів з малим атомним числом. У цьому випадку вихід гальмівного випромінювання невеликий. Звичайно як екрани для захисту від бета-випромінювань використовують органічне скло, пластмасу, алюміній.

Відкритими називаються такі джерела іонізуючого випромінювання, при використанні яких можливе потрапляння радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Джерелами аерозолів можуть бути не тільки виконувані виробничі операції, але і забруднені радіоактивними речовинами робочі поверхні, спецодяг і взуття.

Основні принципи захисту:

□ використання принципів захисту, що застосовуються при роботі з джерелами випромінювання у закритому виді;



□ герметизація виробничого устаткування з метою ізоляції процесів, що можуть стати джерелами надходження радіоактивних речовин у зовнішнє середовище;

□ заходи планувального характеру;

□ застосування санітарно-технічних засобів і устаткування, використання спеціальних захисних матеріалів;

□ використання засобів індивідуального захисту і санітарної обробки персоналу;

□ дотримання правил особистої гігієни;

□ очищення від радіоактивних забруднень поверхонь будівельних конструкцій, апаратури і засобів індивідуального захисту;

використання радіопротекторів (біологічний захист). Висновки

Радіація на сьогодні є чи не найнебезпечнішим фактором впливу не тільки на людину, але й на усі живі організми на планеті. Неконтрольовані ядерні реакції, ядерні війни та ряд інших можливих результатів людської діяльності, пов'язаних із радіацією негативно впливають на здоров'я людини та навколишнє середовище. Дотримання рекомендацій щодо захисту персоналу від впливу радіації, які проаналізовано вище, дає змогу мінімізувати ризики, пов'язані із загибеллю великої кількості людей, а також зберегти їхнє здоров'я.

## РОЗДІЛ 7

### ЕКОЛОГІЯ

#### 7.1 Електромагнітне забруднення довкілля його вплив на людину. Шляхи його зменшення

Біосфера протягом усієї еволюції перебувала під впливом електромагнітних полів (ЕМП), так званого фонового випромінювання, спричиненого природою. Навколо Землі існує електричне поле, потужністю у середньому 130 Вт/м. Спостерігаються річні, добові та інші варіації цього поля, а також випадкові його зміни під впливом грозових розрядів, опадів, завірюх, пилових бурь, вітрів. Наша планета має також магнітне поле. Це магнітне поле коливається за 80 та 11-річними циклами змін, а також більш короткочасними змінами з різних причин, пов'язаних із сонячною активністю (магнітні бурі).

Джерелами ЕМП є потужні радіопередавальні пристрої, електрифіковані транспортні засоби, повітряні лінії електропередачі та інші об'єкти електроенергетики.

Усі існуючі джерела ЕМП розділено на такі групи: функціональні передавачі – радіомовні станції НЧ (30 – 300 кГц), СЧ (0,3 – 3 МГц), ВЧ (3 – 30 МГц) і ДВЧ (30 – 300 МГц); транспорт на електроприводі (0 – 3 кГц) – залізничний і міський транспорт і їх інфраструктура; системи виробництва, передавання, розподілу і споживання електроенергії постійного і змінного струму (0 – 3 кГц).

Сильні електричні поля промислової частоти (ЕП ПЧ) в основному створюються об'єктами електроенергетики (лінії електропередачі високої напруги, збірні шини підстанцій, трансформатори і апарати високої напруги). Рівень напруженості ЕП, створюваного ПЛ, залежить від конструкційно-будівельних параметрів (діаметру і кількості проводів, відстані між ними, висоти їх над поверхнею землі). У зв'язку з цим рівні впливу на людей, що знаходяться під ПЛ, залежать від відстані до струмоведучих частин. Найбільше значення ЕП реєструється під час перебування людини безпосередньо під проводами і по центру між опорами.

На сьогоднішній день однією з найвагоміших причин різних проблем людини та оточуючого середовища є електромагнітне випромінювання, яке існує майже всюди, рівень випромінювання є на багато вищий за норму. Тому необхідно постійно проводити контроль рівня електромагнітного забруднення території і розробляти ефективні природоохоронні заходи для зниження негативного впливу електромагнітного випромінювання на населення.

Санітарні норми і правила захисту населення від впливу ЕМП, що створюються радіотехнічними об'єктами (РТО), визначають гігієнічні вимоги о передавальних радіо-, телевізійних станцій та інших об'єктів, які випромінюють електромагнітну енергію в навколишнє середовище. Правила поширюються на існуючу житлову забудову, забудову, що проектується і споруджується, окремі житлові, громадські і виробничі будинки, місця масового відпочинку населення, які розміщуються в районах розташування як діючих РТО, так і тих, що проектуються і споруджуються.

