

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



В. М. Рябенський

д.т.н., професор

« 16 » червня 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

Розробка системи радіокерування напівпровідниковим
електроприводом

Виконав: студент 4397ст групи



(підпис)

К. П. Курільчик

Керівник роботи:

доцент каф. ПЕЕТ, к.п.н.

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

І. М. Худякова

м. Миколаїв – 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра	програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Спеціальність	172 «Електронні комунікації та радіотехніка»
Освітня програма	Телекомунікації

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми

(підпис) О.К.Жук

« 14 » квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» (освітньо-кваліфікаційний рівень)

Студенту Курільчику Кирилу Петровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи радіокерування напівпровідниковим електроприводом

керівник роботи Худякова Ірина Марківна, доцент каф. ПЕЕТ, к.п.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № УЧ-343 від «23» квітня 2025 року.

2. Термін подання роботи: 10 червня 2025 р.

3. Вихідні дані по роботі:

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

Стан та шляхи удосконалення сучасних електроприводів.

Розробка принципової схеми і програмна реалізація вдосконаленої мікроконтролерної системи радіокерування.

Автоматизація настройки та адаптації регулятора за допомогою системи радіокерування. Охорона праці.

5. Перелік презентаційних матеріалів Схема принципова тиристорного мосту.

Схема принципова системи імпульсно-фазового керування тиристорами.

Алгоритм роботи програми для СІФК. Технології безпроводної передачі даних.

Схема принципова USB-модуля.

Принципова схема підключення FT232R до USB-порту.

Алгоритм програми для USB-модуля. Відпрацювання сигналу уставки.

Ідентифікація перехідного процесу і параметрів регулятора.

Переналаштування регулятора.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4 Охорона праці	Тубальцев А. М., доцент каф. екології та природоохоронних технологій		

7. Дата видачі завдання «12» лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд існуючої літератури з теми	03.03.2025	Виконано
2.	Вступ	10.03.2025	Виконано
3.	Стан та шляхи удосконалення сучасних електроприводів	07.04.2025	Виконано
4.	Розробка принципової схеми і програмна реалізація вдосконаленої мікроконтролерної системи радіокерування	12.05.2025	Виконано
5.	Автоматизація настройки та адаптації регулятора за допомогою системи радіокерування	26.05.2025	Виконано
6.	Складання програми (додатки)	26.05.2025	Виконано
7.	Висновки	30.05.2025	Виконано
8.	Складання презентації	06.06.2025	Виконано
9.	Охорона праці	09.06.2025	Виконано

Студент


(підпис)

К. П. Курільчик

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

І. М. Худякова

(прізвище та ініціали)

Анотація

Кваліфікаційна робота під назвою «Розробка системи радіокерування напівпровідниковим електроприводом» представлена на 101 сторінці, містить 32 рисунка, дві таблиці, три додатки, перелік літератури з 11 найменувань.

У роботі виконується розробка системи керування електроприводом, зчитування та відображення реальних даних про стан виконавчого двигуна з використанням радіомодема TR24A. Проведено аналіз існуючих способів удосконалення систем керування вантажними кранами, виконана розробка принципової, друкованої та монтажною схем пристрою, розроблений алгоритм та написане відповідне програмне забезпечення.

Пристрій керування та контролю параметрів напівпровідникового електроприводу розроблений з використанням сучасної елементної бази, що дозволило зменшити його масо-габаритні показники та вартість. Можливість сполучення системи з комп'ютером дає великі переваги під час встановлення цієї системи на підприємствах.

Запропоновано комплекс заходів з охорони праці та навколишнього середовища, виконано аналіз видів та наслідків відмов компонентів системи.

Ключові слова : керування електроприводом, системи радіокерування, радіомодема TR24A.

Abstract

The qualification work entitled "Development of a radio control system for a semiconductor electric drive" is presented on 101 pages, contains 32 figures, 2 tables, 3 appendices, and a list of literature with 11 titles.

The work involves the development of an electric drive control system, reading and displaying real data on the state of the actuator using the TR24A radio modem. An analysis of existing methods for improving cargo crane control systems has been carried out, the development of the principle, printed and assembly diagrams

of the device has been carried out, an algorithm has been developed and the corresponding software has been written.

The device for controlling and monitoring the parameters of a semiconductor electric drive is designed using a modern element base, which has allowed to reduce its weight, dimensions and cost. The ability to connect the system to a computer provides great advantages when installing this system at enterprises.

A set of measures for labor and environmental protection was proposed, and an analysis of the types and consequences of failures of system components was performed.

Keywords : electric drive control, radio control systems, TR24A radio modem.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів..	7
Вступ.....	8
Розділ 1. Стан та шляхи удосконалення сучасних електроприводів ..	13
1.1. Напрями модернізації кранових електроприводів.....	13
1.2. Концепція системи радіокерування з можливістю двоспрямованої передачі інформації	28
Розділ 2. Розробка принципової схеми і програмна реалізація вдосконаленої мікроконтролерної системи радіокерування	33
2.1. Способи керування виконавчими двигунами постійного струму	33
2.2. Розробка структурної схеми двоспрямованої системи радіокерування	42
2.3. Розробка принципових схем блоків, що входять до складу системи.....	44
2.4. Характеристики програмних інтерфейсів зв'язку, використаних в системі.....	57
2.5. Розробка алгоритмів роботи програм, використаних в системі.	63
2.6. Розробка інтерфейсу користувача	65
Розділ 3. Автоматизація настройки та адаптації регулятора за допомогою системи радіокерування	69
3.1. Розрахунок параметрів регулятора і якості регулювання.....	69
3.2. Основні принципи автоматичної настройки та адаптації регулятора.....	71
3.3. Ідентифікація та моделі об'єкта управління	74
3.4. Вибір тестових сигналів і вимірювання динамічних характеристик.....	79
3.5. Програмування засобів настройки ПД-регуляторів	83
Розділ 4. Охорона праці	88
4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що впливають на людину	90

4.2. Розрахунок загального освітлення	97
4.3. Заходи по техніці безпеки.....	98
Висновки	101
Список використаних джерел	102
Додаток А.....	103
Текст програми на мові С для мікроконтролера АТmega8, встановленого на USB-модуль	103
Додаток Б	112
Текст програми на мові С для мікроконтролера АТmega8, встановленого на платі системи імпульсно-фазового керування двигуном	112
Додаток В	123
Перелік елементів, використаних в принципових схемах.....	123

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

Текст

ПЛК – програмований логічний контролер.

МПС – мікропроцесорна система.

ПО – протоколи обміну.

ВМ – виконавчі механізми.

ПП – перетворювальні пристрої.

ВД – виконавчі двигуни.

СУР – система управління та регулювання.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасне автоматизоване виробництво пред'являє все більш високі вимоги до засобів автоматизації, їх технічних характеристик таких, як надійність і ефективність функціонування. У свою чергу зазначені показники багато в чому визначаються якістю виконавчих систем, типом застосованого електроприводу.

Актуальність теми. До числа основних вимог до промислових електроприводів відносяться: висока точність і швидкість відпрацювання сигналу завдання швидкості, плавність руху, здатність забезпечувати задані показники якості руху при змінному статичному моменті і моменті інерції навантаження.

Серед різних типів приводів виділяються електричні приводи на базі двигунів постійного струму, що обумовлено їх добрими регульовальними властивостями і простотою реалізації замкнутих слідкуючих систем.

Незважаючи на порівняно великі досягнення в галузі теорії і практики автоматичного керування двигуном постійного струму, існує ряд проблем, однією з яких є розробка уніфікованих і універсальних систем керування швидкістю, здатних працювати з широким рядом двигунів. Так в останніх роботах все більше уваги приділяється адаптивним самоналагоджувальним системам (СНС) управління. Саме СНС з активним самоналаштуванням (з ідентифікацією) здатні повною мірою бути універсальними і без змін параметрів системи підходити для управління широким рядом двигунів, що розрізняються як по потужності, так і по прикладеному навантаженню.

Дана тенденція обумовлена великими досягненнями як в галузі промислової електроніки, так і в області комп'ютерної техніки і можливостями зробити керуючий блок у вигляді програми, записаної в мікроконтролер, з одного боку, та проводити складне моделювання електромеханічних систем з високою швидкістю і точністю з іншого. Основною ж причиною для освоєння універсальних систем управління є те,

					172.4397ст.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

що динамічні процеси в більшості електроприводів систем автоматики описуються однаковою структурною моделлю і для таких електроприводів характерний однаковий режим роботи: розгін до заданої швидкості – регулювання заданої швидкості – реверс або перехід на іншу швидкість.

Проте теорія і практика самоналагоджувальних систем з ідентифікацією стосовно електроприводу постійного струму в даний час розвинена не повною мірою. Це пояснюється тим, що електропривід являє собою нелінійну систему з неконтрольованими зовнішніми збуреннями і обмеженням величини керуючого впливу. А у відомих методах ідентифікації та побудови СНС передбачається, що об'єкт управління на проміжках самоналаштування являє собою лінійну ланку.

В той же час електропривід має бути радіокерованим, що дозволить отримати ряд значних переваг. Розробка системи радіокерування електроприводом з ідентифікаційним самоналаштуванням надає можливість провести якісну уніфікацію систем керування швидкістю і використовувати цю систему як універсальну для управління широким рядом електроприводів постійного струму промислового автоматизованого обладнання.

В даний час в багатьох галузях промисловості, де використовується вантажопідйомне обладнання, все частіше застосовують сучасні системи дистанційного радіокерування кранами, які дозволяють удосконалити й убезпечити весь технологічний процес виробництва, а саме, робітникам: стропальникам, монтажникам, верстатникам, і т.д., самим виконувати всі необхідні підйомно-транспортні операції без допомоги кранівника. При установці системи дистанційного радіокерування краном одночасно можна вирішити кілька важливих завдань:

1. Скорочення чисельності кранівників, кранівниками-операторами можуть бути технологічні робочі або стропальники.
2. Підвищення продуктивності робіт:

					172.4397ст.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– порівняно з кранами та кран-балками, керованими за допомогою підвісних кабельних постів, при радіокеруванні не потрібно зменшувати швидкості механізмів пересування, а також забезпечується свобода переміщень, особливо в зонах, зашаржених різним устаткуванням або насичених будівельними конструкціями;

– порівняно з кранами, керованими з кабіни, при радіокеруванні оператор, самотійно, без сигналів стропальника, швидше виробляє доводочні операції при точному позиціонуванні встановлюваного вантажу.

3. Підвищення безпеки і поліпшення умов праці:

– якщо на рівні кабіни крана висока температура, велика загазованість і запиленість, то є можливість перевести кранівника в місця з поліпшеними умовами праці;

– на відміну від управління з підвісного поста, кранівник-оператор має можливість безперешкодно пересуватися в зоні робіт, вибираючи безпечний шлях прямування.

4. Вирішення соціальних проблем, пов'язаних з професійними захворюваннями кранівників, викликаних постійним впливом на організм тряски і вібрації.

5. Економія електроенергії за рахунок скорочення протягом робочого дня холостих пробігів, наприклад до посадочного майданчику крана.

6. При транспортуванні великогабаритних вантажів, що виконується одночасно двома кранами, з допомогою одного пульта управління краном, легко забезпечується синхронне включення і пересування механізмів, що набагато складніше здійснити кранівникам, що знаходяться в кабінах різних кранів.

7. Для кранів, призначених для спільної роботи, при транспортуванні довгомірних вантажів, застосування системи радіокерування кранами виключить необхідність виготовлення складного стиковального вузла з великою кількістю тролів або гнучких струмопідводів, необхідних для одночасного управління кранами з однієї кабіни.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Існуючі системи з радіокеруванням потребують удосконалення шляхом додавання можливості зворотної передачі даних від електроприводу до пульта управління. Фіксація та аналіз отриманих даних дозволить оператору спостерігати реальні перехідні процеси і програмно коригувати їх характеристики. Отримані дані про параметри технологічного процесу можуть бути використані також для архівування історії зміни технологічних параметрів, формування сумарних звітних форм з метою надання інформації керівному персоналу.

Мета і задачі. Метою роботи є розробка удосконаленої системи радіокерування приводом постійного струму шляхом використання можливостей двоспрямованої передачі потоків інформації в стандартних мікроконтролерах і радіомодемах для автоматизації настройки регуляторів.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні технічні завдання:

1. Аналіз відомих систем радіокерування крановим електроприводом постійного струму, алгоритмів їх роботи.
2. Розробка структурної схеми системи радіокерування з можливістю двоспрямованої передачі інформації.
3. Розробка датчиків сигналів зворотних зв'язків, сумісних з каналом радіокерування.
4. Розробка та програмна реалізація вдосконаленої мікроконтролерної системи радіокерування, яка забезпечує:
 - передачу сигналу уставки (в прямому напрямку);
 - ідентифікацію об'єкта управління;
 - розрахунок оптимальних параметрів регулятора;
 - налаштування регулятора;
 - робастність.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробник		Курільчик К. П.			Стан та шляхи удосконалення сучасних електроприводів	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант		Рябенський В. М.					12	20
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Худякова І. М.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1. СТАН ТА ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

1.1. Напрями модернізації кранових електроприводів

Проблема реконструкції та модернізації підйомно-транспортного обладнання для деяких організацій здається завданням нездійсненним і неприйнятним у зв'язку з великими капіталовкладеннями, необхідними для їх реалізації. Але придбання нового обладнання обходиться набагато дорожче, і організації опиняються в глухому куті. Адже в умовах конкуренції з'являються можливості до більш гнучких схем впровадження нового обладнання, що в свою чергу сприяє збільшенню бажаючих вирішити проблеми технічного оснащення саме цим способом, а не купівлею нового устаткування, поки мало доступного нашим підприємствам.

У технологічному процесі транспортування вантажів центральне положення займають крани. Їх поломки ведуть до обриву в технологічному ланцюзі транспортування. Звичайно, можлива їх заміна шляхом застосування інших транспортних машин: автомобілів, мобільних кранів і т.д. Але ця заміна все одно є неповноцінною і незадовільною альтернативою для транспортно-вантажних організацій, швидше заміна кранів на час простою іншим обладнанням говорить про прорахунки керівництва фірми або осіб, відповідальних за справний стан кранів та їх експлуатацію. Заміна крана іншим обладнанням сильно знижує обсяги вантажно-розвантажувальних робіт, що в свою чергу веде до великих економічних втрат, не кажучи вже про зриви договірних термінів і виникаючу недовіру з боку потенційних клієнтів. Клієнти, невпевнені в надійності технічної бази підрядника, відмовляються від таких організацій і змушені шукати партнерів з більш високим рівнем технічного забезпечення. Враховуючи важку ситуацію в нашій країні, це завдання не з легких. Переважна більшість організацій виявилася приблизно на одному рівні технічного забезпечення. До цього призвели й тривала економічна криза, і призупинення розвитку

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

машинобудівної галузі, і припинення проектної та дослідницької діяльності НДІ та проектних організацій, які займалися розвитком промисловості і сприяли конкурентоспроможності вітчизняної техніки з зарубіжними аналогами. Тому майже всі організації утримують на своєму балансі крани в кращому разі випуску кінця 70-х, початку 80-х років. З того часу техніка не оновлювалася, і вона до цих пір функціонує, не дивлячись на її давно вже минулі нормативні терміни служби.

Добре, що в колишньому Радянському Союзі конструкції мали великі запаси міцності і довговічності, що дає можливість продовжувати їх експлуатацію сьогодні. Але й ця техніка має свою межу, виходить з ладу, призводить до великих витрат в обслуговуванні та ремонті, що змушує керівництво фірми шукати інші шляхи відновлення технічної бази. Великі підприємства такі, як порти, намагаються оновлювати свою базу новими закордонними й вітчизняними кранами, що, як відомо, заняття не з дешевих. Темпи оновлення малі у зв'язку з обмеженим фінансуванням. Тому і цей варіант вирішення проблеми не завжди прийнятний навіть великим організаціям, не кажучи вже про малі підприємства.

Одним з виходів із ситуації є модернізація техніки, що експлуатується. В основному, модернізації підлягають приводи кранів і системи керування, так як металоконструкція, маючи великий запас міцності, допускає подальшу експлуатацію. Модернізація систем керування електроприводу кранових механізмів полягає в заміні існуючих релейно-контакторних систем керування з реостатним методом регулювання на систему частотного керування, що передбачає безконтактне плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні при високому рівні енергозбереження, отримання малих (доводочних) швидкостей, що забезпечують необхідну точність установки, збереження вантажу, підвищення продуктивності, зменшення кількості технічних обслуговувань і ремонту як електричної, так і механічної частин крана, скорочення витрат змінно-запасних частин і, відповідно, простоїв обладнання.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ефект від модернізації кранів досить високий, а саме:

– зменшення майже вдвічі пускових струмів і як наслідок ударних навантажень за рахунок можливості здійснити плавний пуск / зупинку двигуна, що призводить до збільшення термінів експлуатації механічних вузлів (редукторів, валів, шестерень, муфт і т.д.) а також самої металоконструкції;

– зменшення споживання електроенергії приводу за рахунок виключення шаф опорів при регулюванні швидкості та підвищення коефіцієнта потужності ($\cos\phi - 0,98 \div 1$) приводів механізмів.

– збільшення точності позиціонування (в результаті малих (доводочних) швидкостей, які стали можливими при використанні частотних перетворювачів, що призвело до збільшення продуктивності за рахунок скорочення часу позиціонування).

Досить великий економічний ефект надає застосування програмованих логічних контролерів (ПЛК) і систем дистанційного керування механізмами.

Заміна релейних схем керування на ПЛК дає значне зменшення масогабаритних показників, а також збільшення надійності та часу безвідмовної роботи.

Застосування дистанційного керування дозволяє виключити шкідливий вплив виробничих факторів на людину і знизити ймовірність отримання травм та інших негативних наслідків внаслідок НП на виробничій ділянці. Також воно дозволяє більш раціонально використовувати людські ресурси за рахунок поєднання роботи кранівника та стропальника.

Всі вищеописані моменти щодо частотного приводу, систем на основі ПЛК та дистанційного керування застосовні як до нових, так і до кранів що знаходяться в стадії проектування. Виготовлення, монтаж, налагодження таких систем керування і приводу не вимагають більше часу, ніж релейно-контакторні системи.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

1.1.1. Модернізація за допомогою частотних перетворювачів

Частотні перетворювачі – це компоненти з потужністю від 1,5 до 560 кВт для мереж від 380 до 690 В. Вони являють собою рішення багатьох проблем і займають своє постійне місце в промисловості. Для особливо специфічних умов - наприклад, спеціальних функцій кранів – розроблені додаткові інтелегентні функції розширення.

Призначення:

Безступінчастий рух під час переміщення, підйому, розвертанні і маятниковому застосуванні.

Переваги:

- одночасне регулювання декількох приводів;
- варіабельні оберти при постійному крутному моменті;
- варіабельний крутний момент при постійних обертах;
- ідеальні характеристики прискорення та гальмування;
- при необхідності короткочасне перевищення номінальної потужності;
- спеціальні програмні функції для оптимального використання;
- простота технічного обслуговування;
- простота установки.

Можливості розширення:

- IP 55 для використання у несприятливому середовищі;
- реалізація двох різних варіантів використання за допомогою перемикачів груп параметрів;
 - технологія оптико-волоконної проводки для швидкої системної комунікації декількох перетворювачів;
 - спеціальні модулі для спеціалізованих функцій кранів;
 - інтегрований контроль обертів.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1.1.2. Використання тиристорних електроприводів

Тиристорний електропривід – електропривід, в якому режим роботи його виконавчого двигуна (ВД) або іншого виконавчого механізму (ВМ) регулюється перетворювальним пристроєм (ПП) на тиристорах.

У тиристорному електроприводі змінного струму як ВД найчастіше застосовують асинхронні і синхронні трифазні електродвигуни, режим роботи яких можна регулювати зміною частоти і амплітуди напруги, що підводиться до статора, а в разі синхронного двигуна - також зміною струму в обмотці збудження. У тиристорному електроприводі цього типу, що живляться від джерела змінного струму, який регулює ПП, зазвичай служить тиристорний перетворювач частоти, виконаний або з проміжною ланкою постійного або змінного струму, або за схемою з безпосереднім зв'язком. При живленні таких тиристорних електроприводів від джерела постійного струму в якості ПП використовують автономний інвертор. Реверсування ВД в тиристорному електроприводі змінного струму здійснюють, змінюючи послідовність чергування фаз напруги, що підводиться до статора.

У тиристорному електроприводі постійного струму застосовують двигуни постійного струму з послідовним, паралельним, змішаним або незалежним збудженням, регулювання режимів роботи яких можна виконувати по ланцюгу обмотки якоря або обмотці збудження. У тиристорному електроприводі цього типу, що живляться від джерела змінного струму, в якості ПП служить тиристорний випрямляч струму. Якщо живлення таких тиристорних електроприводів здійснюється від джерела постійного струму, то ПП виконують у вигляді імпульсного регулятора постійного струму або системи "інвертор - випрямляч" з посередником змінного струму підвищеної частоти. У тиристорному електроприводі постійного струму реверсування ВД виконують за допомогою зміни напрямку струму в обмотці якоря або обмотці збудження двигуна (при цьому застосовують другий такий ж ПП, що включається зустрічно-паралельно з першим по відношенню до ланцюга ВД).

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для гальванічної розв'язки ланцюгів живлення і навантаження, а також при необхідності узгодити величини напруги джерела живлення та ВД в тиристорному електроприводі використовують трансформатор, включаючи його на вході ПП (якщо тиристорний електропривід живиться від джерела змінного струму) або в його проміжній ланці (при живленні тиристорного електроприводу постійним струмом). Керування переданим через ПП потоком енергії здійснюють за допомогою ручної або автоматичної системи управління та регулювання (СУР), що включає блоки живлення, регулювання частоти і напруги, формування керуючих імпульсів для тиристорів силових ланцюгів ПУ, а також блоки захисту від струмів короткого замикання, перевантажень і перенапружень. Сучасні СУР виконують на типових логічних блоках і інтегральних схемах, вони мають малі габарити, високі швидкодію і надійність. Для відводу тепла від тиристорів і ВД використовують природне або примусове повітряне або рідинне охолодження.

Тиристорні електроприводи знаходять застосування в різних галузях промисловості та в транспорті. Потужність тиристорного електроприводу становить (в залежності від їх призначення) від декількох кВт до 10 МВт і вище.

Призначення:

Пристрій призначений для установки на вантажних кранах в якості панелей керування електродвигунами різних механізмів крана. Вони можуть встановлюватися замість існуючих панелей (наприклад контакторної, що вимагає ремонту або заміни)

Будова:

До складу пристрою входять: тиристорні контактори, проміжні реле і реле часу, що реалізують заводський алгоритм керування двигуном, силовий автомат, струмові реле захисту двигунів. Тиристорні контактори, використовувані в статорному ланцюзі електродвигуна складаються з 2-х

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

тиристорів, включених зустрічно-паралельно на кожну комутовану фазу. Контактори, використовувані в роторному ланцюзі складаються з 3-х тиристорів, включених в трикутник. Включення тиристорів відбувається шляхом подачі анодної напруги через резистор і контакт керуючого реле на керуючий електрод. В якості керуючого реле використовується пускач 1-ї величини.

Переваги:

По суті, пристрій являє собою контакторну систему керування, в якій роль силових контакторів виконують тиристори. Звідси його головна перевага - не вигорять контакти, а значить:

- менше часу і грошей витрачається на ремонт і профілактику;
- зменшуються простої крана;
- зменшуються витрати на обслуговування.

Конструктивно на одній панелі розташовуються пристрої керування одним механізмом (до 4-х двигунів) або двома механізмами (по 1-му двигуну). Всі панелі виготовляються під кожний кран індивідуально, з урахуванням:

- заводського алгоритму керування, у тому числі реалізуються різні режими гальмування (підсинхронні гальмування, гальмування протитечією, динамічне гальмування з зовнішнім збудженням або з самозбудженням);
- габаритів існуючих на крані шаф;
- розташування проводів силових і слабкострумівих.