Відповідальність за дотриманням цих правил покладається на міністерства, відомства, установи, організації, підприємства, кооперативи та інші юридичні особи і фізичних осіб, які експлуатують, реконструюють або проектують на території України РТО, чи окремі передавальні пристрої, що випромінюють електромагнітну енергію. Узгодження проектів планування та забудови в районах розташування РТО покладається на установи санітарно-епідеміологічної служби МОЗ України і архітектурно-планувальні управління місцевих Рад народних депутатів. Відповідальність за проектування та будівництво житлових, громадських будинків і споруд в зоні обмеження забудови несуть організації, що здійснюють їх проектування і будівництво. Контроль за дотриманням правил покладається на органи і установи санітарно-епідеміологічної служби МОЗ України.

Встановлювані правилами гранично допустимі рівні (ГДР), ЕМП поширюються на діапазон частот 30 кГц – 300 ГГц.

Рівень ЕМП на території, призначеній для забудови, в приміщеннях житлових і громадських будинків, лікувально-профілактичних, оздоровчих, дитячих дошкільних і шкільних закладів, в будинках інвалідів і престарілих, в місцях відпочинку,

на дитячих і спортивних майданчиках і т.д., не повинен перевищувати ГДР, встановлені визначеними правилами [10].

Санітарно-захисна зона встановлюється з урахуванням перспектив розвитку РТО. Віддалення меж відраховується від основи антени. Використання санітарно-захисних зон регламентується “Санітарними нормами проектування промислових підприємств”, (СНіП 2.07.01–89).

Закон України Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об’єктів № 2480-VI от 09.07.2010.

Цей Закон визначає правові та організаційні засади надання і використання земельних ділянок для розміщення об’єктів енергетики, встановлення та дотримання правового режиму земель спеціальних зон об’єктів енергетики з метою забезпечення безперебійного функціонування цих об’єктів, раціонального використання земель, а також безпечної життєдіяльності та захисту населення і господарських об’єктів від впливу можливих аварій.

Основними принципами регулювання відносин на землях енергетики та землях спеціальних зон об’єктів енергетики є:

- комплексність заходів, спрямованих на забезпечення дотримання технологічних режимів виробництва і передачі електричної і теплової енергії та безаварійного функціонування і розвитку енергетичної галузі;
  - поєднання інтересів забезпечення енергетичної безпеки держави та захисту навколишнього природного середовища;
  - пріоритет безпеки життя і здоров’я населення над економічною вигодою від діяльності об’єктів енергетики;
  - визнання пріоритету потреб суспільної необхідності на землі енергетики над потребами приватної власності на землю інших осіб;
- гарантування відшкодування розміру втрат і збитків, які можуть бути заподіяні при будівництві та експлуатації об’єктів енергетики власникам і користувачам земельних ділянок.

## 7.2 Радіоекологія – один з нових розділів загальної екології

Радіоекологія – розділ екології, що вивчає концентрацію і міграцію радіоактивних нуклідів в біосфері і вплив іонізуючих випромінювань на організми, їх популяції і угруповань – біоценози. Також, радіоекологія – це розділ медицини, пов'язаний з медичною екологією, екологією людини, що вивчає дії радіоактивних випромінювань на організми – людей, тварин, рослин. Існує медична радіоекологія, яка досліджує впливи таких випромінювань на тканини, розробляє методи лікування онкологічних захворювань.

Елементи радіоекології містяться в роботах по біогеохімії радіоактивних речовин І. Вернадського, в монографії чеських учених Ю. Стокласа і Ж. Пенкава «Біологія радію і урану» (1932). Остаточно радіоекологія сформувалася до середини 50-х рр. ХХ ст. у зв'язку зі створенням атомної промисловості і експериментальними вибухами ядерних бомб, що викликали глобальне забруднення довкілля радіонуклідами стронцію, цезію, плутонію, вуглецю й ін.

Радіоекологія зазвичай має справу з вельми малими потужностями хронічного зовнішнього і внутрішнього опромінення організму. У природних умовах організми піддаються опроміненню за рахунок природного радіоактивного фону (космічні промені, випромінювання природних радіонуклідів U, Ra, Th й ін.), а також за рахунок радіоактивного забруднення біосфери штучними радіонуклідами. Проте багато рослин і тварин здатні нагромаджувати в життєво важливих органах і тканинах радіонукліди, що впливає на їх міграцію в біосфері і приводить до значного посилення внутрішнього опромінення. Підвищені дози опромінення, впливаючи на генетичний апарат клітин, приводять до зростання темпів спадкової мінливості. Вищі дози опромінення знижують життєздатність організмів (аж до вимирання найбільш чутливих до іонізуючих випромінювань популяцій) і тим самим викликають зміну структури біоценозів і збіднення їх міжвидових взаємин. Виявлення закономірностей, лежачих в основі цих процесів, має велике значення для ряду галузей народного господарства.