У зв'язку з цим монтаж пристрою на кран не викликає труднощів і не вимагає заміни командоконтролерів, роторних резисторів, кабелів.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1.1.3. Удосконалення електроприводу за допомогою тиристорних контакторів

Безконтактний тиристорний ключ призначений для перемикання компенсуючих конденсаторів або, більш точно, для перемикання LC-контурів з переважною ємнісною складовою (захисні компенсуючі ступені). Цей спосіб регулювання реактивної потужності застосовується для електромереж, де характер навантаження змінюється дуже швидко, наприклад, зі зварювальними апаратами, штампувальними пресами, ліфтами, кранами, керованими електроприводами і т.д.

Тиристорні контактори (ТК), на відміну від звичайних забезпечуються вбудованим блоком захисту електродвигуна (БЗЕ), що має 6 ступенів захисту:

- обрив фази 3-х фазної мережі змінного струму 220/380 вольт;
- перегрів електродвигуна;
- тривалі технологічні перевантаження;
- заклинювання ротора електродвигуна;
- неприпустима несиметрія напруг фаз електромережі;
- неправильні процеси пуску і гальмування.

На відміну від звичайних контакторів типу КТ і ТКЕ, ТК представляє собою «тиристорний ключ», що дозволяє отримати наступні переваги:

- при включенні і відключенні не виникає електричної дуги (основний недолік звичайних контакторів), внаслідок того, що ТК є електронною схемою, основний елемент в якій тиристор;
- немає рухомих частин і, як наслідок, термін служби збільшується в кілька разів;
- рівень шуму при роботі ТК практично дорівнює нулю, на відміну від звичайних контакторів, завдяки конструктивним особливостям останніх;
- робота, як в тривалому, так і в повторно-короткочасному режимах з практично не обмеженою частотою включень і відключень;

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

- простота в обслуговуванні: будь-який елемент ТК можна замінити на місці (не знімаючи ТК) практично за кілька хвилин;
- при необхідності не складно переробити ТК на струм іншого номіналу – досить замінити тиристори.

Тиристорні контактори виготовляються на струми від 63 А до 1000 А в мережах з напругою до 1000 В змінного струму.

1.1.4. Застосування дроселів для модернізації електроприводів

Дросель являє собою активно-індуктивний опір, значення якого за рахунок зміни величини і частоти струму ротора автоматично зменшується при пуску від початкового значення до практично нульового значення. Тоді виключається вся комутаційна апаратура роторного ланцюга електродвигуна.

Така конструкція використовується для електродвигунів потужністю до 30 кВт. Для двигунів більшої потужності використовуються однофазні дроселі, що включаються в кожну фазу ротора. Обмотки дроселя представляють собою кілька десятків витків мідного дроту або мідної шини, перетин яких вибирається по роторному струму електродвигуна. Для можливості коригування пускового струму електродвигуна в процесі настройки електроприводу на обмотках дроселя, як правило, передбачаються відпайки.

Активно-індуктивний характер опору дроселя дозволяє при певних його параметрах забезпечувати пусковий момент більший, ніж на природній характеристиці при істотному обмеженні пускового струму.

Досвід показує, що при монтажі нового крану вартість електрообладнання та електроматеріалів при використанні дроселів зменшується до 50%, а обсяг електромонтажних робіт скорочується до 70%. Дросельні електроприводи показали свою ефективність не тільки на механізмах мостів і візків кранів, а й на механізмах підйому.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

В даний час розроблений тиристорний регулятор швидкості (ТРС), здатний плавно регулювати швидкість від 10-15% номінальної швидкості до номінальної швидкості на всьому діапазоні моменту, обмеженого дросельною характеристикою, що, в даний час, здатний робити тільки частотний регулятор.

На підставі розглянутого можна зробити наступні висновки:

- дросель з масивними (в феромагнітному розумінні) сердечниками створює активно-індуктивний опір, величина якого автоматично зменшується зі зростанням швидкості електродвигуна під час пуску;
- при включенні дроселя в роторний ланцюг зменшення пускового струму йде в більшій мірі, ніж відповідне зменшення пускового моменту;
- механічні характеристики дросельного електроприводу на вигляд наближаються до "екскаваторних" характеристик, які є бажаними для плавного пуску електродвигуна;
- робоча частина механічних характеристик дросельного електроприводу дещо м'якіша, ніж природні характеристики, що знижує статичну швидкість механізму на 3% – 8%. Цей недолік можна усунути шунтуванням кілець ротора електродвигуна контактором після завершення пуску;
- дросельний електропривід з тиристорним регулятором швидкості забезпечує всі необхідні режими роботи механізмів підйому кранових механізмів, включаючи реалізацію режимів вибору слабину канатів і низькі посадочні швидкості;
- досвід показав ефективність використання дроселів в приводах кранових механізмів, спрощуючи схеми керування і різко підвищуючи їх експлуатаційну надійність;
- в результаті наукових і практичних досліджень вдалося розробити ряд дроселів різної конструкції, що застосовуються в електроприводах з потужністю двигунів до 125 кВт включно з ПВ від 40% до 60%;

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– в даний час розроблений і, при необхідності може бути виготовлений пусковий дросель для високовольтних (6000В, 10000В) асинхронних електродвигунів з фазним ротором потужністю від 250кВт до 2000кВт, що використовуються для великих вітродувок, насосів, млинів, обертових печей та ін. У цьому випадку дросель використовується тільки для виведення механізму на статичну швидкість.

1.1.5. Використання панелей для керування електродвигунами постійного і змінного струму

Кранові панелі призначені для керування електродвигунами механізмів підйому або пересування мостових і козлових кранів. Кранові панелі забезпечують пуск, реверсування, гальмування, регулювання швидкості електродвигуна, а також максимальний, нульовий та кінцевий захист електроприводу.

Конструктивно кранові панелі керування випускаються у відкритому виконанні і являють собою вертикально встановлену раму, на яку змонтовані комутаційні апарати, панелі або блоки з апаратурою. Переднє приєднання проводів виключає необхідність залишати прохід із задньої сторони кранової панелі. Зовнішні дроти головних ланцюгів приєднуються безпосередньо до виводів відповідних апаратів.

Панелі захисту конструктивно випускаються в закритому виконанні (ящиках) для внутрішньої і зовнішньої установки.

Крім перерахованого вище, контактори типу CRLI мають більш широкий ряд номінальних струмів, що дозволяє підібрати контактор оптимальний за ціною для конкретного двигуна.

У комплекті з контакторами на модернізовані панелі керування встановлюються програмовані реле (наприклад, Zelio Logic), що дозволяють максимально точно встановити час розгону двигуна (зменшується

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

нагрівання, збільшується ресурс, розгін відбувається плавно без поштовхів), зменшується кількість проміжних реле і відповідно підвищується надійність схеми в цілому.

Маркування клемників і напруга керування на модернізованих панелях повністю відповідає стандартним, що дозволяє виконати їх заміну в максимально короткі терміни.

1.1.6. Використання промислових джойстиків (командоконтролерів)

Використовуючи передовий зарубіжний і вітчизняний досвід, був розроблений і вироблений новий продукт – командоконтролер «джойстик» серії ККП7М, виготовлений відповідно стандарту ІЕС (International Electrotechnical Commission). У цій серії командоконтролерів випускаються джойстики як стандартного виконання (сухий контакт) так і з сельсинами, обертальними трансформаторами і потенціометрами.

Джойстик стандартного виконання призначений для керування як панелями типу КС, ТС, ТСД, ТСА і т.д. так і частотно-регульованим приводом з дискретним завданням швидкості. Контактна група ланцюгів керування розрахована на змінну напругу до 380В і постійну напругу до 220 В, силою електричного струму до 10 А.

Аналоговий джойстик призначений для регулювання швидкості, керування електричною віссю і кутом нахилу, переміщення, передачі сигналів з високою точністю позиціонування.

Структурні характеристики:

Джойстик складається з двох частин: контрольний пристрій та кулачковий перемикач. Механізм керування може бути забезпечений трьома типами рукояток: форми округлої, квадратної і квадратної з кнопкою. Конструкція трансмісії представляє з себе шестерну передачу. За допомогою

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

руху рукоятки приводиться в рух шестерня, що приводить в рух кулачки перемикача – тим самим проводиться переключення контактної групи.

Щоб уникнути пошкодження обладнання, яке може наступити в результаті необережного керування або вібрації при зіткненнях під час роботи механізму, на рукоятці встановлено механізм автоматичної фіксації в нульовому положенні. Головка рукоятки складається з двох півсфер, рукоятка залишає нульову позицію тільки при піднятій нижній півсфері. У разі якщо не потрібно фіксувати рукоятку в нульовому положенні, нижня півкуля головки рукоятки після підняття розвертається.

Найбільший кут нахилу операційної рукоятки становить ± 420 , найбільше зусилля – 20 Н, 6 позицій в кожному напрямку руху рукоятки.

Командоконтролери пристосовані до безперервної роботи протягом 8 годин на добу протягом тривалого періоду часу, штатна частота операцій 1200 разів на годину, ПВ = 40%.

Рівень захисту корпусу командоконтролера IP30.

При штатній частоті використання командоконтролера тривалість працездатності механізму $3 \cdot 10^6$ циклів, тривалість електричної працездатності контролерів $6 \cdot 10^5$ при типі навантаження АС-15 та $3 \cdot 10^5$ при типі навантаження DC-13.

1.1.7. Модернізація за рахунок установок компенсації реактивної потужності (конденсаторні установки УКРМ, УКР, КРМ)

Всі без винятку електроприймачі змінного струму є споживачами активної та реактивної потужності. Споживачі реактивної потужності - це асинхронні двигуни, індукційні печі, зварювальні трансформатори, випрямлячі і т.п., а також ланки електричної мережі - трансформатори, лінії електропередачі, реактори та інше обладнання.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Активна потужність перетворюється в корисну роботу - механічну, теплову та ін. Реактивна ж енергія не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів. Показником споживання реактивної потужності є коефіцієнт потужності $\cos\varphi$. Він показує співвідношення активної потужності P і повної потужності S , споживаній електроприймачами з мережі:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}};$$

Реактивна потужність разом з активною враховується постачальником електроенергії, а отже, підлягає оплаті за діючими тарифами, тому складає значну частину рахунку за електроенергію.

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивної потужності УКРП, це дозволяє:

- розвантажити живлячі лінії електропередачі, трансформатори і розподільні пристрої;
- знизити витрати на оплату електроенергії;
- знизити рівень вищих гармонік;
- подавити мережеві перешкоди, знизити несиметрію фаз;
- зробити розподільні мережі більш надійними і економічними;
- забезпечувати електроживлення навантаження по кабелю з меншим перетином;
- підключити додатково корисне навантаження;
- уникнути глибокої просадки напруги на віддалених електро-споживачах;
- максимально використовувати потужність автономних дизель-генераторів;
- полегшити пуск двигуна (при місцевій компенсації).

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,94 до 0,99.

1.1.8. Конструктивні особливості кранових електродвигунів

Кранові двигуни призначені для роботи як у приміщенні, так і на відкритому повітрі. Тому їх виконують закритими, з самовентиляцією (асинхронні двигуни) або з незалежною вентиляцією (двигуни постійного струму) і з вологостійкої ізоляцією. Так як двигуни розраховані на важкі умови роботи, їх виготовляють підвищеної міцності. Двигуни допускають великі короткочасні перевантаження і мають великі пускові та максимальні моменти, які перевищують номінальні в 2,3...3,0 рази; мають відносно невеликі пускові струми і малий час розгону; розраховані на короткочасні і повторно-короткочасні режими роботи. При температурі охолоджуючого повітря 40° С допускається перевищення температури таких двигунів до 100° С для ізоляції класу F і 125° С для ізоляції класу H.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1.2. Концепція системи радіокерування з можливістю двоспрямованої передачі інформації

У цілому, технології бездротової передачі даних можна розділити на дві великі групи. В одній з них забезпечується встановлення прямого з'єднання на весь час сеансу зв'язку, незалежно від реального завантаження каналу - так само, як це відбувається в кабельних мережах з комутацією каналів. Такі технології забезпечують синхронний зв'язок - на одному кінці відбувається передача, а на іншому, в той же самий час, - прийом. Технології іншої групи аналогічні системам з комутацією пакетів - в них не забезпечується синхронність, але зате і з'єднання встановлюється тільки на час реальної передачі, тому наявна ємність каналу використовується значно ефективніше. Технології першого типу більше підходять для телефонних переговорів (хоча вони широко застосовуються і для передачі даних), технології другого типу призначені в першу чергу для передачі даних.

За способом радіочастотної модуляції всі технології можна розділити на вузькосмугові і широкосмугові. При використанні технології першої групи передача ведеться у вузькому діапазоні поблизу строго визначеної частоти. Звідси взаємні наведення, необхідність «ділити» ефір, неможливість роботи двох пристроїв в безпосередній близькості один від одного. Широкасмугові технології названі так тому, що в них для передачі інформації використовується значно ширший діапазон, ніж при звичайних методах модуляції, вони мають більш високу завадостійкість по відношенню до вузькосмугових шумів і більш економно використовують спектр.

Можна перелічити, як мінімум п'ять технологій безпроводної передачі даних поза приміщеннями:

1. Радіорелейні лінії. Це системи, побудовані на основі вузькосмугових технологій і призначені для передачі даних з великими швидкостями (до 155 Мбіт / с) на високій частоті. Вони працюють за синхронною технологією.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для використання цієї технології необхідно забезпечити пряму видимість між ретрансляторами.

2. Radio X.25. Ця технологія також заснована на вузькосмуговій технології передачі даних. Вона працює на відносно низькій частоті (400 - 500 МГц), і тому до неї пред'являються менш жорсткі вимоги до прямої видимості між передавальною і приймальною станціями. Як випливає із самої назви, тут дані передаються по методу комутації пакетів.

3. Пристрої CDPD (Cellular Digital Packet Data). Це бездротові пристрої, які при передачі кодують дані по широкосмуговій технології та працюють в асинхронному режимі. Вони забезпечують невисокі швидкості обміну інформації (до 19200 bps).

4. Широкосмугові радіомодеми. Вони працюють за методом синхронного зв'язку на частотах 2,4 і 5,7 ГГц, забезпечуючи високу швидкість передачі даних (до 2 Мбіт / с).

5. Бездротові мережі Ethernet. Ці засоби зв'язку працюють за широкосмуговою технологією і передають дані в асинхронному режимі. Вони забезпечують досить високі швидкості обміну даними (до 4 Мбіт / с) при економічному використанні смуги пропускання (що властиво засобам асинхронної передачі даних).

Радіокерування для кранів, або дистанційне керування використовується вже досить давно, за кордоном - із середини 50-х років. Радіокерування краном вигідно на виробництві будь-яких розмірів, так як його застосування зменшує витрати праці, збільшує продуктивність, точність і безпеку. Кран, за яким потрібно йти з підвісним пультом, не є дуже зручним, особливо якщо на його шляху прямування є перешкоди. У цьому відношенні більш зручними є системи радіокерування для кранів, які дозволяють вивести оператора крану із небезпечної, запиленої або загазованої зони. Радіокерування для кранів не є складним, легко засвоюється стропальниками і технологічними робітниками. Радіоканал

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

зашифрований і надійно захищений від збоїв і стороннього доступу, для цього пульт має спеціальний мікроконтролер.

Радіокерування кранами здійснюється за допомогою спеціальних пультів, які є малогабаритними і дуже надійними пристроями. Пульт керування для крана буває двох видів - кнопковий пульт керування, і пульт з командоапаратами.

Кнопковий пульт керування краном працює з кранами і кран-балками, на яких встановлено одношвидкісний електропривід, електродвигун з фазним ротором, або двохшвидкісний електродвигун. Пульт керування краном з командоапаратами управляє тими кранами, на яких стоїть електродвигун з фазним ротором. Для вибору оптимального режиму у командоапаратів є кілька фіксованих положень.

Радіокерування складається з двох блоків - приймального і передавального. Передавальний блок формує команди, перетворює їх і передає по радіоканалу. Приймальний блок радіокерування приймає сигнали і перетворює їх в команди для електроприводів механізмів крана. Пульт керування краном з командоапаратами має безконтактні командоапарати в кількості двох штук, кнопковий пульт має від чотирьох до дванадцяти кнопок, які управляють крановими механізмами, і кнопки для аварійних та сигнальних команд. У деяких моделях пультів є тумблер для переключення між головним і допоміжним режимом, кнопка для установки автоматичного режиму набору прискорень. Пульт радіокерування для крана можна носити в руці або на поясі, він розробляється з урахуванням ергономіки і параметрів будь-якого конкретного обладнання.

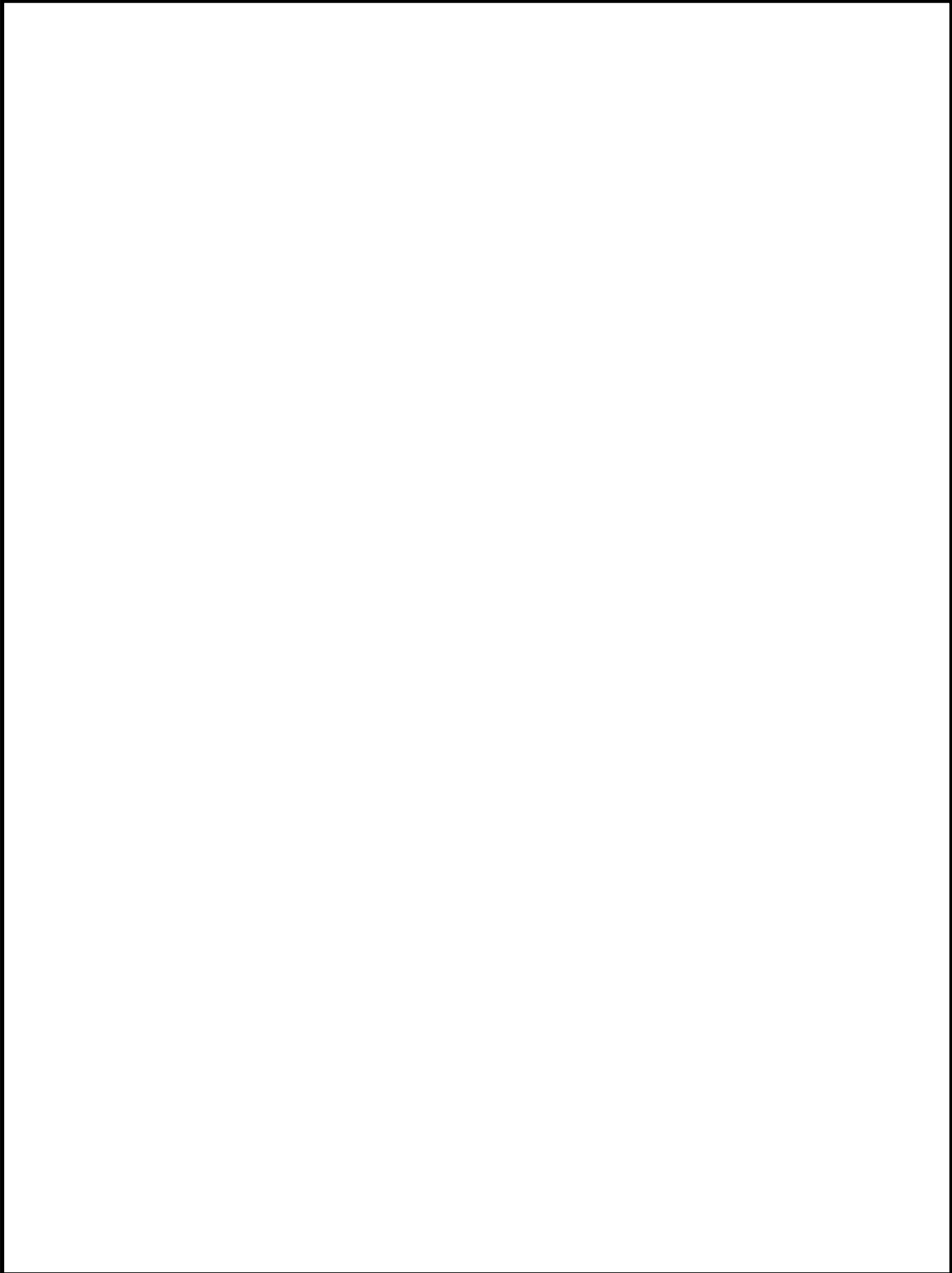
Радіокерування для кранів вимагає мінімум технічного обслуговування. Потрібно стежити за станом акумуляторної батареї, при необхідності заряджати її через спеціальний зарядник. Також потрібно час від часу, наприклад, раз на квартал оглядати апаратуру, перевіряючи стан пускачів і

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

проводів на клемних затискачах. Таке технічне обслуговування є нескладним і не займає багато часу.

За тим же принципом, що і радіокерування для кранів працює радіокерування кран-балками, тельферами, лебідками, брашпилями, електричними телями. Радіокерування – це ефективне використання робітників, зайнятих на виробництві, адже завдяки пульта один оператор може управляти по черзі декількома кранами, використовуючи один передавач. До того ж, зазвичай одна людина перебуває в кабіні кранівника, інша в цей час виконує страпування вантажу. З пультом радіокерування обидві ці роботи може виконувати одна людина. Оператор, що знаходиться унизу, захищений від шкідливих факторів впливу: диму, вологи, пари та інших можливих неприємностей. Тому на виробництвах (на складах, терміналах і в майстернях) використовують пульти керування кранами, частіше використовують системи радіокерування для кранів.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р1	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		



					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата	Розробка принципової схеми і програмна реалізація вдосконаленої мікроконтролерної системи радіокерування	Літ.	Арк.	Аркушіів
Розробник		Курільчик К. П.						
Консультант		Рябенський В. М.					32	36
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Худякова І. М.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ І ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ СИСТЕМИ РАДІОКЕРУВАННЯ

2.1. Способи керування виконавчими двигунами постійного струму

Для регулювання кутової швидкості ротора виконавчих двигунів постійного струму використовують два основних види керування:

- 1) безперервне – зміною в часі амплітуди напруги;
- 2) імпульсне – зміною часу, протягом якого до двигуна підводиться номінальна напруга.

Напругою керування може бути напруга на обмотці якоря (якірне керування) або на обмотці збудження головних полюсів (полюсне керування).

Якірний безперервний спосіб керування.

При аналізі характеристик приймаємо, що відсутні реакція якоря (магнітний потік машини $\Phi = \Phi_s$) і насичення магнітопроводу. Магнітний потік створюється струмом, що протікає по обмотці збудження головних полюсів, або постійними магнітами.

У першому випадку обмотка збудження постійно підключається до незалежного джерела живлення з напругою U , рівною номінальній для двигуна ($U = const, \Phi = const$). Кутова швидкість ротора регулюється зміною напруги керування U_k на обмотці якоря.

Аналіз почнемо з отримання рівнянь механічних і регулювальних характеристик. Ці рівняння прийнято розглядати у відносних одиницях:

- коефіцієнт сигналу $\alpha = U_k / U_{к.ном}$;
- відносна кутова швидкість $\omega^* = \omega / \omega_{0,ид}$;
- відносний момент $M^* = M_{ем} / M_{II}$.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Тут (ω_{i0} – кутова швидкість ідеального холостого ходу при $\alpha = 1$, M_{Π} – пусковий момент при $\alpha = 1$. Для виконавчого двигуна з якірним керуванням при довільному α рівняння механічної характеристики при $R_{\phi} = 0$ набирає вигляду

$$\omega = \alpha U_{y.люм} / k\Phi - R_{я} / (k\Phi)^2 M_{эм} = \omega \alpha_{o.ид} - R_{я} / (k\Phi)^2 M_{эм}, \quad (2.1)$$

Ділимо праву і ліву частини рівняння (2.1) на ω_{i0} :

$$\omega / \omega_{i0} = \omega^* = \alpha - R_{я} M_{эм} / (k\Phi)^2 \omega_{0.i0}. \quad (2.2)$$

Знаходимо вираз пускового моменту при $\alpha = 1$ з (2.1), прирівнюючи ω до нуля:

$$M_n = (k\Phi)^2 \omega_{0.i0} / R_{я} \quad (2.3)$$

Підставляємо (2.3) в (2.2) і після перетворень отримуємо

$$\omega^* = \alpha - M^* \quad (2.4)$$

При постійному коефіцієнті сигналу α вираз (2.4) є рівнянням механічної характеристики $\omega^* = f(M^*)$ виконавчого двигуна з якірним керуванням, а при постійному моменті M_{na}^* – рівнянням регулювальної характеристики $\omega^* = f(\alpha)$. З (2.4) випливає, що механічні і регулювальні характеристики при якірному керуванні лінійні.

Механічні характеристики забезпечують стійкість роботи двигуна при якірному керуванні у всьому діапазоні кутових швидкостей $\omega^* = 0 - 1$. Жорсткість механічних характеристик залишається незмінною при будь-якому коефіцієнті сигналу α . Максимальний обертовий момент двигун розвиває при пуску. Значення пускового моменту в відносних одиницях одного коефіцієнту сигналу: $M_{na}^* = \alpha$, тобто пусковий момент прямо пропорційний напрузі керування. Також прямо пропорційна напрузі керування і швидкість холостого ходу $\omega_{oa}^* = \alpha$.

Якірний спосіб керування забезпечує лінійну залежність кутової швидкості ротора від напруги керування при будь-якому моменті навантаження на валу. Слід зазначити, що регулювальна характеристика

ненавантаженого двигуна починається від нуля тільки в ідеальному випадку ($M^* = 0$), коли механічні втрати в двигуні дорівнюють нулю. У реальних виконавчих двигунів в режимі холостого ходу ротор починає обертатися при певній напрузі зрушення $U_{зр}$, відмінній від нуля.

Значення $\alpha_{зр}$ залежить від моменту тертя в двигуні і визначає зону нечутливості; у виконавчих двигунів постійного струму $\alpha_{зр}$ не перевищує 0,05. Діапазон регулювання швидкості в розімкнутому приводі складає $D = (20-10): 1$.

При якірному керуванні потужність керування, споживана якорем, становить 80-95% від усієї споживаної потужності (менші значення відносяться до двигунів меншої потужності). Потужність керування $P_y = U_y I_y$ зростає пропорційно збільшенню напруги керування і моменту навантаження на валу. Значна потужність керування – недолік якірного способу, оскільки виникає необхідність в потужних джерелах сигналу керування (електронних, магнітних підсилювачах і т.д.).

Якірний спосіб керування виконавчими двигунами постійного струму забезпечує відсутність самоходу. При знятому сигналі керування струм якоря, а, отже, і обертальний момент, рівні нулю і ротор зупиняється.

Полюсний безперервний спосіб керування.

При цьому способі на обмотку якоря постійно подається номінальна напруга від незалежного джерела живлення U . Керування кутовою швидкістю якоря здійснюється за рахунок зміни напруги керування U_k на обмотці головних полюсів.

Магнітний потік машини Φ при відсутності насичення змінюється пропорційно напрузі керування. Для довільного коефіцієнта сигналу потік $\Phi = \alpha \Phi_{ном}$ (де $\Phi_{ном}$ – значення потоку при $\alpha = 1$). Тоді отримаємо рівняння механічної характеристики при полюсному способі керування:

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

$$\omega = U_{я.ном} / \alpha k \Phi_{ном} - R_{я} / (\alpha k \Phi_{ном})^2 M_{ем} = \omega_{0.ид} \cdot \alpha - R_{я} / (\alpha k \Phi_{ном})^2 M_{ем}. \quad (2.5)$$

Розділимо праву і ліву частини рівняння (2.5) на $\omega_{0.ид}$ і перетворимо отриманий вираз з урахуванням (1.3):

$$\omega^* = (\alpha - M^*) / \alpha^2. \quad (2.6)$$

При $\alpha = const$ вираз (2.6) є рівнянням механічної характеристики, а при $M = const$ – рівнянням регулювальної характеристики виконавчого двигуна з полюсним керуванням.

З аналізу рівняння (2.6) випливає, що механічні характеристики при полюсному керуванні лінійні. Стійкість роботи двигуна забезпечена при будь-якій напрузі керування в усьому діапазоні кутових швидкостей. Зі зменшенням коефіцієнта сигналу зменшується і жорсткість механічних характеристик. Значення пускового моменту $M_{на}^*$ є рівним, як і при якірному керуванні, коефіцієнту сигналу α , тобто прямо пропорційне напрузі керування.

Регулювальні характеристики при полюсному керуванні нелінійні.

У режимі ідеального холостого ходу ($M^* = 0$) кутова швидкість змінюється обернено пропорційно сигналу керування і прагне до нескінченності. У реальному двигуні ця швидкість обмежена, так як до валу завжди прикладений момент тертя. Якщо напруга керування дорівнює нулю, то обертальний момент створюється за рахунок взаємодії потоку залишкового магнетизму полюсів і струму в якорі. Отже, в прецизійних двигунах з малим моментом тертя при полюсному керуванні теоретично можливий самохід. Якщо момент опору на валу виявиться більшим, ніж обертальний момент від потоку залишкового магнетизму, то ротор зупиниться.

При малому навантаженні ($M^* < 0.5$) зі збільшенням сигналу керування кутова швидкість спочатку зростає, а потім, досягнувши максимуму, починає зменшуватися, тобто одна кутова швидкість відповідає двом значенням коефіцієнта сигналу. Неоднозначність зникає, і закон зміни швидкості стає монотонно зростаючим тільки при значеннях моменту $M^* > 0.5$.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Така неоднозначна залежність швидкості від сигналу керування пояснюється тим, що при збільшенні потоку порушення головних полюсів Φ_{ϵ} зменшується струм якоря $I_{\text{я}}$. Отже, електромагнітний момент може як збільшуватися, так і зменшуватися в залежності від співвідношення збільшень Φ_{ϵ} і $I_{\text{я}}$. На практиці праві (по відношенню до максимуму швидкості) частини регулювальних характеристик використовуються для розширення діапазону регулювання швидкості при малому моменті навантаження вгору від номінальної. Регулювання вгору від номінальної швидкості обмежено механічною міцністю та умовами комутації двигуна; діапазон регулювання зазвичай не перевищує $D=2:1$. Регулювання швидкості вниз обмежено насиченням магнітопроводу. При цьому регулювання швидкості від нуля до номінальної може здійснюватися якірним способом (так зване двозонне регулювання).

Ліві частини регулювальних характеристик можуть використовуватися для керування двигуном при значних моментах навантаження (зазвичай $M^* > 0,5$).

Проведений аналіз характеристик дозволяє порівняти безперервні способи керування. Перевагами якірного способу є:

- 1) лінійність і однозначність регулювальних характеристик при будь-якому значенні моменту;
- 2) постійна жорсткість механічних характеристик при різних значеннях сигналу керування;
- 3) струм через щітковий контакт проходить тільки при обертанні ротора, що запобігає пригоранню колектора від місцевого нагрівання при відсутності обертання;
- 4) індуктивність обмотки якоря значно менше індуктивності обмотки головних полюсів (менше число витків), що забезпечує більш високу швидкість електромагнітних перехідних процесів.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Перевагою полюсного способу керування є тільки значно менша потужність керування, в головних полюсах виділяється зазвичай не більше 5-20% від повної потужності, споживаної двигуном. Завдяки значним перевагам якірний спосіб керування використовують у більшості схем.

Як зазначалося, рівняння механічних і регулювальних характеристик виконавчих двигунів постійного струму були отримані без урахування реакції якоря. У реальної машини під впливом реакції якоря механічні і регулювальні характеристики можуть бути нелінійними.

Імпульсний спосіб керування.

Найбільш широке застосування з усіх видів імпульсного регулювання для керування двигунами постійного струму знайшло широтно-імпульсне регулювання напруги (ШІР). Імпульсне регулювання можливе як з боку якоря, так і з боку обмотки збудження головних полюсів, проте найбільш поширене імпульсне якірне керування. Сутність імпульсного способу полягає в тому, що регулювання кутової швидкості ротора досягається не за рахунок зміни напруги керування, яка безперервно підводиться до якоря двигуна, а шляхом зміни часу, протягом якого підводиться номінальна напруга.

Інакше кажучи, при імпульсному способі до мікродвигуна підводяться імпульси незмінного по амплітуді напруги керування $U_{к.ном}$, в результаті чого його робота складається з періодів розгону та гальмування, які чергуються.

Якщо ці періоди малі в порівнянні з повним часом розгону і зупинки ротора, то кутова швидкість ротора не встигає досягати сталих значень до кінця кожного періоду і встановиться деяка середня кутова швидкість. Значення при незмінних моменті навантаження і напрузі збудження однозначно визначається відносною тривалістю імпульсів ε :

$$\varepsilon = t_i / T_i, (2.7)$$

де t_i – тривалість імпульсу; T_i – період.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Зі збільшенням відносної тривалості імпульсів кутова швидкість ротора зростає ($\omega'_{cp} > \omega_{cp}$). У період паузи t_n ротор обов'язково повинен гальмуватися. Якщо ця умова не виконуватиметься, то кутова швидкість ротора при будь-якому значенні буде безупинно збільшуватися, поки не досягне значення кутової швидкості холостого ходу, так як під час імпульсу кутова швидкість буде зростати, а під час паузи – залишатися практично незмінною.

Із зростанням частоти керуючих імпульсів амплітуда коливань швидкості зменшується; середнє значення кутової швидкості залишається при цьому незмінним. Якщо двигун працює без або з малою статичним навантаженням, то можливе застосування електричного гальмування (динамічного чи противключення) під час паузи. В якості ключових елементів в сучасних схемах використовуються транзистори або тиристори; контактні електромагнітні реле через їхню низьку швидкодію практично не застосовуються.

Розглянемо механічні і регулювальні характеристики виконавчого двигуна постійного струму при імпульсному керуванні з гальмуванням за рахунок статичного моменту опору $M_{ст}$ на валу. Під механічною характеристикою при імпульсному керуванні розуміють залежність середньої кутової швидкості від середнього значення моменту при незмінній відносній тривалості імпульсів ε . Під регулювальною характеристикою розуміють залежність середньої кутової швидкості ротора від відносної тривалості імпульсів при незмінному середньому моменті на валу двигуна. Залежно від параметрів двигуна схеми керування і моменту навантаження можливі два основні режими роботи двигуна: режим переривчастого струму і режим безперервного струму. Режим переривчастого струму характеризується тим, що струм якоря тече під час імпульсу, а протягом основного часу паузи t_n дорівнює нулю. Цей режим може виникнути при $\tau_{я} \ll T_i$ ($\tau_{я}$ – електромагнітна стала часу обмотки якоря).

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

При малій амплітуді коливань миттєвої кутової швидкості в процесі регулювання можна знехтувати зміною струму якоря і обертового моменту двигуна в інтервалі t_i . У цьому випадку зміна кутової швидкості ротора в періоди розгону $\Delta\omega_p$ і гальмування $\Delta\omega_z$ відбувається по лінійному закону (з постійним прискоренням) і визначається співвідношеннями

$$\Delta\omega_p = (M_{\text{сер.і}} - M_{\text{см}})t_i / J, \quad \Delta\omega_m = -M_{\text{см}}t_n / J \quad (2.8)$$

де $M_{\text{сер.і}}$ – середнє в інтервалі значення обертового моменту двигуна; J – момент інерції ротора і навантаження; $(M_{\text{сер.і}} - M_{\text{см}})/J$ і $-M_{\text{см}}/J$ – відповідно прискорення розгону та гальмування.

У сталому режимі $\Delta\omega_p = \Delta\omega_m$, отже, з (2.8) можна отримати співвідношення моментів:

$$M_{\text{сер.і}}t_i = M_{\text{см}}T_i \quad (2.9)$$

Це співвідношення в системі відносних одиниць має вигляд

$$M_{\text{сер.і}*}(t_i / T_i) = M_{\text{см}*} \quad (2.10)$$

Вираз, що стоїть в лівій частині формули (2.11), є середнім за період часу T_n значення обертового моменту

$$M_{\text{сер}*} = M_{\text{сер.і}*}\varepsilon \quad (2.12)$$

Як і слід було очікувати в сталому режимі $M_{\text{сер}*} = M_{\text{см}*}$. Значення $M_{\text{сер.і}*}$, відповідне до усталеної середньої кутової швидкості $\omega_{\text{сер}*}$, визначаємо з (1.4) при $\alpha = 1$, оскільки амплітуда імпульсів дорівнює номінальній напрузі керування:

$$M_{\text{сер.і}*} = 1 - \omega_{\text{сер}*} \quad (2.13)$$

Підставивши (2.12) в (2.10), отримуємо

$$\omega_{\text{сер}*} = 1 - M_{\text{сер}*} / \varepsilon \quad (2.14)$$

Рівняння (2.13) являє собою при $\varepsilon = \text{const}$ рівняння механічної характеристики, а при $M_{\text{сер}*} = \text{const}$ – рівняння регулювальної характеристики.

При відключенні ключа (пауза t_n) струм якоря починає зменшуватися. Виникає ЕРС самоіндукції якоря, яка прагне підтримати в колі струм колишнього напрямку.

При малій амплітуді коливань миттєвої кутової швидкості струм якоря $I_{я}$ і момент $M_{ем}$ змінюються незначно щодо середніх значень $I_{я.сер}$ і $M_{сер}$. До якоря двигуна прикладена напруга, середнє за період значення якої

$$U_{я.сер} = U_{я.ном} t_i / T_i = \varepsilon U_{я.ном}$$

Якщо підставити в рівняння механічної характеристики двигуна постійного струму значення $U_{я} = U_{я.сер}$ і $M_{ем} = M_{сер}$, то при переході до відносних одиниць отримаємо рівняння, аналогічне (2.4):

$$\omega_{сер*} = \varepsilon - M_{сер*} \quad (2.14)$$

Механічні і регулювальні характеристики матимуть такий самий вигляд, як і при безперервному якірному способі керування із заміною α на ε . Як видно, закон регулювання кутової швидкості в режимі безперервного струму виходить лінійним. У реальних схемах імпульсного керування режим роботи двигуна в одному діапазоні моментів і кутових швидкостей ближче до режиму безперервного струму, в іншому – до режиму переривчастого струму.

З метою забезпечення лінійного закону регулювання діапазон переривчастих струмів прагнуть звужити.

Аналогічно можна досліджувати механічні і регулювальні характеристики будь-якої іншої схеми імпульсного керування. Основні переваги імпульсного способу керування – менше значення середньої споживаної двигуном потужності; можливість керування при нерегульованому джерелі постійного струму, наприклад, від бортової акумуляторної батареї. Проте апаратура керування в загальному випадку більш складна, ніж при безперервному керуванні.

2.2. Розробка структурної схеми двоспрямованої системи радіокерування

Далі наведені структурно-функціональні схеми обробки сигналів у вдосконаленій мікроконтролерній системі радіокерування. Робота системи відбувається у три етапи.

Етап 1. На даному етапі (рис. 2.1) здійснюється передача сигналу уставки до електроприводу. Оператор, що знаходиться за комп'ютером, встановлює бажану швидкість обертання двигуна за допомогою відповідної програми. Цей сигнал подається з комп'ютера через USB-порт на зовнішній пристрій, який складається з мікроконтролера, мікросхеми-перетворювача FT232 та радіомодему. Сигнал фактично надходить по шині USB на мікросхему FT232, де конвертується у відповідний для інтерфейсу UART, по якому він подається на мікроконтролер. МК, у свою чергу, підключений до радіомодему через інтерфейс SPI. Сигнал надходить до TR24A, котрий перетворює його на радіохвилю, яка сприймається другим радіомодемом, який також підключений до зовнішнього МК. МК отримує сигнал та згідно йому починає виробляти керуючі імпульси, котрі подаються на електропривід. Двигун починає розганятися до встановленої швидкості.

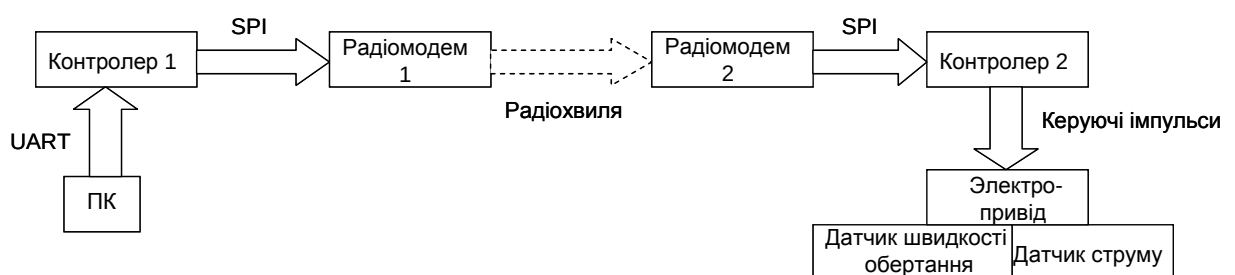


Рис. 2.1 – Відпрацювання сигналу уставки (задаючого сигналу)

Етап 2. Оберти двигуна а також споживаний їм струм фіксуються відповідними датчиками (рис. 2.2). Датчик обертів являє собою цифровий датчик, сигнал з якого у вигляді 1 або 0 надходить на відповідний вивід МК. Датчик струму є аналоговим і сигнал з нього заведений на АЦП мікроконтролера. Обидва ці сигнали через інтерфейс SPI передаються на

радіомодем, котрий передає їх у вигляді радіохвилі на радіомодем, що встановлений на комп'ютері оператора. Звідси вони надходять до іншого МК, котрий їх дешифрує і передає в комп'ютер. Отримані значення обертів та струму виводяться у відповідній програмі. На їх основі можна зробити висновки щодо реальних перехідних процесів і про стан електропривода взагалі.

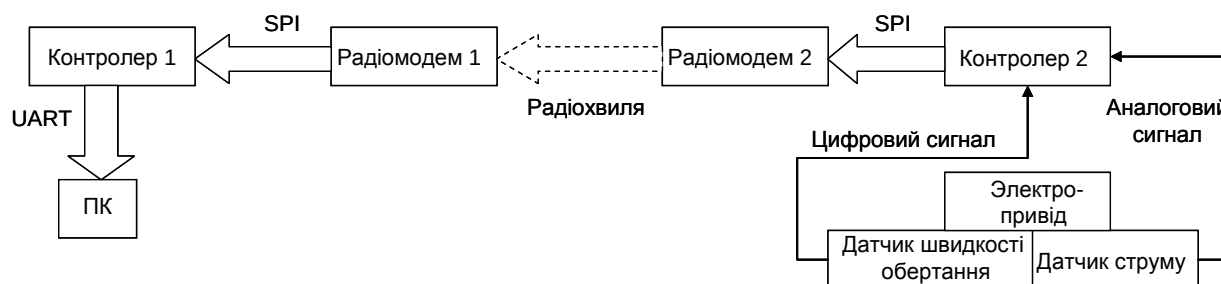


Рис. 2.2 – Ідентифікація перехідного процесу і параметрів регулятора

Етап 3. Після обробки отриманих значень оператор має можливість відкорегувати роботу двигуна (або це можна вивести на автоматизований рівень при використанні відповідного програмного коду, що містить ПД-регулятор). Таким чином, нове значення задаючого сигналу буде подане на електропривід з подальшою його обробкою аналогічно етапам 1 і 2 (рис. 2.3).

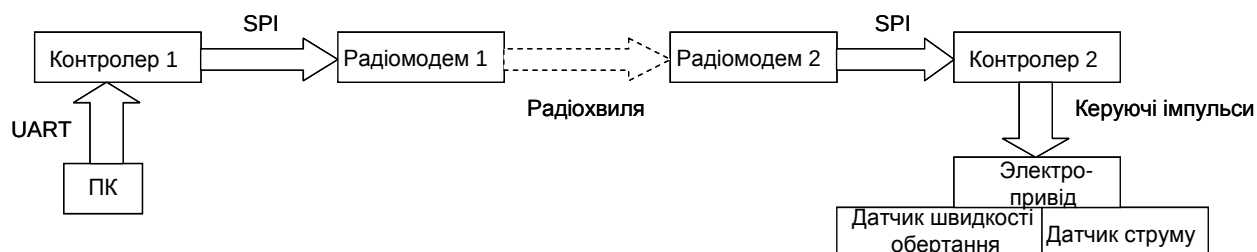


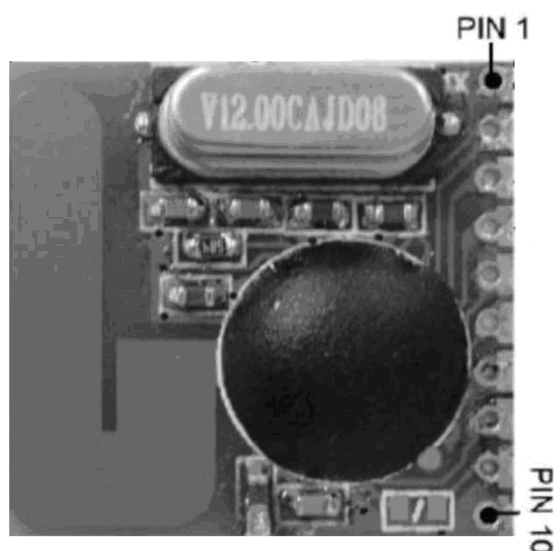
Рис. 2.3 – Переналаштування регулятора

2.3. Розробка принципових схем блоків, що входять до складу системи

Для встановлення двоспрямованого зв'язку між основними блоками системи був використаний радіомодем TR24A, виробництва тайванської компанії Spirit-ON. TR24A є унікальним модулем багатоканального RF-трансивера для бездротової передачі даних в безліцензійному ISM-діапазоні 2.4GHz на відстані до 50m ... 100m зі швидкістю 1Mbps. Завдяки малим габаритам, високому ступеню інтеграції, простому SPI-інтерфейсу, відсутності необхідності ручного налаштування, вбудованій друкованій антені і дуже низькій ціні, такі модулі набагато зручніші в застосуванні, ніж окремі мікросхеми. Основою модуля є кристал інтегрального трансивера EM198810A компанії ELAN Microelectronics.

При додаванні деяких зовнішніх кіл, модуль TR24A може служити і для бездротової передачі аудіоданих. Це значно розширює сферу його застосування за рахунок пристроїв передачі голосу, наприклад Skype, VOIP і т. і.

Модулі TR24A виробляються у вигляді друкованої плати з встановленими компонентами і габаритами 20.0×20.5×5mm.



	PIN	Description
PIN 1	+3.3V	
PIN 2	SPI_MISO	SPI data out
PIN 3	RESET_n	Reset input, active low
PIN 4	SPI_CLK	SPI data in
PIN 5	SPI_MOSI	SPI data in
PIN 6	SPI_SS	SPI slave select input
PIN 7	FIFO_FLAG	FIFO full/empty
PIN 8	PKT_FLAG	Packet TX/RX flag
PIN 9	BRCLK	clk. out. (optional)
PIN 10	GND	

Рис. 2.4 – Зовнішній вигляд та розташування виводів трансивера

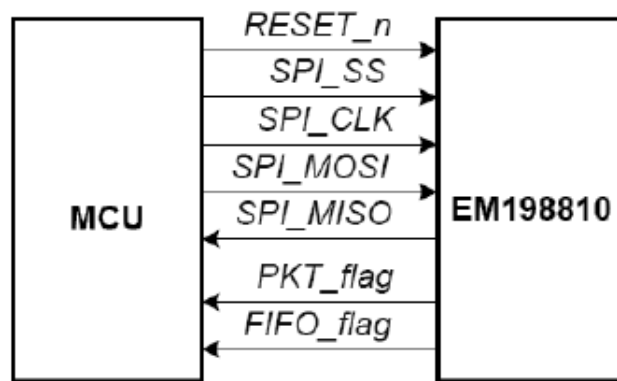


Рис. 2.5 – Визначення In/Out

Даний тип радіомодему підтримує обмін даними на відстані до 100 м

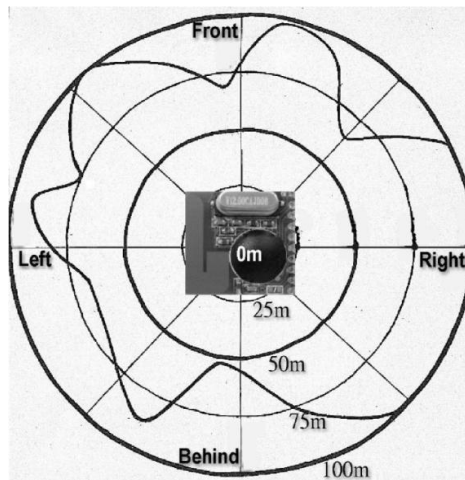


Рис. 2.6 – Діаграма направленості радіомодему для відстані 100 м

Формування пакету даних:



Автоматично встановлюється FIFO write_point = 0, коли RX отримує SYNC

Автоматично встановлюється FIFO read_point = 0, коли RX отримує SYNC або після передачі SYNC при TX

Preamble: 1-8 програмованих байт

SYNC: 32/48/64 програмованих байт у вигляді слінхрослова

Trailer: 4-18 програмованих байт

Payload: TX / RX data, 4 типи даних: необроблена інформація, 8 10 байт, код Manchester, чергування, з опцією FEC

CRC: 16 байт опції CRC

Формат пакету (макс. розмір пакета 255 байт, але розмір буфера 64 байта).