Проблеми, що вивчає радіоекологія.

Міграція радіонуклідів в харчових ланцюгах організмів (тварин і людини);  
Обрив або ослаблення екологічних зв'язків;  
Дезактивація забруднених земель, водоймищ, забруднених радіонуклідами;  
Пошук поверхнево залягаючих родовищ радіоактивних руд (по радіоактивності рослин-індикаторів);  
Виявлення територій суші і акваторій, забруднених штучними радіонуклідами.

Підрозділи радіоекології:

Морська радіоекологія;

Прісноводна радіоекологія;

Наземна радіоекологія (в тому числі лісова радіоекологія, сільськогосподарська радіоекологія);

Ветеринарна радіоекологія;

Гігієна радіоекології.

Результати радіоекологічних досліджень зробили великий вплив на прийняття міжнародних конвенцій, направлених на обмеження випробувань ядерної зброї і відмову від його вживання в умовах війни. На основі рекомендацій радіоекологів в промисловості розробляються і упрводжуються замкнуті цикли охолодження ядерних реакторів, уловлювачі радіоактивних аерозолів, методи зберігання і знешкодження радіоактивних відходів, що виключають їх попадання у довкілля.

## ВИСНОВКИ

Основні результати даної роботи полягають в наступному.

- проведено аналіз вимог, які пред'являються до слідкуючих систем управління антеною;
- проведено аналіз сучасного стану технологій слідкуючих систем управління антеною;
- змодельовано роботу вентиляного двигуна;
- розраховано параметри двигунів приводів азимута, поперечного крену і кута місця;
- контуру регулювання струму;
- контуру регулювання швидкості;
- контуру регулювання положення.
- проведено математичне моделювання слідкуючих систем управління антеною;
- досліджено контури регулювання слідкуючих системи при ступінчастому вхідному впливі;
- досліджено слідкуючі системи управління антеною на грубість до варіацій параметрів об'єкту управління;
- дослідження вплив збурюючих впливів на якість регулювання слідкуючих систем управління антеною;
- перевірено динамічні похибки системи стабілізації, яка не повинна перевищувати 2-3 кутових хвилин при впливі можливих періодичних збурюючих кутів кильової качки, бортової качки і риску рівними  $\pm 25$ ,  $\pm 30$  і  $\pm 8$  градусів відповідно.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. - СПб.: КОРОНА-Век, 2008. - 368 с.
2. Шрейнер Р.Т. Системы подчиненного регулирования Электроприводов. Часть 1. Электроприводы постоянного тока с подчиненным регулированием координат: Учеб. Пособие для вузов. / А.С. Востриков, Ф.Н. Сарапулов. - Екатеринбург: Изд-во Урал. Гос. Проф. - пед. Ун-та, 1997. - 279 с.
3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования. / Попов Е.П. - М.: Наука, 1975. - 768 с.
4. Мурашкин С.И. Системы управления электроприводов: учеб. Пособие по курсовой работе / В.М. Соломенцев, Т.Н. Слепцова. - Красноярск: ИПК СФУ, 2010. - 114 с.
5. Фираго Б.И. Теория электропривода: учеб. пособие / Л.Б. Павлячик, - 3-е изд. - Минск: Техноперспектива, 2007. - 588 с.
6. Решмин Б.И. Проектирование и наладка систем подчиненного регулирования электроприводов / Б. И. Решмин, Д. С. Ямпольский. М.: Энергия, 1975. - 184 с.
7. Лазовский Н. Ф. Системы управления электроприводами: Учеб. пособие по курсовому проектированию / Н. Ф. Лазовский, А. Н. Пахомов. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. - 111 с.
8. Тимченко С. А. Разработка следящей системы наведения корабельной антенны: Научный журнал «Chronos» / А. Н. Пахомов, С. А. Тимченко, 2017. С. - 107-110.
9. Тимченко С. А. Система управления корабельной антенной на базе вентильного двигателя: Вестник научных конференций «Ucom» Наука и образование в XXI веке / А. Н. Пахомов, С. А. Тимченко, 2018. С. - 143-145.



## ДОДАТКИ