Незважаючи на всі свої переваги даний радіомодем не може функціонувати як незалежний пристрій. Тому для інтеграції його в систему був використаний мікроконтролер, котрий є ключовим елементом системи.

При виборі мікроконтролера приділялася велика увага його надійності, вартості, універсальності, швидкодії й поширеності застосування. Основою пристрою був обраний мікроконтролер ATmega8. Даний вибір зумовлений наявністю необхідної периферії, малого струмовикористання та порівнянно високих обчислювальних можливостей.

Компанія ATMEL Corp. – один зі світових лідерів у виробництві широкого спектра мікросхем енергонезалежної пам'яті, Flash-мікроконтролерів і мікросхем програмувальної логіки, розпочала розробку Risc-мікроконтролерів у середині 90-х років, використовуючи всі свої накопичені технічні рішення.

Концепція нових швидкісних мікроконтролерів була розроблена групою розробників дослідного центру ATMEL у Норвегії, ініціали яких потім сформували марку AVR. Перші мікроконтролери AVR AT90S1200 з'явилися в середині 1997 р. і швидко здобули прихильність споживачів.

AVR-архітектура, на основі якої побудовані мікроконтролери сімейства AT90S, поєднує потужний гарвардський RISC-процесор з роздільним доступом до пам'яті програм і даних, 32 регістри загального призначення, кожний з яких може працювати як регістр-акумулятор, і розвинену систему команд фіксованої довжини 16-біт. Більшість команд виконуються за один машинний такт із одночасним виконанням поточної й вибіркою наступної команди, що забезпечує продуктивність до 1 MIPS на кожний МГц тактової частоти.

32 регістри загального призначення утворюють регістровий файл швидкого доступу, де кожний регістр прямо пов'язаний з АЛП. За один такт

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

із реєстрового файлу вибираються два операнди, виконується операція, і результат повертається в реєстровий файл. АЛП підтримує арифметичні й логічні операції з регістрами, між регістром і константою або безпосередньо з регістром.

Регістровий файл також доступний як частина пам'яті даних. 6 з 32-х регістрів можуть використовуватися як три 16-розрядних регістри-показники для непрямої адресації. Старші мікроконтролери сімейства AVR мають у складі АЛП апаратний помножувач.

Базовий набір команд AVR містить 120 інструкцій. Інструкції бітових операцій включають інструкції установки, очищення й тестування бітів.

Усі мікроконтролери AVR мають вбудовану Flash ROM з можливістю внутрішньосхемного програмування через послідовний 4-провідний інтерфейс.

Периферія МК AVR включає: таймери-лічильники, широтно-імпульсні модулятори, підтримку зовнішніх переривань, аналогові компаратори, 10-розрядний 8-канальний АЦП, паралельні порти (від 3 до 48 ліній вводу й виводу), інтерфейси UART і SPI, сторожовий таймер і пристрій скидання по включенню живлення. Усі ці якості перетворюють AVR-мікроконтролери в потужний інструмент для побудови сучасних, високопродуктивних і економічних контролерів різного призначення.

AVR-мікроконтролери підтримують сплячий режим і режим мікроспоживання. У сплячому режимі зупиняється центральне процесорне ядро, у той час як регістри, таймери-лічильники, сторожовий таймер і система переривань продовжують функціонувати. У режимі мікроспоживання зберігається вміст усіх регістрів, зупиняється тактовий генератор, забороняються всі функції мікроконтролера, поки не з'явиться сигнал зовнішнього переривання або апаратного скидання. Залежно від моделі, AVR-мікроконтролери працюють у діапазоні напруг 2,7-6 В або 4-6 В (виняток складає Attiny12V з напругою живлення 1,2 В).

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ряд компаній пропонують свої версії Сі-компіляторів, асемблерів, лінковщиків і завантажників для роботи з мікроконтролерами сімейства AVR. Як і продукція MICROCHIP, мікроконтролери ATMEЛ широко застосовуються в світі і як наслідок, програмуються багатьма іноземними та вітчизняними програматорами.

Для програмування мікроконтролерів в данній системі був використаний програматор PonyProg 2000, виробництва компанії LANCOS.

З усіх периферійних пристроїв мікроконтролера використані наступні:

- АЦП (ADC) – для зняття сигналів з датчиків і їх оцифрування для подальшої обробки, нормування і передачі в комп'ютер;
- УСАПП (UART) – універсальний прийомопередавач в асинхронному режимі для передачі даних від мікроконтролера в комп'ютер по інтерфейсу RS232;
- Таймер-лічильник.
- Порти вводу-виводу.

Для зручності використання блок, що зв'язаний безпосередньо з комп'ютером оператора, було вирішено виконати у вигляді USB-пристрою.

Проте обраний мікроконтролер не має периферії для роботи з USB, а програмна реалізація цього протоколу досить складна і забирає чимало процесорного часу. З іншого боку, він має модуль універсального асинхронного прийомопередавача, який може працювати в режимі, сумісному з протоколом RS-232, тобто такий мікроконтролер за умови узгодження рівнів сигналів можна підключати безпосередньо до COM-порту комп'ютера. В результаті було вирішено зв'язати ці два інтерфейси за допомогою перетворювача USB <-> RS-232. Тобто був отриманий пристрій, що підключається до ПК по USB, а на виході має сигнали, зрозумілі будь-якому МК з модулем USART (або навіть з програмно реалізованим USART'ом). Це є дуже зручним, особливо з урахуванням того, що ОС

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

сприймає такий перехідник просто як ще один (віртуальний) COM-порт і дозволяє працювати з ним за допомогою звичайних термінальних засобів.

Мабуть, найбільш поширеними на сьогоднішній день є перетворювачі FT232R від FTDI Ltd (USB 1.1), TUSB3410 від Texas Instruments (USB 2.0), а також PL-2303 від Prolific.

З цих трьох мікросхем для встановлення в системи радіокерування була обрана FT232R.

FT232R випускається в корпусі 28-LD SSOP з кроком виводів 0.8мм.

Мікросхема FTDI FT232R (FT232RL і FT232RQ) є високоінтегрованим перехідником USB – COM і дозволяє використовуючи мінімум зовнішніх компонентів (роз'єм і пасивні компоненти) організувати послідовний обмін даними між зовнішнім пристроєм на мікроконтролері і комп'ютером через шину USB. У порівнянні з попередніми версіями мікросхеми у FT232R на кристал інтегровані тактовий генератор, енергонезалежна пам'ять EEPROM, частина зовнішніх пасивних компонентів.

Мікросхема має вбудований LDO-стабілізатор з вихідною напругою 3.3В, який служить для живлення внутрішньої логіки, але може використовуватися і для живлення будь-яких зовнішніх пристроїв (вивід 3V3OUT). Рівень логічної одиниці на виходах модуля UART мікросхеми задається напругою на вході VCCIO і може змінюватися в межах від 3 до 5В (це потрібно для забезпечення сумісності з 3-х вольтової логіки).

Вхід TEST повинен бути з'єднаний з землею, в іншому випадку робота мікросхеми нестабільна.

На виводах UART, як уже зазначалося, присутні всі сигнали, передбачені стандартом RS-232. При підключенні до них відповідних мікросхем-перетворювачів рівня можлива конвертація вихідних даних, що надходять по USB, в потік байт протоколів RS-232, RS-422 або RS-485.

Схема підключення мікросхеми приведена на рис. 2.7.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

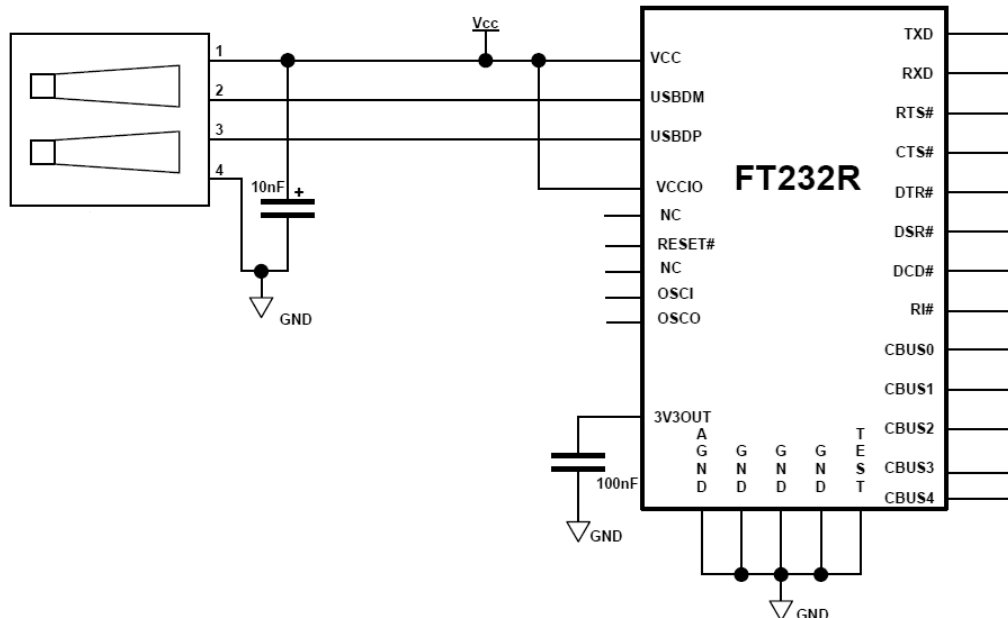


Рис. 2.7 – Принципова схема підключення FT232R до USB-порту

Навісних елементів при такому підключенні дуже небагато. Для зв'язку з МК досить використовувати сигнали RX і TX, в ряді випадків може знадобитися організувати гальванічну розв'язку цієї схеми з рештою пристроїв.

Для повноцінної роботи цього пристрою під керуванням ОС сімейства Windows знадобляться драйвери, доступні для скачування на сайті виробника.

Мікросхема може працювати в режимі послідовного обміну і в режимі bit-bang (режим прямого керування битами).

Мікросхеми поставляються із запрограмованою EEPROM, тому немає необхідності програмувати EEPROM для початку роботи.

Печатні плати в зборі з елементами та програмним забезпеченням є кінцевими продуктами проектування системи радіокерування. Плата виконує роль несучої конструкції пристрою, на якій розташовуються всі елементи. Використання спеціальних програм розведення плат дозволяє позбавитися помилок, полегшує процес розташування елементів на платі та з'єднання між ними. Крім того, з'являється можливість виготовлення плати на автоматичному технологічному обладнанні.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		50

Після того, як визначені розміри плати і монтаж елементів, потрібно виготовити плату. Існує багато способів виготовлення печатних плат. Серед них є наступні: гальванохімічний метод, метод хімічного травлення фольгованого діелектрика, метод переносу схеми із запресуванням в ізоляційну основу та ін. Для виготовлення зразка системи був використаний метод хімічного травлення фольгованого діелектрика. Суть метода полягає в нанесенні малюнка схеми кислотостійкою фарбою з послідовним витравленням фольги з пробільних ділянок. Цей метод забезпечує отримання чітких ліній провідників печатної плати, потребує менших трудових затрат в порівнянні з іншими методами, має високу роздільну здатність (до 10 ліній на 1 мм), легко піддається автоматизації. До недоліків цього метода можна віднести хімічну дію розчину на ізоляційну основу, що погіршує діелектричні властивості матеріалу.

В якості матеріала основи печатної плати був використаний склотекстоліт. Технологічний процес виготовлення печатної плати розділений на наступні основні операції: підготовка поверхні (знежирення), нанесення малюнку кислотостійкою речовиною (фарба), хімічне травлення, видалення кислотостійкого шару, механічна обробка плати та нанесення захисного шару (лудіння та покриття лаком).

В якості реактиву для травлення використовується водний розчин технічного хлорного заліза. Підвищення температури розчину прискорює процес травлення. Однак травлення хлорним залізом має ряд недоліків. Фенольні смоли, які містять печатні плати, забруднюються залізом, що призводить до погіршення ізоляційних властивостей гетинаксових основ. Ускладнена також регенерація міді, оскільки в склад використаного розчину входять два метали: мідь та залізо. В якості травлячого розчину може бути використаний водний розчин хлорної міді, який містить соляну кислоту. При цьому збільшується час травлення плати. Після механічної обробки плата промивається і висушується.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Для розробки друкованої плати пристрою використовувався програмний продукт Sprint Layout 5.0. Спочатку були розроблені посадочні місця під кожний елемент, та сформована бібліотека. Потім були рознесені та розташовані елементи на платі та проведена розводка електричних зв'язків у ручному режимі.

Далі наведені безпосередньо принципові схеми і друковані плати основних блоків системи.

В основу системи керування двигуном була покладена типова схема СФКТ для однофазної напруги. Дана схема може забезпечувати регулювання швидкості обертання двигуна, його реверсування, а також динамічне гальмування.

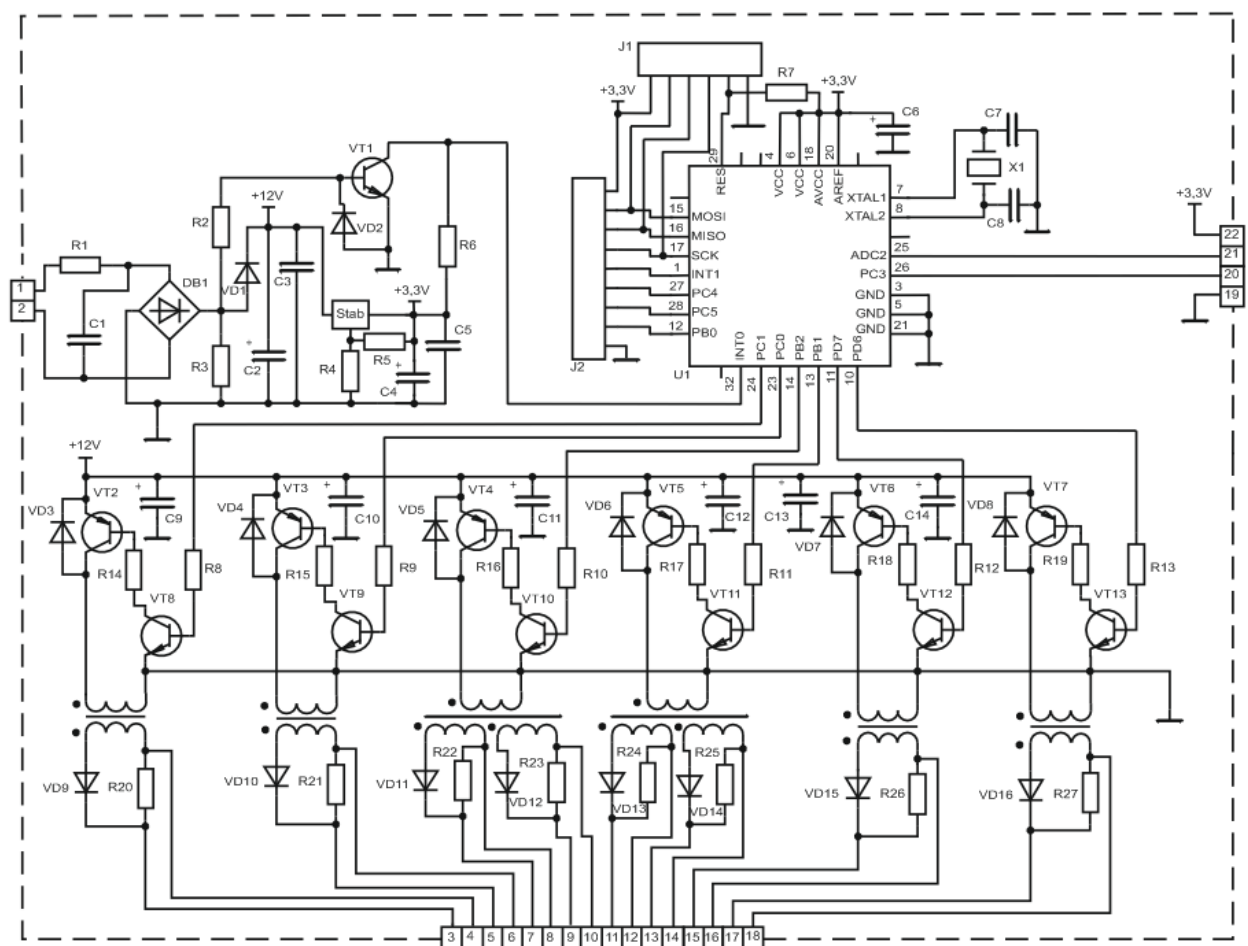


Рис. 2.8 – Схема принципова системи імпульсно-фазового керування тиристорами

Алгоритм роботи схеми: Живляча синусоїдальна напруга надходить на клеми 1, 2. Схема, зібрана на елементах R2, VT1, VD1, VD2, R6, C2, подає на вхід переривання МК одиничний імпульс кожний раз коли крива напруги переходить через 0. Переривання обробляється і, згідно з командою керування, отриманою з радіомодема, МК видає керуючі сигнали на входи трансформаторів, з виходів яких потім знімається керуючий сигнал для відпирання тиристорів, які підключені до клем 3-18. Клеми 19-22 слугують для підключення зовнішніх датчиків (струму та частоти обертання). В роз'єм J2 встановлюється радіомодем, а через роз'єм J1 відбувається програмування МК.

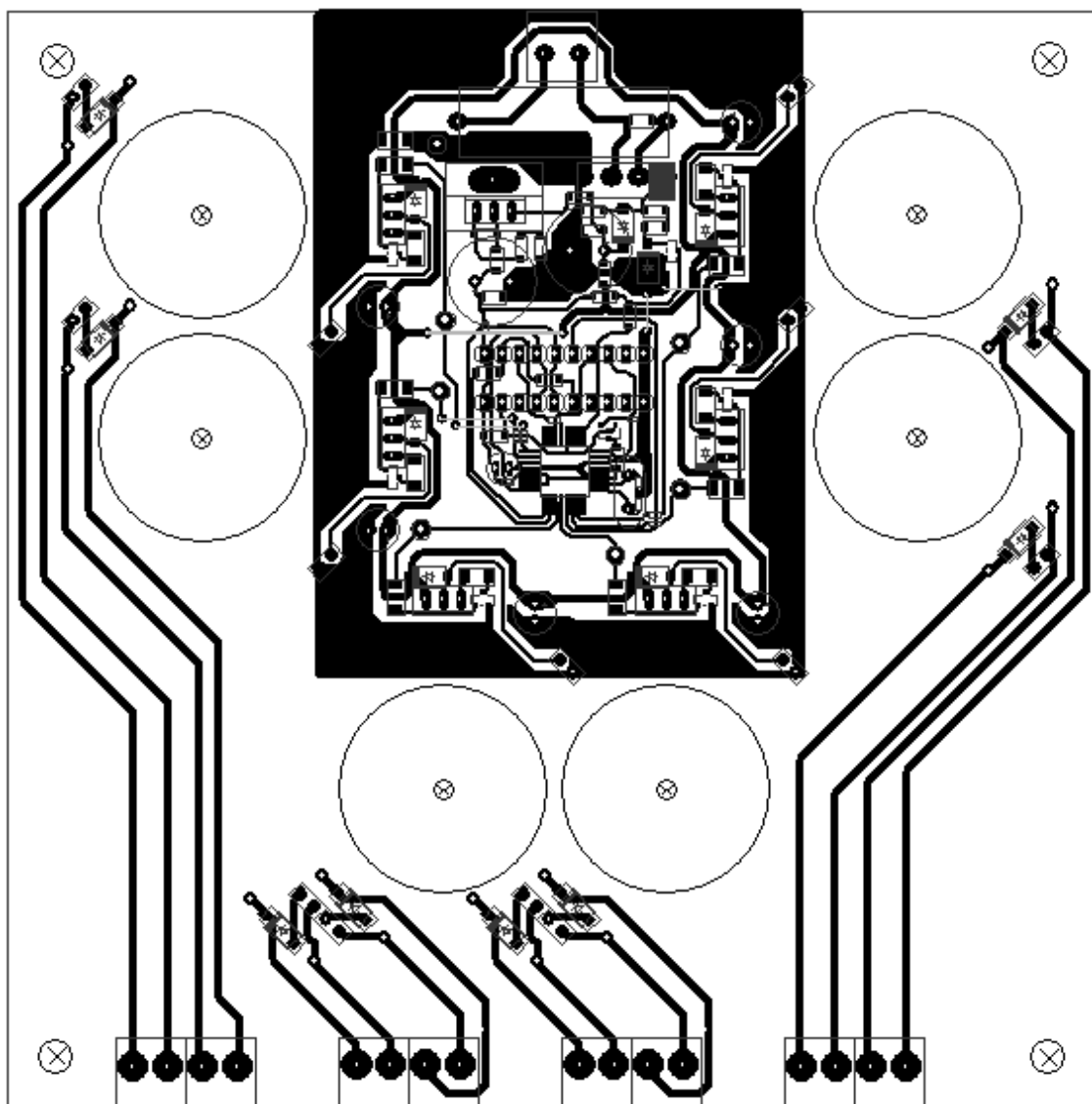


Рис. 2.9 – Вид друкованої плати СІФКТ в Sprint-Layout 5.0

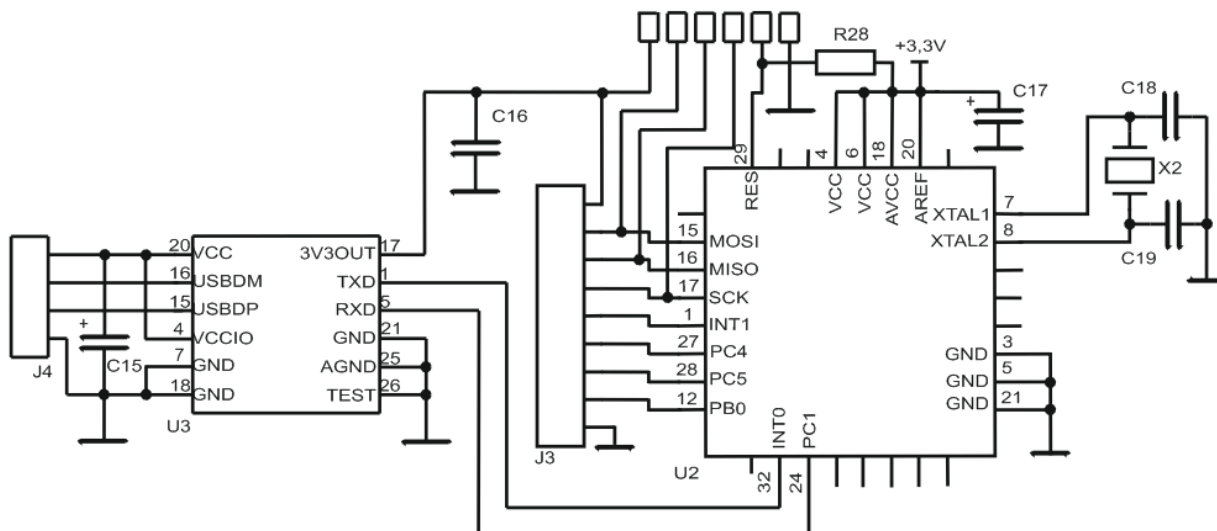


Рис. 2.10 – Схема принципова USB-модуля

Алгоритм роботи схеми: Роз'єм J4 є роз'ємом порту USB. Сигнал з комп'ютера надходить через нього до мікросхеми FT232R (U3), де перетворюється у сигнал інтерфейсу RS-232 і подається на МК. Згідно з отриманим сигналом керування МК формує команду, яка подається на радіомодем (встановлений в роз'єм J3). Далі радіомодем випромінює закодовану радіохвилю, яка вловлюється другим радіомодемом та дешифрується у керуючий сигнал для другого МК.

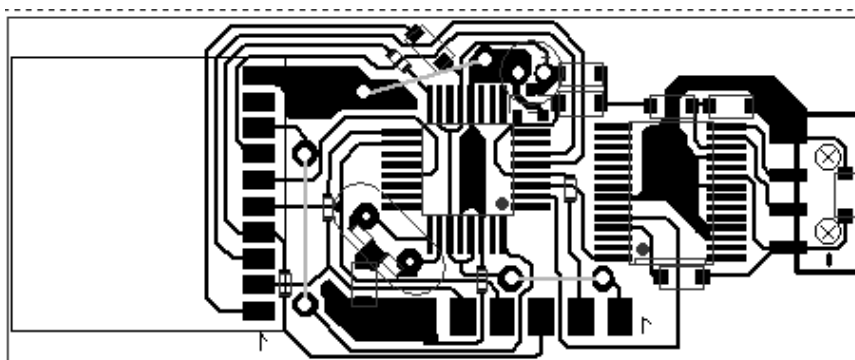


Рис. 2.11 – Вид друкованої плати USB-модуля в Sprint-Layout 5.0

З'єднання тиристорів відбувалося за типовою схемою однофазного випрямляча.

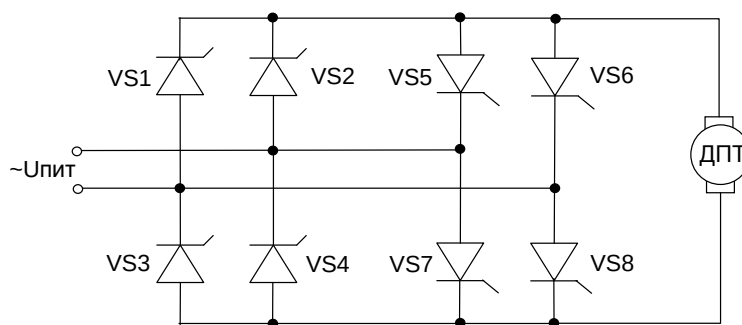


Рис. 2.12 – Схема принципова тиристорного моста

Алгоритм роботи схеми: Мікроконтролер формує постійну відпираючу напругу на двох послідовно з'єднаних тиристорах і підтримує їх у відкритому стані протягом всього періоду роботи моста. У той же час на два інші тиристори МК подає керуючі імпульси з урахуванням створення необхідного

за рівнем напруги живлення двигуна. Другий міст тиристорів призначений для динамічного гальмування яке здійснюється шляхом відкриття двох послідовно включених в ньому тиристорів з подальшим відкриттям двох, що залишилися.

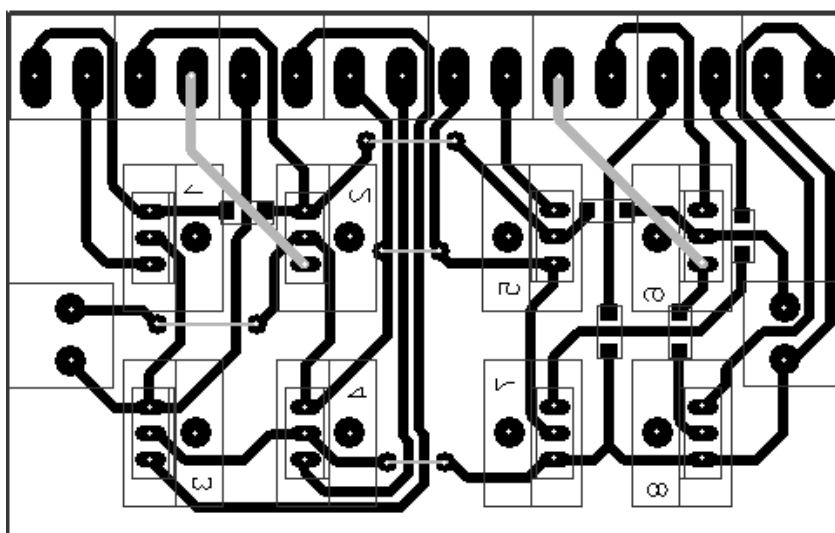


Рис. 2.13 – Вид друкованої плати тиристорного моста в Sprint-Layout 5.0

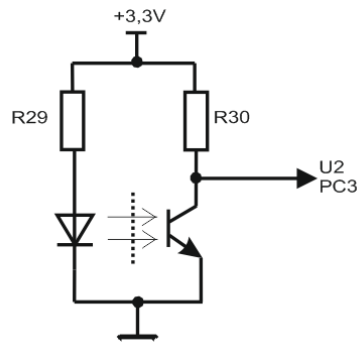


Рис. 2.14 – Схема принципова датчика частоти обертання

Алгоритм роботи схеми: На валу двигуна закріплений диск з прорізами. Цей диск знаходиться між світлодіодом та фототранзистором. При обертанні валу (отже і диску) на базі фототранзистора виникає змінний сигнал відпирання/запирання транзистора. Його колектор під'єднаний до цифрового входу МК. Якщо транзистор закритий сигнал на вході МК дорівнює 1, якщо відкритий – 0. Знаючи кількість прорізів на диску та при задіяному таймері-лічильнику можна рахувати кількість обертів двигуна.

2.4. Характеристики програмних інтерфейсів зв'язку, використаних в системі

2.4.1. Інтерфейс UART

Протокол UART (Universal asynchronous receiver / transmitter) є одним з найпоширеніших протоколів передачі даних між пристроями. Стандартний розмір посилки при асинхронній передачі даних складає 10 біт. Якщо по лінії нічого не передається, то вона перебуває в стані логічної одиниці. Передача починається зі стартового біта, що дорівнює 0. Потім слідує 8 біт даних. Завершується передача стоп-бітом, що дорівнює 1.

На рис. 2.15 представлена передача байту 10000010



Рис. 2.15 – Передача байту 10000010 через UART

Для налаштування і роботи с UART в mega8 виділено 4 регістри:

- 1) регістр керування UCSRB: дозволяє / забороняє переривання від UART, управляє функціями прийомопередавача;
- 2) регістр стану UCSRA;
- 3) регістр даних UDR – являє собою 2 регістра, розташованих за однією адресою (1 регістр для передачі, 2 – для прийому даних);
- 4) регістр UBRR відповідає за швидкість передачі даних. Задаються значення молодшого (UBBRL) і старшого (UBBRH) байтів регістра;
- 5) біти регістра UCSRC задають формат кадру.

Швидкість передачі даних по UART розраховується за формулою

$$f = \Phi / (16 (UBRR + 1)),$$

де Φ – тактова частота мікроконтролера; UBRR – значення регістра UBRR (складається зі значень молодшого та старшого байтів UBBRH + UBBRL)

Значення швидкостей передачі на передавальному і приймаючому пристроях повинні збігатися. Також збігатися повинні формати кадрів, що передаються.

Формат кадру задається в реєстрі UCSRC.

2.4.2. Інтерфейс SPI

Схеми послідовного периферійного інтерфейсу забезпечують синхронний послідовний зв'язок, який забезпечує передачу даних в зовнішні пристрої в режимі ведучого і відомого. У тому випадку, якщо в системі присутній зовнішній процесор, за допомогою цього інтерфейсу можна забезпечити міжпроцесорний зв'язок.

Апаратна частина послідовного периферійного інтерфейсу по суті являє собою зсувний реєстр, який послідовно висуває біти даних в інші аналогічні інтерфейси інших пристроїв. Під час процесу передачі один з пристроїв працює як ведучий, забезпечуючи контроль над потоком даних, в той час як інші, відомі пристрої, приймають чи передають дані під управлінням ведучого. Функції ведучого пристрою інтерфейсу можуть передаватися від одного процесора іншому, і ведучий пристрій може вести передачу одних і тих же даних декільком відомим пристроям одночасно. Тим не менш, в поточний момент часу тільки один відомий пристрій може здійснювати передачу даних ведучому.

Відомий пристрій вибирається, коли ведучий видає сигнал NSS. Якщо присутні одночасно кілька відомих пристроїв, ведучий виробляє роздільні сигнали вибору для кожного з них (NPSC).

Система SPI складається з двох ліній даних і двох ліній управління:

- з ведучого до відомого (Master Out Slave In). Ця лінія забезпечує побітну видачу даних зі зсувом з ведучого і передачу на прийом відомого;
- з відомого до ведучого (Master In Slave Out). Ця лінія забезпечує передачу даних з виходу відомого на вхід ведучого. Під час кожної окремо взятої передачі лінію може займати тільки один відомий пристрій;

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– тактовий сигнал послідовної передачі (Serial Clock – SPCK). Стан цієї лінії управляється ведучим пристроєм і регулює (синхронізує) передачу біт даних. Ведучий пристрій управляє швидкістю передачі даних і може задавати різні швидкості передачі, кожен період сигналу SPCK відповідає передачі одного біта даних;

– вибір ведучого (NSS). Ця лінія управління дозволяє апаратно включати і вимикати відомі пристрої.

Структурні схеми інтерфейсу та його типового застосування наведені на рис. 2.16 та 2.17.

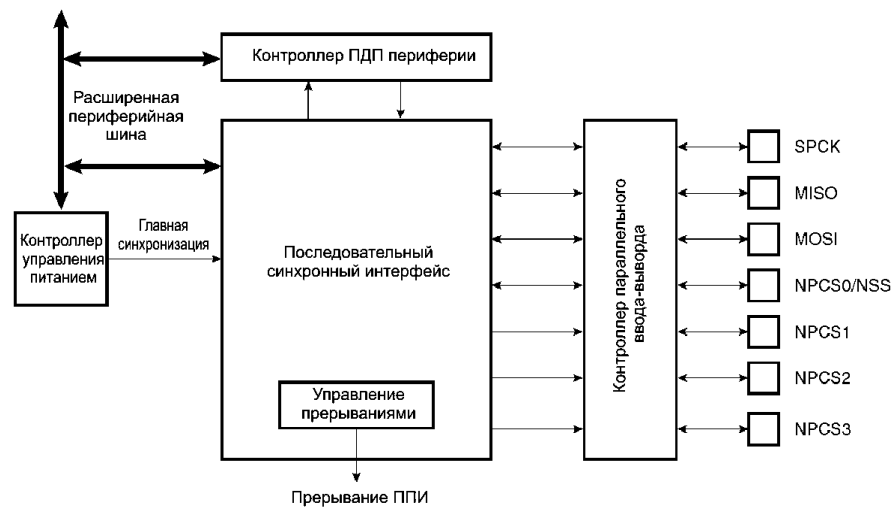


Рис. 2.16 – Структурна схема SPI

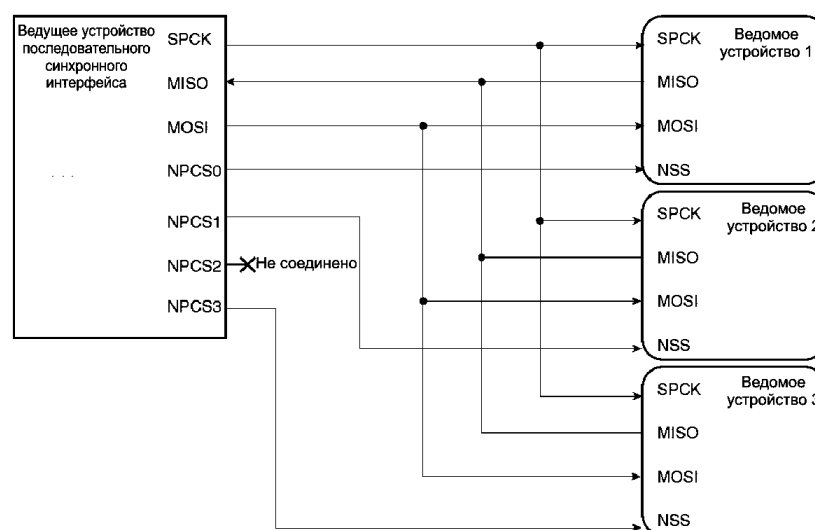


Рис. 2.17 – Структурна схема типового застосування: один ведучий і кілька відомих пристроїв

Опис сигналів SPI наведений в табл. 2.1.

Табл. 2.1 – Опис сигналів інтерфейсу SPI

Назва виводу	Опис виводу	Тип	
		Ведучий	Відомий
MISO	Вихід відомого – вхід ведучого	Вхід	Вихід
MOSI	Вихід ведучого – вхід відомого	Вихід	Вхід
SPCK	Синхронізація	Вихід	Вхід
NPCS1-NPCS3	Вибір корпусу периферійного пристрою	Вихід	Не використовується
NPCS0/NSS	Вибір корпусу периферійного / відомого пристрою	Вихід	Вхід

Функціональний опис

Інтерфейс може працювати в режимі ведучого або в режимі відомого.

Робота в режимі ведучого задається записом біта MSTR у регістрі режиму (Mode Register). Виводи від NPCS0 до NPCS3 конфігуруються для роботи на вихід, вивід SPCK використовується для видачі синхронізуючого сигналу, лінія MISO заводиться на приймач, і лінія MOSI управляється для видачі сигналів на ведений пристрій.

Передача даних програмується однаково для всіх режимів. Різниця в режимах полягає в тому, що генератор тактової частоти передачі активується тільки з пристрою, конфігурованому в режимі ведучого.

При передачі даних можуть бути використані 4 комбінації полярностей і фаз рівнів переданого сигналу. Полярність тактового сигналу задається установкою біта CPOL в регістрі вибору корпусу мікросхеми (Chip Select Register). Фаза тактового сигналу задається бітом NCPHA. Ці два параметри визначають, на якому з перепадів (зрізі або фронті) тактового сигналу будуть видаватися або прийматися дані. Кожен із зазначених параметрів має два можливих стани, що в сумі дає чотири можливі комбінації, несумісних одна з одною. Таким чином, для того щоб пара ведучий – відомий могла провести обмін даними, необхідно забезпечити однакові значення параметрів у кожному з них. У тому випадку, якщо присутні декілька відомих, що мають різні і незмінні конфігурації параметрів сигналу передачі, ведучий повинен

буде кожен раз самостійно переконфігурувати настройку параметрів на сумісні з настройками кожного з відомих, що беруть участь в обміні.

У табл. 2.2 відображені відповідні кожному з чотирьох режимів значення параметрів.

Табл. 2.2 – Режими протоколу шини паралельного послідовного інтерфейсу

Режим ППІІ	CPOL	NCPHA
0	0	1
1	0	0
2	1	1
3	1	0

2.4.3. Інтерфейс USB

USB (Universal Serial Bus – універсальна послідовна шина) є промисловим стандартом розширення архітектури ПК, орієнтованим на інтеграцію з телефонією і пристроями побутової електроніки. Версія 1.0 була опублікована в січні 1996 року. Архітектура USB визначається такими критеріями:

- легко реалізоване розширення периферії ПК;
- дешеве рішення, що підтримує швидкість передачі до 12 Мбіт / с;
- повна підтримка в реальному часі передачі аудіо і (стиснутих) відеоданих;
- гнучкість протоколу змішаної передачі ізохронних даних і асинхронних повідомлень;
- інтеграція пристроями, що випускаються;
- доступність в ПК всіх конфігурацій і розмірів;
- забезпечення стандартного інтерфейсу, здатного швидко завоювати ринок;
- створення нових класів пристроїв, що розширюють ПК.

З точки зору кінцевого користувача, привабливі такі риси USB:

- простота кабельної системи і підключень;
- приховування подробиць електричного підключення від кінцевого користувача;
- пристрій самоідентифікується;
- автоматичний зв'язок пристроїв з драйверами;
- можливість динамічного підключення і конфігурування пристрою.

З середини 1996 року випускаються ПК з вбудованим контролером USB, реалізованим чіпсетом. З'явилися модеми, клавіатури, сканери, динаміки та інші пристрої введення / виведення з підтримкою USB, а також моніторів з USB-адаптерами – вони грають роль концентраторів для підключення інших пристроїв.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

2.5. Розробка алгоритмів роботи програм, використаних в системі

2.5.1. Алгоритм програми для USB-модуля

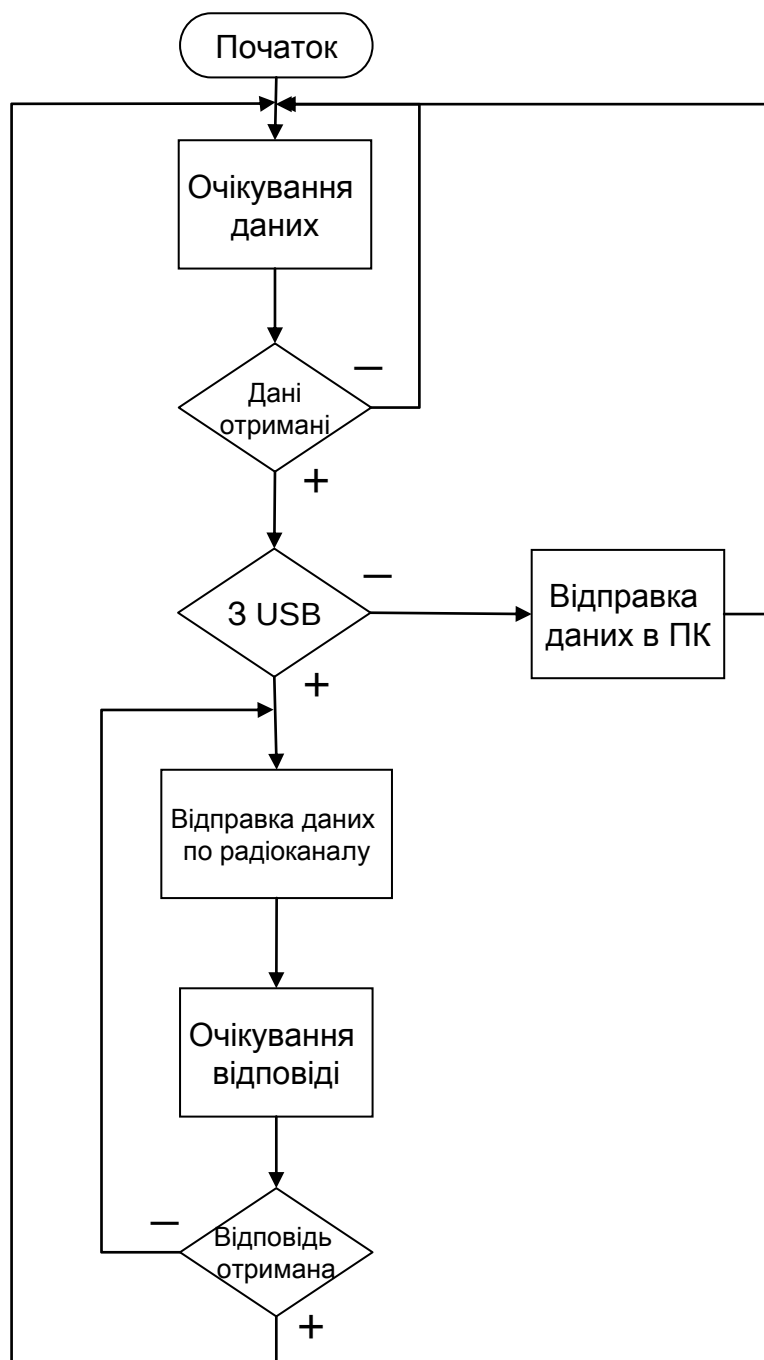


Рис. 2.18 – Текст програми для USB-модуля
представлений на мові Сі в додатку А

2.5.2. Алгоритм роботи програми для СІФК

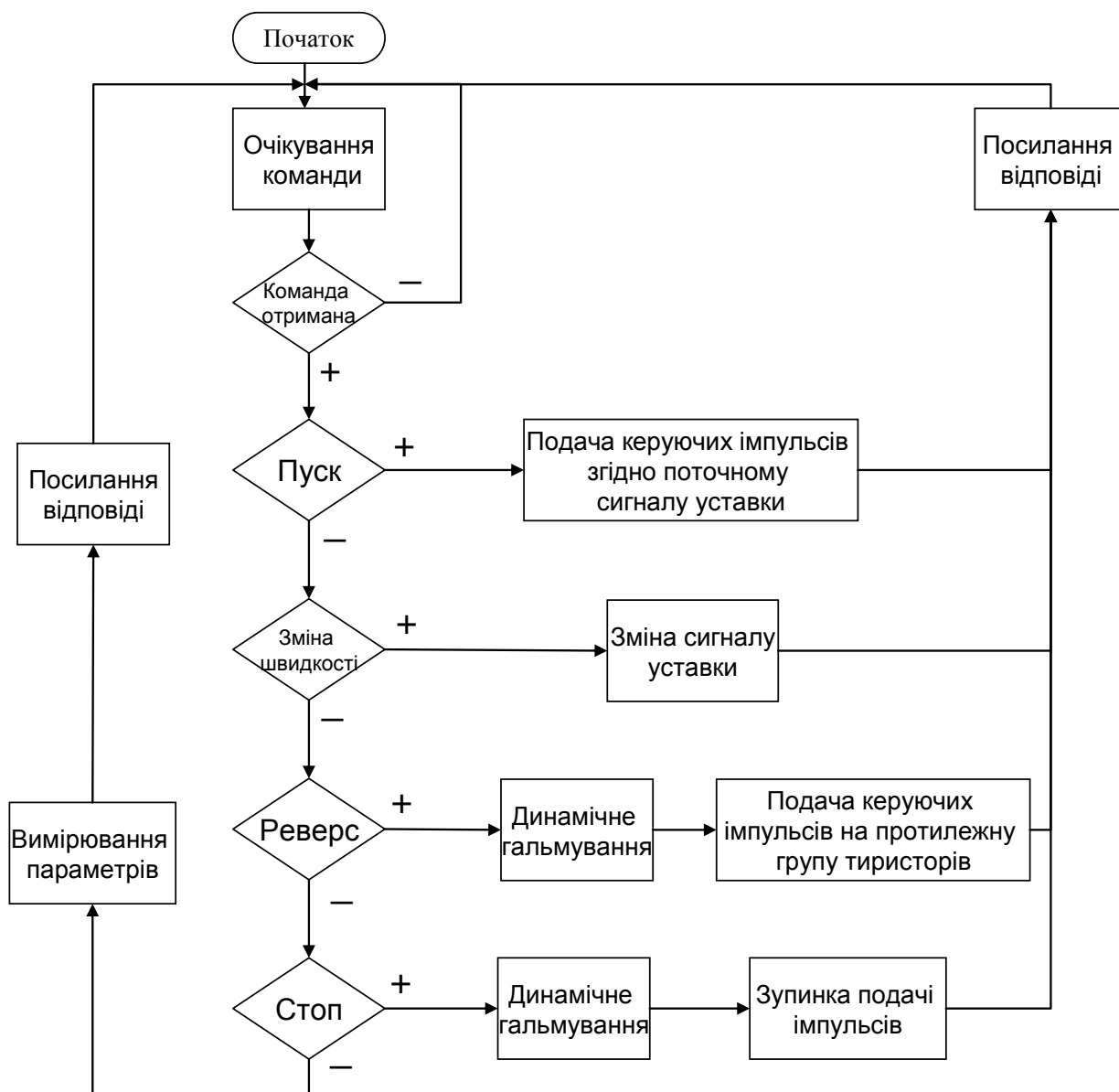


Рис. 2.19 – Текст програми для системи імпульсно-фазового керування тиристорами представлений на мові Сі в додатку Б

2.6. Розробка інтерфейсу користувача

Для повноцінної роботи системи був необхідний інтерфейс, за допомогою якого оператор зміг би керувати електроприводом і водночас стежити за його показниками. Для розробки такого інтерфейсу був використаний програмний пакет LabView 8.6 виробництва National Instruments. Зовнішній вигляд інтерфейсу представлений на рис. 2.20.

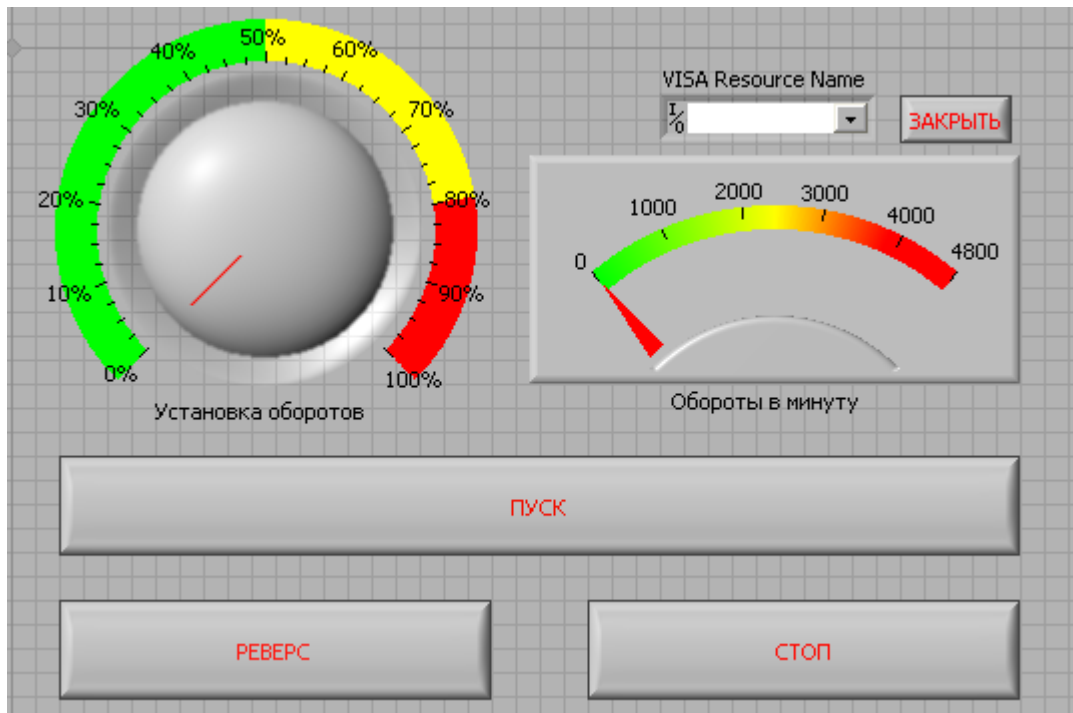


Рис. 2.20 – Зовнішній вигляд інтерфейсу

В своєму складі інтерфейс має регулятор частоти обертання двигуна та її індикатор, кнопки «Пуск», «Стоп» та «Реверс». Також існує можливість вибору COM-порту, через який встановлюється зв'язок. Порядок роботи з інтерфейсом полягає в наступному: обравши відповідний порт зв'язку, оператор встановлює необхідну швидкість обертання двигуна регулятором «Установка оборотов» та натискає кнопку «Пуск». Після чого програма передає команду до USB-пристрою, а з нього – до електроприводу, що починає обертати двигун відповідно до встановленої швидкості. Сигнали з датчиків зворотних зв'язків передаються в зворотному напрямку та відображаються на відповідних індикаторах. В даному випадку був

реалізований зворотний зв'язок по швидкості обертання, значення якої виводиться на індикаторі «Обороты в минуту». При натисканні кнопки «Реверс» двигун зупиниться а потім почне обертатися у протилежному напрямку.

Далі наведені алгоритми роботи інтерфейсу в LabView 8.6 (рис. 2.21-23).

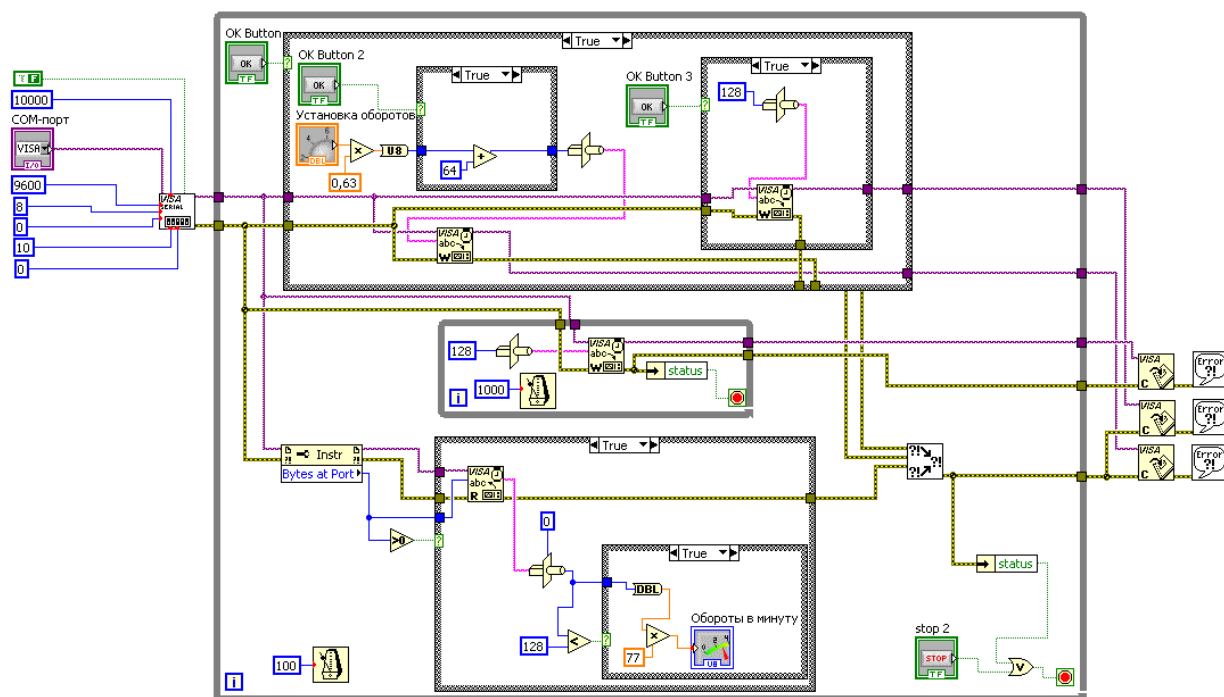


Рис. 2.21 – Алгоритм роботи при натисканні кнопок «Пуск», «Реверс», «Стоп»

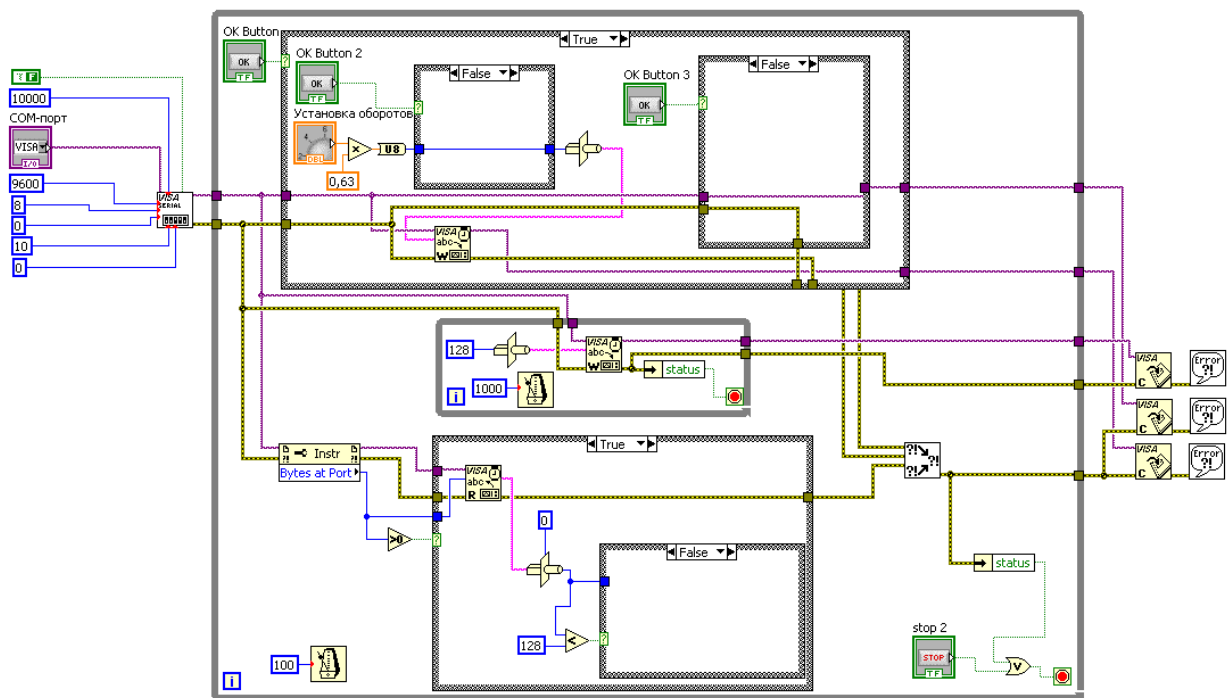


Рис. 2.22 – Алгоритм роботи при не натиснутих кнопках «Стоп» та «Реверс»

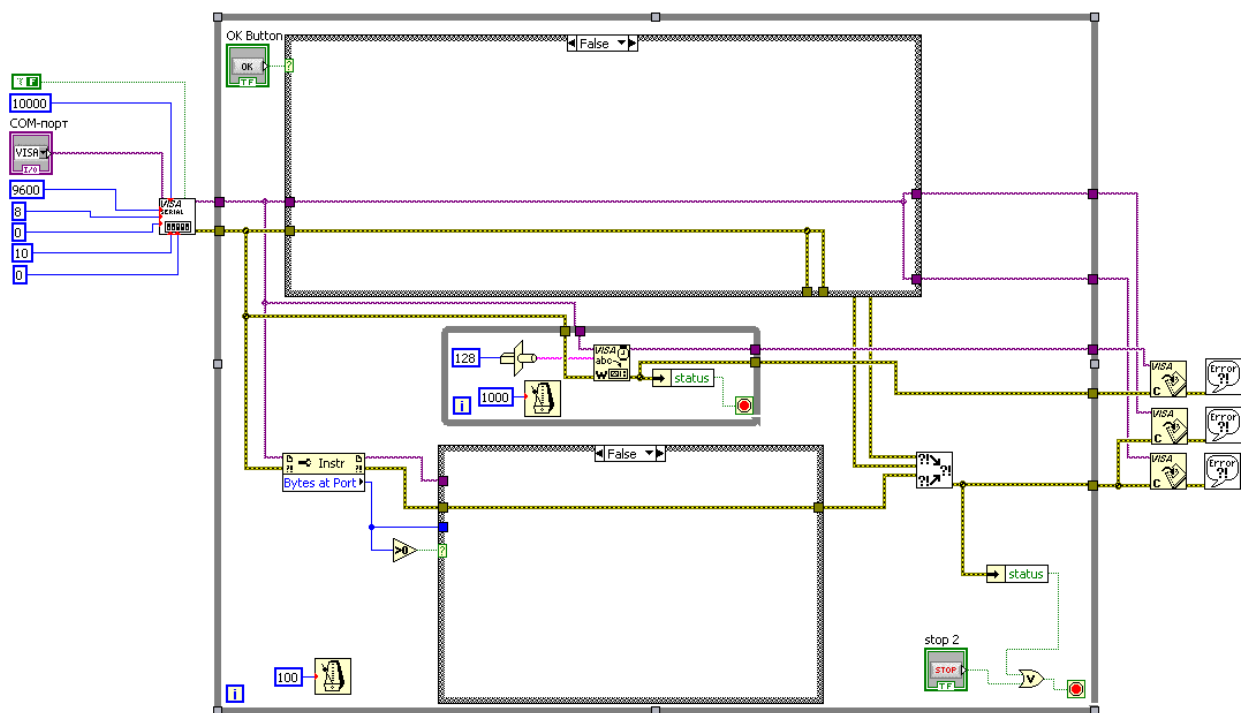
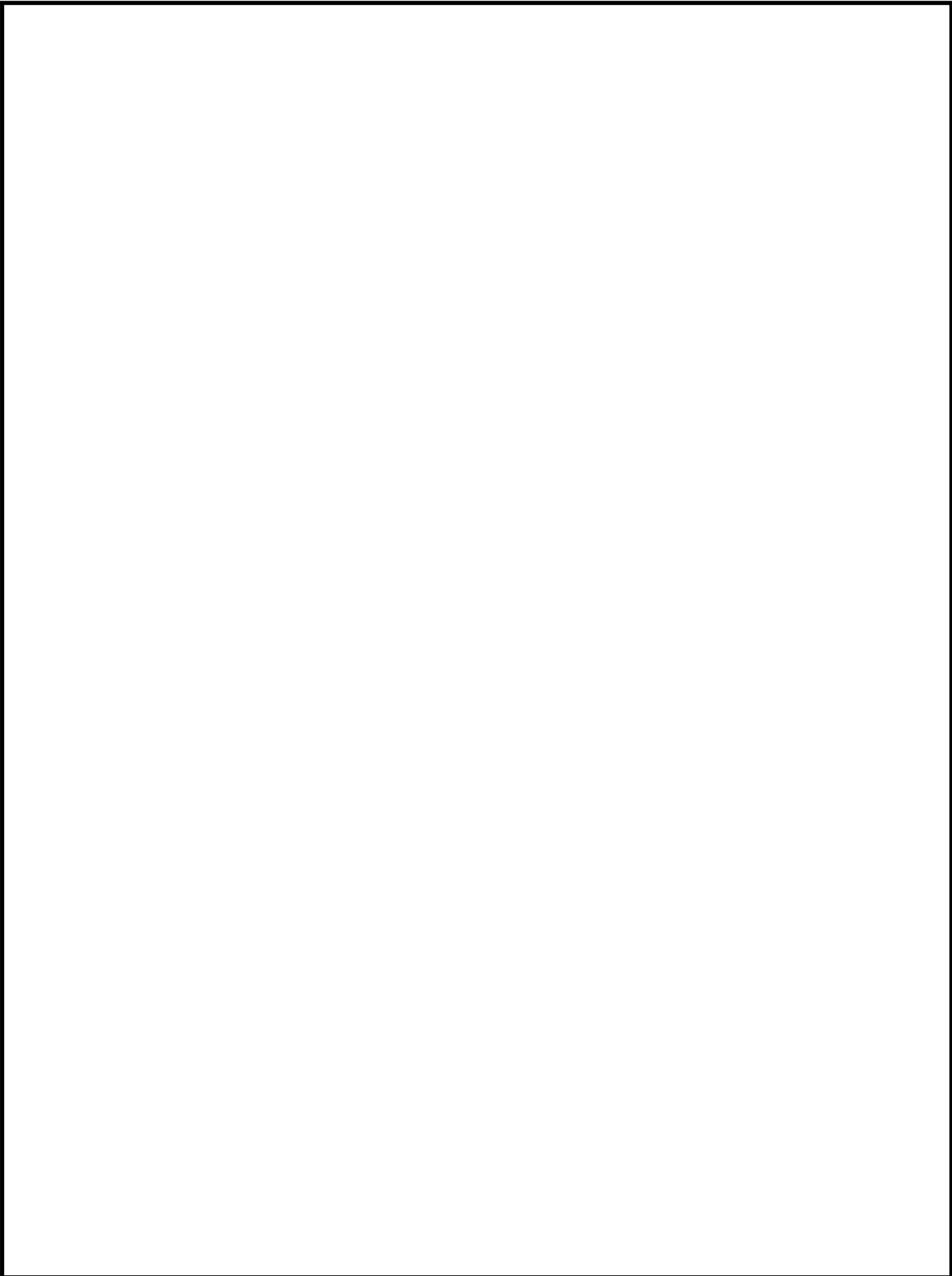


Рис. 2.23 – Алгоритм роботи при не натиснутій кнопці «Пуск»



					172.4397ст.КР.ПЗ.РЗ			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Курільчик К. П.			Автоматизація настройки та адаптації регулятора за допомогою системи радіокерування	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант		Рябенський В. М.					68	19
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Худякова І. М.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЗАЦІЯ НАСТРОЙКИ ТА АДАПТАЦІЇ РЕГУЛЯТОРА ЗА ДОПОМОГОЮ СИСТЕМИ РАДІОКЕРУВАННЯ

3.1. Розрахунок параметрів регулятора і якості регулювання

Перед тим, як розраховувати параметри регулятора, необхідно сформулювати мету і критерії якості регулювання, а також обмеження на величини і швидкості зміни змінних в системі. Традиційно основні якісні показники формуються виходячи з вимог до форми реакції замкнутої системи на ступеневу зміну уставки. Однак такий критерій дуже обмежений. Зокрема, він нічого не говорить про величину ослаблення шумів вимірювань або впливу зовнішніх збурень, може дати хибне уявлення про робастність системи.

Тому для повного опису або тестування системи з ПІД-регулятором потрібен ряд додаткових показників якості, про які мова піде далі.

У загальному випадку вибір показників якості не може бути формалізований повністю і повинен здійснюватися, виходячи зі змісту розв'язуваної задачі.

Вибір критерію якості регулювання залежить від мети, для якої використовується регулятор. Метою може бути:

- підтримка постійного значення параметра (наприклад, температури);
- спостереження за зміною уставки або програмне управління;
- управління демпфером в резервуарі з рідиною і т.д.

Для того чи іншого завдання найбільш важливим фактором може бути:

- форма відгуку на зовнішні збурення (час встановлення, перерегулювання, час відгуку та ін);
- форма відгуку на шуми вимірювань;
- форма відгуку на сигнал уставки;
- робастність по відношенню до розкиду параметрів об'єкта управління;
- економія енергії в керованій системі;

					172.4397ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

– мінімізація шумів вимірювань.

Для класичного ПД-регулятора параметри, які є найкращими для стеження за уставкою, в загальному випадку відрізняються від параметрів, найкращих для ослаблення впливу зовнішніх збурень. Для того, щоб обидва параметри одночасно були оптимальними, необхідно використовувати ПД-регулятори з двома ступенями свободи.

Точне стеження за зміною уставки необхідно в системах управління рухом, у робототехніці; в системах управління технологічними процесами, де уставка зазвичай залишається тривалий час без змін, потрібне максимальне ослаблення впливу навантаження (зовнішніх збурень); в системах управління резервуарами з рідиною потрібне забезпечення ламінарного потоку (мінімізація дисперсії вихідної змінної регулятора) і т.д.

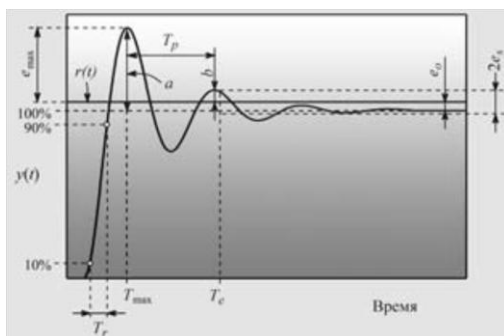


Рис. 3.1 – Критерії якості регулювання в часовій області

3.2. Основні принципи автоматичної настройки та адаптації регулятора.

3.2.1. *Поняття автоматичної настройки та адаптації*

Природним напрямком розвитку комерційних ПД-регуляторів є розробка методів, що дозволяють знизити витрати людської праці на інсталяцію, настройку та обслуговування. Незважаючи на те, що багато методів автоматичної настройки та адаптації ПД-регуляторів, що використовуються в даний час, були розроблені ще в 60-х роках ХХ століття, в промислових контролерах адаптивна техніка почала використовуватися лише з середини 80-х. Це пов'язано з технічною складністю реалізації адаптивних алгоритмів на елементній базі, яка існувала до появи мікроконтролерів.

Настройка може виконуватися вручну або автоматично, без участі людини (автонастройка).

Автонастройка може виконуватися повністю автоматично і за вимогою, коли людина є ініціатором настройки. Повністю автоматична настройка може ініціюватися при настанні заздалегідь заданої умови (наприклад, при зміні навантаження, при зміні зовнішніх впливів, при зміні похибки регулювання) або безперервно в часі. Автоматична настройка, що ініціюється без участі людини, називається адаптацією. Прикладом адаптації може бути автонастройка при зміні кількості яєць в інкубаторі або при зміні навантаження на валу двигуна. Іноді термін «адаптація» трактують ширше, як пристосування регулятора до реального об'єкту на стадії введення системи в експлуатацію.

Різновидом адаптації є розімкнене управління параметрами регулятора (таблична автонастройка), коли заздалегідь знайдені параметри регулятора для різних умов роботи системи заносяться в таблицю, з якої вони беруться при настанні умов, за якими ініціюється адаптація.

					172.4397ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Слід зазначити, що адаптація в принципі є повільним процесом, тому її не можна розглядати як безперервне стеження параметрів регулятора за змінними параметрами об'єкту.

Регулятори, налаштовані в автоматичному режимі, частіше налаштовані гірше, ніж налаштовані в ручному режимі. Пояснюється це філософським умовиводом, що комп'ютер не може виконувати складні і погано формалізовані завдання краще людини.

На даний момент відсутні прості, надійні і загальноприйняті методи автоматичної настройки.

3.2.2. Основні принципи автоматичної настройки

Усі види автоматичної настройки використовують три принципово важливих етапи: ідентифікація, розрахунок параметрів регулятора, настройка регулятора. Часто кінцевий етап включає етап підстроювання (заклучна оптимізація настройки). Оптимізація настройки необхідна у зв'язку з тим, що методи розрахунку параметрів регулятора за формулами не враховують нелінійності об'єкта, зокрема, завжди присутню нелінійність типу «обмеження», а ідентифікація параметрів об'єкта виконується з деякою погрішністю. Підстроювання регулятора може бути пошуковим (без ідентифікації об'єкта, шляхом пошуку оптимальних параметрів) і безпошуковим (з ідентифікацією). Пошукова ідентифікація базується зазвичай на правилах або на ітераційних алгоритмах пошуку мінімуму критеріальної функції. Найбільш поширений пошук оптимальних параметрів за допомогою градієнтного методу: знаходять похідні від критеріальної функції з параметрами ПІД-регулятора, які є компонентами вектора градієнта, а далі проводиться зміна параметрів відповідно до напрямку градієнта.

					172.4397ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Важливо підкреслити, що незважаючи на наявність автоматичного підстроювання, контролер може не дати необхідної якості регулювання з причин, не залежних від якості закладених в нього алгоритмів. Наприклад, об'єкт управління може бути погано спроектований (залежні контури регулювання, велика затримка, високий порядок об'єкта); об'єкт може бути нелінійним; датчики можуть бути розташовані не в тому місці, де потрібно, і мати поганий контакт з об'єктом, рівень перешкод в каналі вимірювання може бути неприпустимо великим; роздільна здатність датчика може бути недостатньо високою; джерело вхідного впливу на об'єкт може мати занадто велику інерційність або гістерезис; можуть бути також помилки в монтажі системи, погане заземлення, обриви провідників і т.д. Тому, перш ніж починати автоматичну настройку, необхідно переконатися у відсутності перелічених проблем. Наприклад, якщо внаслідок зносу механічної системи з'явився непередбачений проектом гістерезис і тому система знаходиться в режимі коливань, підстроювання регулятора може не дати бажаного результату, поки не усунена причина проблеми.

Структурна схема системи, що самонастроюється, наведена на рис. 3.2. Автонастройка практично не має ніяких особливостей у порівнянні з описаними раніше методами, за винятком того, що вона виконується в автоматичному режимі. Основним етапом автоматичної настройки та адаптації є ідентифікація моделі об'єкта. Вона виконується в автоматичному режимі звичайними методами ідентифікації параметрів моделей об'єктів управління. Автоматична настройка може виконуватися і без ідентифікації об'єкта, ґрунтуючись на правилах або пошукових методах.

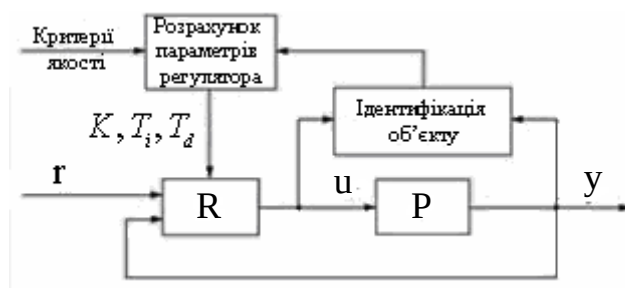


Рис. 3.2 – Загальна структура системи з автоматичною настройкою

3.3. Ідентифікація та моделі об'єкта управління

3.3.1. Ідентифікація об'єкта управління

Для виконання якісного регулювання, в тому числі після автоматичної настройки ПД-регулятора, необхідні знання про динамічну поведінку об'єкта управління. Процес отримання (синтезу) математичного опису об'єкта на основі експериментально отриманих сигналів на його вході і виході називається ідентифікацією об'єкта. Математичний опис може бути представлений у табличній формі або у формі рівнянь. Ідентифікація може бути структурною, коли шукається структура математичного опису об'єкта, або параметричною, коли для відомої структури знаходять величини параметрів, що входять в рівняння моделі. Коли шукаються параметри моделі з відомою структурою, то говорять про ідентифікацію параметрів моделі, а не об'єкта.

Результатом ідентифікації може бути імпульсна або перехідна характеристика об'єкта, а також відповідні їм спектральні характеристики, які можуть бути представлені у вигляді таблиці (масиву), а не в формі математичних залежностей. Табличні характеристики можуть використовуватися в подальшому для структурної і параметричної ідентифікації математичної моделі об'єкта регулювання або безпосередньо для визначення параметрів ПД-регулятора.

Незважаючи на різноманітність і складність реальних об'єктів управління, в ПД-регуляторах використовуються, як правило, тільки дві структури математичних моделей: модель першого порядку з затримкою і модель другого порядку із затримкою. Набагато рідше використовуються моделі більш високих порядків, хоча вони можуть більш точно відноситись до об'єкту. Існують дві причини, що обмежують застосування точних моделей. Першою з них є неможливість аналітичного вирішення системи рівнянь, що описують ПД-регулятор з моделлю вищого порядку (а саме аналітичні рішення набули найбільшого поширення в ПД-регуляторах з

					172.4397ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

автоматичною настройкою). Друга причина полягає в тому, що при великій кількості параметрів і високому рівні шуму вимірювань кількість інформації, отриманої в експерименті, виявляється недостатньою для ідентифікації тонких особливостей поведінки об'єкта.

Вибір оптимальної моделі зазвичай ґрунтується на критерії достатності якості регулювання при мінімальній складності моделі. Для нелінійних процесів і при підвищених вимогах до якості регулювання розробляють моделі з індивідуальною структурою, ґрунтуючись на фізиці процесів, що протікають в об'єкті управління.

Якщо процес будь-якої складності апроксимувати моделлю першого порядку з транспортною затримкою (рис. 3.3), то отримані таким способом постійна часу T і затримка L називаються відповідно ефективною постійною часу та ефективною затримкою.

Ідентифікація може виконуватися за участю оператора або в автоматичному режимі, а також безперервно (в реальному часі) - в адаптивних регуляторах або на вимогу оператора - у регуляторах з самонастройкою.

Теорія ПІД-регуляторів добре розвинена для лінійних об'єктів управління. Проте практично всі реальні об'єкти мають нелінійність типу «обмеження керуючого впливу». Обмеження може бути пов'язано, наприклад, з обмеженою потужністю нагрівача при регулюванні теплових процесів, з обмеженням площі перетину перепускного клапана, з обмеженням швидкості потоку рідини і т.п. Обмеження «знизу» в теплових системах пов'язано з тим, що джерело тепла не може, як правило, працювати в режимі холодильника, коли цього вимагає закон регулювання.

Для мінімізації нелінійних ефектів при ідентифікації об'єкта в робочій точці («в малому») використовують малі зміни керуючого впливу, коли нелінійності системи можна не враховувати. При цьому процес виведення системи в зону лінійності є предметом окремого розгляду.

					172.4397ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Ідентифікацію можна виконувати в замкненому контурі зі зворотним зв'язком або в розімкнутому. Ідентифікація в замкненому контурі може бути непрямомою і прямою. При непрямій ідентифікації вимірюється тестовий сигнал і відгук на нього системи зі зворотним зв'язком, потім шляхом обчислень за рівняннями системи знаходиться передатна функція об'єкта управління. При прямій ідентифікації передатна функція об'єкта знаходиться за вимірюваннями сигналів безпосередньо на його вході і виході.

Розрізняють активну ідентифікацію (за допомогою впливу на систему, яка подається спеціально з метою ідентифікації) і пасивну (в якості впливу використовують сигнали, наявні в системі в процесі її нормального функціонування). У пасивному експерименті виконують тільки спостереження за поведінкою системи в нормальному режимі її функціонування, намагаючись отримати з цього спостереження інформацію, достатню для настройки регулятора.

3.3.2. Моделі об'єктів управління

Існують два способи отримання моделі об'єкта управління: формальний і фізичний. При формальному підході використовують модель типу «чорний ящик», в якій не міститься інформації про фізичні процеси, що відбуваються в об'єкті, або про його структуру. Синтез формальної моделі зводиться до вибору однієї з невеликого числа моделей, що описуються далі, і ідентифікації її параметрів.

Модель першого порядку. Найпоширенішими об'єктами управління є системи, описувані рівняннями тепломасопереносу. Реакція таких об'єктів (за умови, що вони є лінійними по вхідному впливу) на ступеневий вхідний вплив має затримку L і точку перегину (рис. 3.3). Точне рішення цих рівнянь здійснюється чисельними методами і в теорії автоматичного управління не використовується. Використовують досить просте вираження передавальної

функції об'єкта управління (модель першого порядку з транспортною затримкою):

$$W(s) = \frac{K_p}{(sT + 1)} e^{-sL},$$

де s – комплексна частота, K_p – коефіцієнт передачі в сталому режимі, T – постійна часу, L – транспортна затримка.

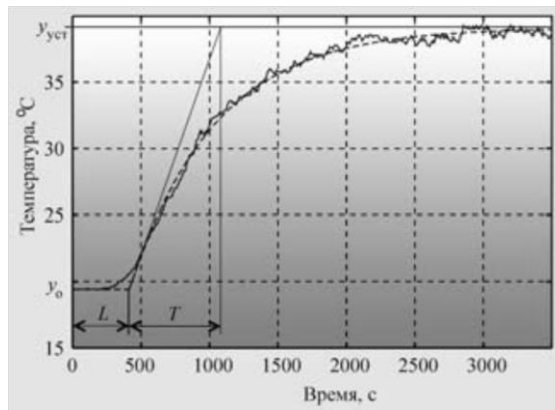


Рис. 3.3 – Температура труби опалення будинку після включення клапана подачі теплоносія (апроксимація моделлю першого порядку)

Як бачимо, модель першого порядку описується трьома параметрами: K_p , T , L , які повинні бути знайдені в процесі ідентифікації. На рис. 3.3 наведена перехідна характеристика реального об'єкта, виміряна у виробничому цеху за допомогою модуля NL-4RTD серії RealLab!, датчика TCM-50, OPC-сервера NLog і програми MS Excel. Похибка вимірювань становить 1 градус, роздільна здатність – 0,01 градуса. Експериментально зняті точки (кілька тисяч) утворюють суцільну лінію, крива апроксимуючої моделі показана штриховою лінією.

Модель другого порядку. Якщо описана модель першого порядку виявляється надто грубою, використовують модель другого порядку:

$$W(s) = \frac{K_p}{(sT_1 + 1)(sT_2 + 1)} e^{-sL},$$

де T_1, T_2 – дві постійні часу об'єкту управління. Модель другого порядку має характерну точку перегину на передавальній характеристиці.

Моделі інтегруючих процесів. Вихідна величина деяких об'єктів управління при подачі на вхід ступінчастого впливу не прагне до сталого значення, як на рис. 3.3, а продовжує змінюватися в сталому режимі. Такі перехідні процеси називають інтегруючими. Приклад інтегруючого процесу наведено на рис. 3.4. Це залежність температури в чайнику потужністю 2 кВт від часу після включення нагріву. Оскільки потужність нагрівача дуже висока, то чайник встигає закипіти за час $t \ll T$. Передавальна функція такого процесу має вигляд:

$$W(s) = \frac{K_p}{s} e^{-sL}.$$

Іншими прикладами інтегруючих процесів можуть бути переміщення стрічки транспортера, поворот осі двигуна, налив рідини в ємність, зростання тиску в замкнутій посудині.

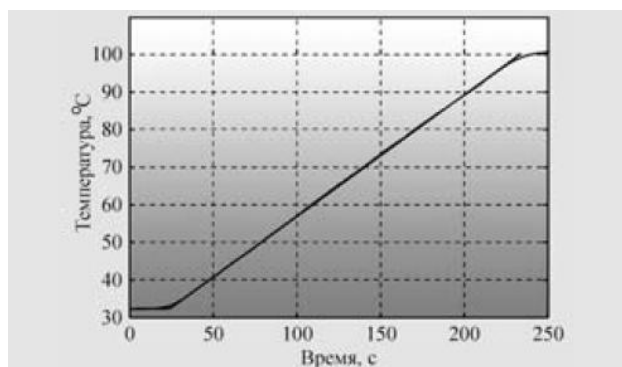


Рис. 3.4 – Залежність температури від часу після включення нагріву

Застосування більш складних моделей дозволяє поліпшити якість регулювання, проте робить неможливим простий аналітичний розрахунок параметрів регулятора на підставі параметрів моделі. Для складних моделей якість регулювання обмежується не точністю моделі, а можливостями ПД-регулятора. Тому найбільше поширення в ПД-регуляторах знайшли найпростіші лінійні моделі першого і другого порядку.

3.4. Вибір тестових сигналів і вимірювання динамічних характеристик

Для ідентифікації об'єкта управління необхідно вимірювати сигнал на його вході і реакцію на виході. Ідентифікацію можна виконати не тільки шляхом подачі тестового сигналу на вхід системи, але і за допомогою зміни навантаження (наприклад, навантаження на валу двигуна), а також параметрів об'єкта (наприклад, кількості яєць в інкубаторі).

Ідентифікація в пасивному експерименті приваблива тим, що не вноситься похибка в нормальний перебіг технологічного процесу, однак її достовірність вкрай низька в принципі і може привести не до настройки, а до розладу ПД-регулятора. Тим не менше, число патентів по ПД-регуляторам з пасивною ідентифікацією дорівнює числу патентів з активною ідентифікацією.

При проведенні активного експерименту виникає завдання вибору форми тестового впливу. Використовують сигнали у формі сходу (стрибка), у формі прямокутного імпульсу, лінійно наростаючого сигналу, трикутного імпульсу, псевдовипадкового двійкового сигналу, шуму, синусоїдальних впливів (частотний метод). Найбільш часто для налаштування ПД-регуляторів використовують стрибок і подвійний прямокутний імпульс (перший імпульс – вгору, другий – вниз щодо сталого значення).

Тестовий вплив повинен мати досить малу амплітуду, щоб перехідний процес в об'єкті залишався в межах лінійності. У той же час він має бути достатньо великим, щоб збільшити відношення сигналу до шуму і зовнішніх збурень.

Об'єкт повинен знаходитися в сталому стані перед подачею тестового сигналу і бути стійким.

Гранична частота спектра тестового сигналу повинна бути вище найбільшого за абсолютною величиною полюса передавальної функції об'єкта. Точніше, вище, ніж частота одиничного посилення ω_1 разомкнутого

контур зворотним зв'язком. До настройки регулятора, коли частота ω_1 ще невідома, верхню граничну частоту спектра тестового сигналу вибирають вище частоти ω_{180} , на якій фазовий зсув вихідного синусоїдального сигналу об'єкта щодо вхідного становить -180° . Зазначений діапазон частот важливий тому, що саме на частоті ω_{180} виникають коливання, коли об'єкт знаходиться на кордоні стійкості в замкнутому контурі з релейним регулятором або П-регулятором. У контурі з ПІ-регулятором частота затухаючих коливань може бути нижче і відповідати точці, де зсув фаз в об'єкті становить близько -145° внаслідок додаткового фазового зсуву, внесеного інтегратором. В ПІД-регуляторах диференціююча ланка може компенсувати цей фазовий зсув, і коливання виникнуть на частоті ω_{180} .

Нижня межа діапазону, в якому необхідно досить точно ідентифікувати передавальну функцію, повинна бути приблизно в 10 разів нижче за частоту одиничного посилення ω_1 . Більш точно нижню межу діапазону можна визначити тільки після настройки ПІД-регулятора. Як ілюстрацію до сказаного на рис. 3.5 і рис. 3.6 суцільною жирною лінією показані амплітудно-частотна і фазочастотна характеристики об'єкта з передатною функцією:

$$W(s) = \frac{e^{-sL}}{(sT_1 + 1)(sT_2 + 1)},$$

де $s = j\omega$, $T_1 = 1$, $T_2 = 10$, $L = 0,3$.

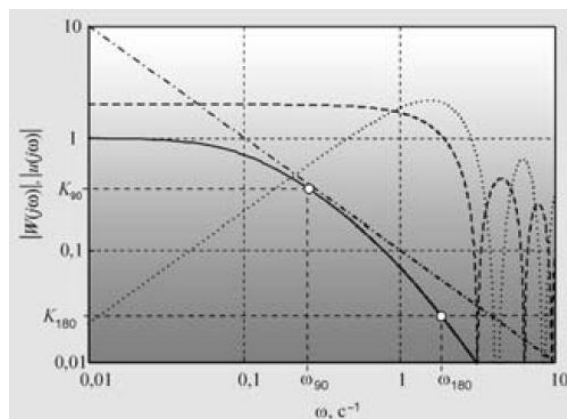


Рис. 3.5 – АЧХ об'єкту 2-го порядку (суцільна лінія) та модуль спектральної щільності при тестових впливах прямокутного імпульсу (штрихова лінія), подвійного імпульсу (пунктирна лінія), стрибка (штрихпунктирна лінія)

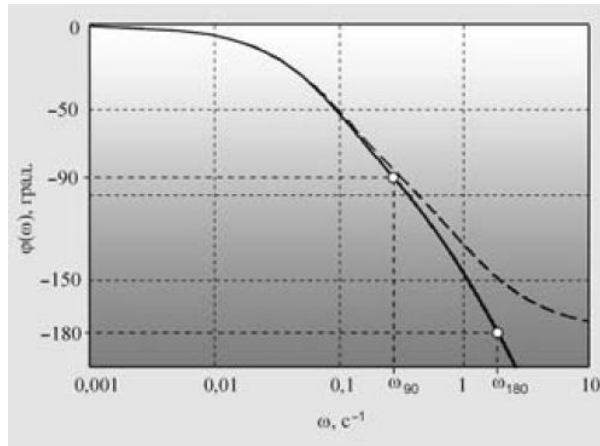


Рис. 3.6 – Фазочастотна характеристика об'єкта управління 2-го порядку: штрихова лінія – без транспортної затримки, суцільна лінія – з затримкою

Для отримання кращого відношення сигнал / шум залежність модуля спектральної функції тестового впливу від частоти не повинна мати сильних провалів в області частот, що цікавить, щоб забезпечити досить велике відношення сигнал / шум. Цій умові, зокрема, задовольняють сигнали, показані штриховою і пунктирною лініями на рис. 3.5. Бажано також, щоб порядок функції, що описує спектральну функцію тестового сигналу (тобто порядок многочлена в знаменнику функції), був не нижче порядку об'єкта управління, оскільки крутизна спаду АЧХ в області верхніх частот збільшується з ростом порядку.

Ширина спектра і потужність тестового сигналу суттєво впливають на точність ідентифікації. У загальному випадку більш потужні і широкосмугові сигнали дозволяють визначити більше число параметрів передавальної функції.

Якщо ідентифікація виконується без зупинки технологічного процесу (а це найбільш важливий для практики випадок), то можуть існувати обмеження на максимальну потужність, тривалість або енергію тестового сигналу, щоб не порушувати нормальний хід технологічного процесу. Наприклад, в інкубаторі допускається подати короткочасний імпульс (на 5 хвилин), який підвищує температуру до 50°C, однак підвищення температури навіть на 1°C протягом кількох годин призводить до загибелі зародка. Тому

виникає завдання вибору тестового сигналу з необхідним спектром при обмеженнях, накладених на його потужність, тривалість або енергію.

Найкращу спектральну характеристику можна одержати, ускладнюючи форму сигналу і збільшуючи загальний час ідентифікації. Для ідентифікації швидких процесів (наприклад, в електромеханічних системах) отримав широке поширення псевдовипадковий двійковий сигнал, що має рівномірний спектр в обмеженій смузі частот. Однак при управлінні тепловими процесами для ПД-регуляторів найбільш критичним параметром є швидкість ідентифікації. Тому тут частіше використовують прості сигнали, які, крім швидкості ідентифікації, дозволяють використовувати прості розрахунки за формулами замість чисельних методів мінімізації функціоналу помилки. Звичайно, достовірність результату при цьому падає.

Навіть ретельно виконана ідентифікація може не дати позитивного результату, якщо виявиться, що об'єкт суттєво нелінійний. Для тестування на лінійність об'єкт збуджують серією тестових впливів різної амплітуди. Отримані реакції об'єкта нормують на амплітуду тестового сигналу і порівнюють між собою. Для лінійних об'єктів отримані криві повинні співпадати. Якщо відмінність між кривими істотно перевищує оцінку похибки ідентифікації, то об'єкт слід розглядати як нелінійний і використовувати для нього методи теорії автоматичного керування нелінійними системами.

					172.4397ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

3.5. Програмування засобів настройки ПД-регуляторів

Типова система для настройки ПД-регуляторів складається з комп'ютера з програмним забезпеченням під Windows, комплекту модулів вводу-виводу і сполучних кабелів. Об'єкт включається в контур регулювання, система налаштовується бажаним способом, потім отримані коефіцієнти регулятора записуються в ПД-контролер. Завдяки зручному інтерфейсу, великої продуктивності комп'ютера і відсутності обмежень на алгоритми ідентифікації системи вдається отримати параметри регулятора, близькі до оптимальних.

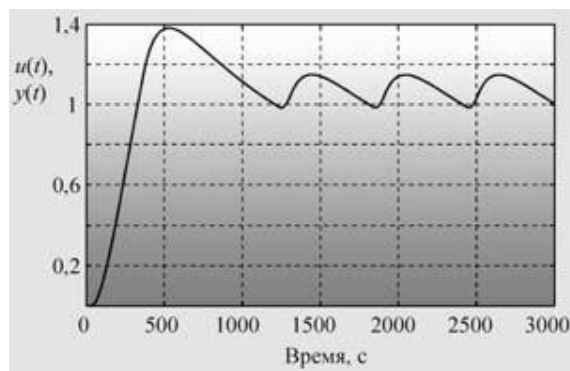


Рис. 3.7 – Форма коливань при асиметричній релейній функції ($u_{\max} = 5,5$, $u_{\min} = 0,5$, $r = 1$)

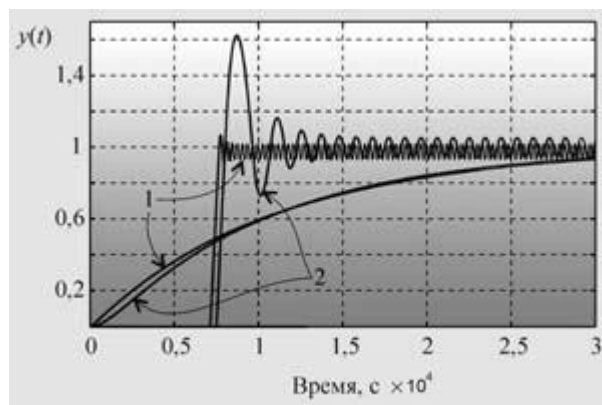


Рис. 3.8 – Порівняння відмінностей між перехідними характеристиками і коливаннями в двох системах другого порядку з параметрами $T_1 = 10,9$, $T_2 = 0,1$, $L = 0,02$ (криві 1) і $T_1 = 10$, $T_2 = 1$, $L = 0,02$ (криві 2)

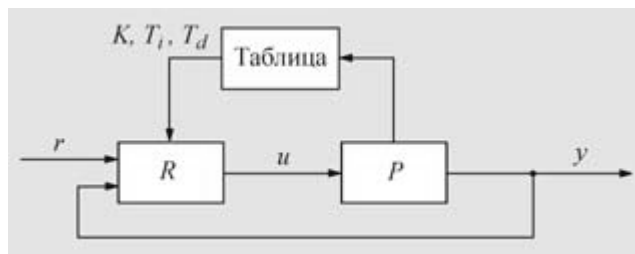


Рис. 3.9 – Адаптивне управління за допомогою параметрів, заздалегідь записаних в таблицю

В даний час є близько півсотні комерційних продуктів для настройки ПД-регуляторів.

Серед аналітичних методів настройки в цих програмах найбільш поширені Lambda-тьюнінг або метод регулятора з внутрішньою моделлю. Переважна більшість програм використовує модель першого порядку з затримкою для опису об'єкта регулювання.

Зв'язок з обладнанням виконується із застосуванням OPC-сервера, DDE-, COM- або DCOM-технологій, серед яких тільки OPC-сервер є засобом, заснованим на міжнародному стандарті.

Розвиток описуваних засобів йде в напрямку розширення діапазону підтримуваних ПД-регуляторів, застосування методів штучного інтелекту і методів діагностики, розвитку інтерфейсу користувача. Сучасні засоби настройки дозволяють аналізувати знос клапанів, робити оцінку робастності, автоматично генерувати звіт з параметрами контуру регулювання, будувати графіки спектральної щільності потужності і функцій авто- і взаємної кореляції, робити оптимізацію інверсної моделі об'єкта управління і т.п.

Як приклад розглянемо один з комерційних продуктів – систему для налаштування ПД-регуляторів Protuner (див. Application manual на сайті www.protuner.com) фірми Techmation Inc.

Система відображає графіки перехідного процесу, виконує перетворення експериментальних характеристик з тимчасової області в частотну і обчислює параметри регулятора, використовуючи декілька різних методів настройки.

Перед початком роботи системи користувачеві пропонується меню для введення апріорної інформації про об'єкт регулювання:

- діапазон зміни вхідного і вихідного сигналів об'єкта;
- тип процесу в об'єкті управління (інтегруючий чи ні);
- бажані одиниці вимірювання;
- структура контролера (ідеальна, послідовна або паралельна);
- частота дискретизації;
- постійна часу фільтру у вимірювальному каналі.

Ідентифікація виконується за допомогою аналізу реакції на вхідний стрибок у замкнутому або розімкнутому контурі (за вибором користувача). Рекомендується варіант в розімкнутому контурі. Після того як користувач натискає кнопку «Старт», вхідний і вихідний сигнали відображаються на екрані комп'ютера.

Є деякі можливості попередньої обробки зібраних даних. До них відносяться видалення грубих помилок вимірів і викидів, пов'язаних з імпульсними перешкодами, а також цифрова фільтрація. Це дозволяє виконувати експерименти в реальних умовах індустриального оточення.

Після попередньої обробки даних Protuner виконує розрахунок частотної характеристики об'єкта, яка може бути відображена у вигляді діаграми Бode, Найквіста або Нікольса. Відображаються також статичний коефіцієнт передачі, постійні часу і транспортна затримка, частота ω_{180} і період T_{180} .

Параметри ПД-регулятора обчислюються за частотним характеристикам. Спочатку обчислюються постійна інтегрування і постійна диференціювання, потім на основі заданого запасу по фазі і посилення обчислюється пропорційний коефіцієнт регулятора.

Якість регулювання задається у вигляді понять «сильно демпфована» перехідна характеристика, «слабо демпфована» і «швидка» (з коефіцієнтом

					172.4397ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

загасання 1/0, 38). Protuner дає різні коефіцієнти регулятора для реакції на зміну уставки і навантаження.

Є засоби для моделювання системи до запису параметрів в ПІД-контролер. Можуть бути також побудовані частотні характеристики замкнутої системи, які дозволяють оцінити отриманий запас по фазі і посиленню.

					172.4397ст.КР.ПЗ.РЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата				
Розробник		Курільчик К. П.			Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант		Губальцев А. М.					87	14
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Худякова І. М.						
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Науково-технічний прогрес вніс серйозні зміни в умови виробничої діяльності працівників розумової і фізичної праці. Їхня праця стала більш інтенсивною, напруженою, потребує значних витрат розумової, емоційної і фізичної енергії. Це вимагає комплексного рішення проблем ергономіки, гігієни й організації праці, регламентації режимів праці і відпочинку.

Закон України “Про охорону праці” від 14 жовтня 1992 року визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює за участю відповідних державних органів відносини між власником підприємства, установи і організації або уповноваженим ним органом і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Дія Закону поширюється на всі підприємства, установи і організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на усіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах.

Законодавство про охорону праці складається з Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України та інших нормативних актів. У разі, коли міжнародними договорами або угодами, в яких бере участь Україна, встановлено більш високі вимоги до охорони праці, ніж ті, що передбачено законодавством України, то застосовуються правила міжнародного договору або угоди.

Державна політика в галузі охорони праці базується на принципах:

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

- пріоритету життя і здоров'я працівників відповідно до результатів виробничої діяльності підприємства, повної відповідальності власника за створення безпечних і нешкідливих умов праці;
- комплексного розв'язання завдань охорони праці на основі національних програм з цих питань та з урахуванням інших напрямів економічної і соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони навколишнього середовища;
- соціального захисту працівників, повного відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань;
- встановлення єдиних нормативів з охорони праці для всіх підприємств, незалежно від форм власності і видів їх діяльності;
- використання економічних методів управління охороною праці, проведення політики пільгового оподаткування, що сприяє створенню безпечних і нешкідливих умов праці, участі держави у фінансуванні заходів щодо охорони праці;
- здійснення навчання населення, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з питань охорони праці;
- забезпечення координації діяльності державних органів, установ, організацій та громадських об'єднань, що вирішують різні проблеми охорони здоров'я, гігієни та безпеки праці, а також співробітництва і проведення консультацій між власниками та працівниками (їх представниками), між усіма соціальними групами при прийнятті рішень з охорони праці на місцевому та державному рівнях;
- міжнародного співробітництва в галузі охорони праці, використання світового досвіду організації роботи щодо поліпшення умов і підвищення безпеки праці.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

4.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів, що впливають на людину

В даний час існує досить велика кількість небезпечних і шкідливих факторів діючих на людину. Серед них – іонізуюче випромінювання, електромагнітне випромінювання, лазерне випромінювання, ультрафіолетове випромінювання. Також враховується якість освітлення, вплив шуму на людину, електробезпека і пожежонебезпека.

4.1.1. Аналіз впливу електромагнітного випромінювання

Електромагнітне випромінювання – це випромінювання від індукційних котушок, робочих конденсаторів, окремих елементів генераторів, котушок контурів і зв'язку, з'єднувальних провідників, трансформаторів, антен та ін. Ступінь впливу електромагнітних випромінювань на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності впливу відповідного фактора, тривалості опромінення, характеру випромінювання, режиму опромінення, розмірів поверхні тіла, що опромінюється, а також індивідуальних особливостей організму.

Випромінювана в навколишнє середовище електромагнітна енергія може впливати на організм людини. Механізм дії ЕМВ визначається його тепловим і нетепловим (атермічним) ефектами. Тепловий ефект залежить від інтенсивності опромінення і характеризується підвищенням температури тіла, а також локальним виборчим нагріванням тканин, органів і клітин. Тривала дія ЕМВ приводить до функціональних змін нервової системи, що проявляються у підвищеній стомлюваності, головному болю, сонливості, дратівливості, у відчутті болю в області серця. Після припинення опромінення ці явища швидко проходять. Однак систематична дія ЕМВ високої напруженості може привести до функціональних порушень серцево-судинної системи (сінусова тахікардія, порушення усередині желудочкової провідності) і зміні показників периферичної крові. На ранній стадії

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

спостерігається помірний лейкоцитоз із наступною лейкопенією, а подальшому підвищуються показники червоної крові (гемоглобін, еритроцити, ретикулоінти).

При порушенні техніки безпеки, в аварійних ситуаціях може мати місце опромінення високої інтенсивності, що викликає деструктивні зміни в органах і тканинах. Дія випромінювань СВЧ може привести до розвитку катаракти.

Відзначаються також порушення з боку ендокринної системи (щитовидної залози, гіпофіза, полових залоз).

4.1.2. Вплив сонячної радіації на організм людини

При плаванні в тропіках на стан здоров'я моряків істотно впливає сонячна радіація. Її інтенсивність, а також спектральний склад сонячного випромінювання залежать від висоти сонця й прозорості атмосфери. Найбільша інтенсивність радіації в південних широтах північної півкулі спостерігається в березні - квітні. Розрізняють пряму й непряму сонячну радіацію, але найчастіше користуються узагальненим показником – сумарним.

У тропіках сумарна сонячна радіація становить $0.5 - 1.67 \text{ гкал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$. У середньому вона дорівнює $1.33 - 1.36 \text{ гкал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$. У районі тропіка Рака, тропіка Козерогу та у субтропіках максимальні значення сонячної радіації становлять $1.30 - 1.36 \text{ гкал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$, в екваторіальній частині $1.25 \text{ гкал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$, у Середземному морі $1.39 - 1.40 \text{ гкал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$. Відзначається певна закономірність: з настанням літніх місяців підвищується вологість повітря й хмарність у районі тропіків і зменшується сумарна сонячна радіація. В цей період сонячний спектр у тропіках й у помірному кліматі приблизно однаковий.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Нестача або відсутність сонячного світла приводить до порушення фізіологічної рівноваги в організмі й розвитку патологічного симптомокомплексу, що одержав назву світлового голодування.. Найбільш частим проявом цієї патології є D-авітаміноз, що супроводжується порушенням фосфорно-кальцієвого обміну кісткової тканини, а також ослаблення захисних сил організму, що нерідко приводить до загострення хронічних захворювань, в частності простудного характеру, і гнійничкових інфекцій. Від світлового голодування страждають жителі Заполяр'я, робітники шахт, безвіконних цехів та інших приміщень, позбавлених природного світла. До цієї професійної групи варто віднести й членів машинної команди судів (механіків, мотористів, електриків), особливо при плаванні у високих широтах.

4.1.3. Виробниче освітлення як запорука ефективної праці

Світло позитивно впливає на обмін речовин, серцево-судинну систему, нервово-психічну сферу. Раціональне освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці, його безпеці. При недостатньому освітленні і поганій його якості відбувається швидке стомлення зорових аналізаторів, підвищується травматичність. Занадто висока яскравість викликає явище осліплення, порушення функції ока.

Освітлення може здійснюватися природним і штучним світлом. При нестачі природного освітлення використовується сполучене освітлення. Останнє являє собою освітлення, при якому у світлий час доби використовується одночасно природне і штучне світло. Мінливість природного світла, що може різко мінятися навіть на протязі короткого проміжку часу, викликає необхідність нормувати природне освітлення за допомогою коефіцієнта природної освітленості. Штучне освітлення призначене для освітлення робочих поверхонь у темний час доби або при

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

нестачі природного освітлення. Раціональне штучне освітлення повинне забезпечувати нормальні умови для роботи при припустимій витраті засобів, матеріалів і електроенергії.

4.1.4. Шум як шкідливий фактор процесу праці

Слуховий орган людини сприймає у виді чутного звуку коливання пружного середовища, що мають частоту приблизно від 20 до 20000 Гц, але найбільш важливий для слухового сприйняття інтервал від 45 до 10000 Гц.

Сприйняття людиною звуку залежить не тільки від його частоти, але і від інтенсивності і звукового тиску.

Несприятлива дія шуму на людину залежить не тільки від рівня звукового тиску, але і від частотного діапазону шуму, а також від рівномірності впливу протягом робочого часу.

Негативний вплив на організм моряка спричиняє шум із превалюванням максимумів по низькочастотних складових в октавних смугах із середньгеометричною частотою 31,5-250 Гц за винятком ЕО, у якому рівень шуму перевищує припустимі практично по всіх спектрах. На робочих місцях в ЕО еквівалентний рівень звуку в дБА становить 91-108, у центральному пульті керування - $79,9 \pm 2,8$, на містку - $64,3 \pm 2,1$, на палубі - $64,3 \pm 3,1$, у каютах машинної команди - $61,1 \pm 2,7$ та у каютах верхніх палуб - $53,5 \pm 2,0$, тобто виявлене перевищення санітарних норм на 6-28 дБА. Максимальне перевищення ПДУ зареєстроване під час ремонтних робіт з механізованим зачищенням металевих поверхонь від іржі, старої фарби й обростань – шум досягав 105-112 дБА в октавних смугах 500-8000 Гц.

Таким чином, у суднових приміщеннях у ходовому періоді реєструються підвищені рівні постійно діючих широкосмугових і низькочастотних шумів. Як по інтегральному, так і по спектральному складу вони перевищують діючі санітарні норми, особливо в каютах рядового й

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

командного складу машинної команди. Хронічний акустичний стрес, збуджуючий гіпоталамо-гіпофізарний центр, відповідальний за регуляцію ритмів сну, поряд із трансмеридіальним десінхрозом, викликає напругу психічних процесів, зниження працездатності й професійної операторської надійності.

У результаті несприятливого впливу шуму на працюючу людину відбувається зниження продуктивності праці, збільшується кількість браку в роботі, створюються передумови до виникнення нещасних випадків. Шум у 20-30 дБ практично нешкідливий для людини і складає природний звуковий фон. Припустима границя до 80 дБ. Шум у 130 дБ вже викликає в людини болюче відчуття, а досягши 150 дБ стає для неї нестерпним. Шум 80-100 дБ сприяє збільшенню числа помилок у роботі, знижує продуктивність праці приблизно на 10-15% і одночасно значно погіршує її якість. Шуми високих рівнів можуть привести до розвитку стійкого безсоння, неврозів і атеросклерозу. Під впливом шуму від 85-90 дБ знижується слухова чутливість на високих частотах, людина скаржиться на нездужання (головний біль, запаморочення, нудоту, надмірну дратівливість). При високих рівнях шуму слухова чутливість падає вже через 1-2 роки, при середніх – через 5-10 років. Усе це обумовлює велике оздоровче й економічне значення заходів щодо боротьби із шумом.

4.1.5. Дія вібрації на організм людини

У екіпажів судів і пасажирів, що піддаються безперервному впливу вібрації протягом тривалого часу, можуть відбутися різні порушення у функціональному стані організму. Найбільш істотні порушення спостерігаються в екіпажів судів на підводних човнах, де рівні вібраційної швидкості досягають 110 дБ. На морському й річковому пасажирському

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

транспорті з менш низькими рівнями вібрації відхилення у фізіологічних реакціях виражені менше.

Вплив вібрації на організм визначається фізичними параметрами й тривалістю вібрації, частотним спектром і розташуванням його в границях найбільш високих рівнів енергії коливання. Безпосередній контакт людини з вібруючими поверхнями на судах створює особливо несприятливі умови.

По ступені поширення в організмі людини вібрацію умовно ділять на місцеву й загальну. Місцева вібрація малої інтенсивності може спричиняти на організм сприятливий вплив: прискорюється загоєння ран, поліпшується функціональний стан центральної нервової системи. Тривалий місцевий вплив коливань може привести до виникнення професійної патології – вібраційної хвороби з порушеннями нервовотрофічних процесів і судинного тонуусу із проявами підвищеної стомлюваності, загальних розладів. На водному транспорті члени екіпажу переважно піддаються впливу загальної вібрації.

Основними клінічними проявами вібраційної хвороби є периферичний ангиодістонічний синдром, синдроми невриту й вегетоміозиту (при впливі низькочастотної вібрації), ангиодістонічний й ангиоспастичний синдром (при впливі середньочастотної вібрації) і виражений ангиоспастичний синдром (при впливі високочастотної вібрації).

4.1.6. Вплив випромінювання монітору на організм людини

Монітор на основі електронно-променевої трубки виступає потенційним джерелом м'якого рентгенівського, ультрафіолетового, інфрачервоного, видимого, радіочастотного, зверх- та низькочастотного електромагнітного випромінювань. Однак дослідження показали, що інтенсивність цих випромінювань набагато нижча рівнів, які здатні спричинити будь-який біологічний вплив на людину. Для різних моніторів

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

величини м'якого рентгенівського випромінювання навіть на відстані 5-10 см від екрану не перевищують встановлених норм. Рівні ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювань нижчі за природний фон або відповідають йому й не можуть чинити шкідливого впливу. На робочих місцях користувачів мають місце низькоінтенсивні електромагнітні випромінювання, які не перевищують допустимих значень електричних та магнітних полів для діапазону частот 60 кГц – 300 МГц. Максимальний рівень напруженості електричного поля реєструється біля задньої панелі монітору і дещо менший – на відстані 10 см від екрану та корпусу дисплея.

Усі ці фактори потрібно враховувати і намагатися запобігати їх виникненню, проводити профілактичні роботи, що підійме рівень безпеки на належний рівень. У разі пожежі можливо ураження людини угарним газом (задушення), а також згорання людини, опіки та інше.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

4.2. Розрахунок загального освітлення

Основна задача освітлення у виробничих приміщеннях полягає в забезпеченні оптимальних умов для зору людини. Ця задача вирішується вибором найбільш раціональної системи освітлення та джерел світла.

Постановка задачі:

Розрахувати освітлювальну установку в пульті керування судна розміром: довжина $A = 4$ м, ширина $B = 3$ м, висота $H = 2,5$ м.

Розв'язання:

Визначимо площу приміщення:

$$S = A \times B = 12 \text{ м}^2$$

Вибираємо систему загального рівномірного освітлення з люмінесцентними лампами.

Вибираємо світильник типу СС-755 з чотирма лампами ЛБ15 по 15 Вт.

Знаходимо індекс приміщення за формулою:

$$i = \frac{A \times B}{h \times (A + B)} = \frac{3 \times 4}{2,5 \times (3 + 4)} = 0,7$$

Для люмінесцентних ламп приймаємо $h = H$.

Визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку за наступними параметрами $\rho_p = 70\%$, $\rho_c = 50\%$, $\rho_r = 30\%$, $i = 0,7$: $\eta = 0,27$.

Вибираємо $K_z = 1,3$.

Мінімальна освітленість для пультів керування $E_{\min} = 100$ лк.

Визначаємо світловий потік лампи ЛБ15. Номінальний світловий потік Φ_l люмінесцентної лампи ЛБ15 дорівнює 780 лк.

Коефіцієнт нерівномірності для люмінесцентних ламп приймаємо рівним $Z = 1,1$.

Визначаємо необхідне число світильників за формулою:

$$N = \frac{E_{\min} \times S \times K_z \times Z}{n \times \Phi_l \times \eta} = \frac{100 \times 12 \times 1,3 \times 1,1}{4 \times 780 \times 0,27} = 2$$

Приймаємо для установки 2 світильники типу СС-755.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

4.3. Заходи по техніці безпеки

4.3.1. Забезпечення захисту від електромагнітного випромінювання

Для попередження несприятливої дії ЕМВ важливим гігієнічним заходом є розробка режимів праці й відпочинку, що виключають перебування людей у зоні ЕМВ високої напруженості. Особам, не пов'язаним з обслуговуванням джерел випромінювання, не дозволяється перебувати в зонах дії ЕМВ. Постійні робочі місця на відкритих палубах варто розміщати тільки поза зоною дії ЕМВ, небезпечної для людини. Ділянки палуби, небезпечні для перебування людей при роботі РЛС або радіопередавачів, повинні бути позначені попереджувальними написами. Радіопередавачі й генераторні пристрої СВЧ варто розміщати в спеціально призначених для цього екранованих приміщеннях. Фідерні лінії радіопередавачів і генераторів СВЧ повинні бути надійно екрановані. Проводити їх через житлові приміщення не дозволяється. З метою зниження або усунення електромагнітного випромінювання необхідно робити електрогерметизацію елементів схем, блоків, вузлів й установки в цілому, а також екранування робочого місця. Екранування є одним з основних методів захисту від низькочастотних випромінювань і радіовипромінювань. Для цієї мети використовуються матеріали з високою електричною провідністю: мідь, латунь, алюміній і його сплави, листова сталь, металеві сітки. Ефективність екранування залежить від частоти ЕМВ, магнітної проникності матеріалу, його товщини, питомого опору. При екрануванні робочого місця використовуються поглинаючі, сітчасті й еластичні екрани. Ефективним засобом захисту радіооператорів від впливу ЕМВ є дистанційне керування передавачами. Зниження напруженості ЕМВ на робочих місцях досягається комутацією електромагнітної енергії за допомогою загальних антенних комутаторів, винесених в окремі екрановані приміщення, створенням надійного електричного контакту в металевих сполуках пристрою схем додавання потужностей розділових фільтрів.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						98
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Для зниження напруженості поля внаслідок просочування енергії в інші приміщення необхідно екранувати окремі ділянки приміщень, що перебувають під дією випромінювання антенно-фідерних установок.

Як індивідуальні засоби захисту від дії ЕМВ застосовується спеціальний одяг, виготовлений з металізованої тканини: комбінезони, куртки з каптурами, халати й фартухи. При роботах у зонах з потужністю випромінювання понад 1000 мкВт/см^2 для захисту очей використовуються захисні окуляри типу ОРЗ-5.

4.3.2. Методи і засоби захисту від шуму

Захист працюючих від шуму може здійснюватися як колективними засобами і методами, так і індивідуальними засобами. Вибір засобів зниження шуму в джерелі його виникнення залежить від походження шуму. Для зниження шуму в приміщеннях, обладнаних обчислювальною технікою, використовується метод звукопоглинання, заснований на переході енергії звукових коливань часток повітря в теплоту при терті в порах звукобирного матеріалу. Звукобирні пристрої бувають простими, пористо-волокнистими, з екраном, мембранні, шарові, резонансні і об'ємні. Ефективність застосування різних звукобирних пристроїв визначається в результаті акустичного розрахунку. Акустична обробка обов'язково повинна застосовуватися в машинних залах обчислювальних центрів. Велике значення має й усунення шуму безпосередньо в джерелі шуму.

Також можна використовувати засоби індивідуального захисту – протишуми, які розділяються на шоломи, навушники та вкладки.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						99
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

4.3.3. Способи захисту від вібрації

Заходи щодо запобігання впливу вібрації на членів екіпажів і пасажирів судів здійснюються шляхом зменшення вібрації в самому джерелі її виникнення, попередження поширення коливальної енергії від її джерел й обмеження шкідливої дії вібрації на організм людини.

За допомогою віброізоляційних засобів, до яких відносяться віброізолюючі фундаменти й муфти, амортизатори, гнучкі патрубки, прокладки з гуми й пластмаси, досягається обмеження поширення вібрації від джерел у каюти екіпажа й пасажирів. Для ослаблення вібрації у звуковому діапазоні частот на вібруючі металеві поверхні, фундаменти й суднові корпусні конструкції наносять вібропоглинаючі покриття. Тверді покриття добре послабляють вібрацію на низькій і середній звуковій частотах, м'які покриття - на середніх і високих частотах. За допомогою вібропоглинаючих покриттів можна знизити звукову вібрацію в діапазоні частот від 60 Гц до 10 кГц на 3-8 дБ.

4.3.4. Пожежна безпека

Під пожежною безпекою розуміється такий стан об'єкта, при якому з великою імовірністю запобігається можливість виникнення пожежі, а у випадку її виникнення забезпечується ефективний захист людей від небезпечних і шкідливих факторів пожежі і порятунок матеріальних цінностей. Пожежна безпека виробничих об'єктів забезпечується розробкою і здійсненням систем запобігання пожеж і систем пожежного захисту. Ця задача вирішується як на стадії проектування устаткування, так і в процесі його експлуатації.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У рамках даної кваліфікаційної роботи була розроблена та виготовлена мікропроцесорна система радіокерування на основі напівпровідникового (тиристорного) електроприводу постійного струму. Перед тим як перейти до безпосередньої розробки системи був проведений аналіз подібних систем та виявлені наступні характерні тенденції:

Використання доволі габаритних і незручних пультів керування.

Відсутність можливості контролювати показники виконавчого двигуна.

Відсутність можливості сполучення з комп'ютером.

Після огляду принципів функціонування двунаправленого радіомодему TR24A було прийняте рішення про створення на його основі системи радіокерування з двунаправленою передачею потоків даних.

Були розроблені друковані плати основних блоків системи, алгоритми роботи пристрою та обміну даними, їх передачі та обчислення необхідних параметрів, а також написане відповідне програмне забезпечення. Передача даних до ПК реалізована через інтерфейс RS-232.

Проведене тестування системи радіокерування показало дієздатність апаратної та програмної частини пристрою, експериментальна перевірка працездатності виявила високі експлуатаційні показники в цільовому застосуванні пристрою, досить широкі можливості до вдосконалення, налагодження системи і подальшого впровадження її в сферу конкурентоспроможних систем керування вантажними кранами.

В роботі виконані розділи з техніко-економічного обґрунтування, цивільної оборони, охорони праці та охорони навколишнього середовища.

Завдання до кваліфікаційної роботи виконано повністю.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ан Пей. Сопряжение ПК с внешними устройствами: Пер. с англ. – М: ДМК Пресс, 2003. – 320 с.
2. Голубцов М. С. Микроконтроллеры AVR: от простого к сложному – М.: Солон-Пресс, 2003.
3. Гук М. Аппаратные интерфейсы ПК. Энциклопедия – Спб.: Питер, 2002. – 528 с.
4. Зиновьев Г. С. Основы силовой электроники: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000. – Ч.1, 2 – 197 с.
5. Коновалов Г. Ф. Радиоавтоматика: Учеб. для вузов М.: Высш. шк., 1990. – 335 с.
6. Рябенский В. М. Анализ и синтез тиристорных систем управления электроприводами постоянного тока. Учебное пособие. – Николаев: НКИ им. адм. С. О. Макарова, 1982. – 65 с.
7. Технічна документація на мікроконтролер ATmega 8 з сайту www.atmel.com
8. Технічна документація на мікросхему FT232R з сайту www.ftdichip.com
9. Тревис Дж. LabView для всех: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. – 544 с.
10. Тубальцев А. М. Виробниче освітлення та його розрахунок.
11. Шпак Ю. А. Программирование на языке С для микроконтроллеров PIC и AVR К.: МК-Пресс, 2006. – 400 с.

					172.4397ст.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Текст програми на мові С для мікроконтролера АТmega8,
встановленого на USB-модуль

```
#include <iom16v.h>
#include <macros.h>
#define TR24_MODE_IDLE 0b1100
#define TR24_MODE_TX 0b1110
#define TR24_MODE_RX 0b1101
#define TR24_MODE_SLEEP 0b1000
#define TR24_MODE_POWERDOWN 0x0

extern char fget=0;
extern char channel=85;
extern char tr24Mode = 0;
extern char packetBuf[64];
extern char pktAck = 0;
extern char pktLen=31;
extern char date[8]={0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
void delay(int ms);
void init_cpu(void);
void reset_rmod(void);
char SPISend(char dta);
void reg_write(char reg_adr, char reg_h, char reg_l);
int reg_read(char reg_adr);
char modem_init(void);
void u_send( char data)
void TR24SetMode (unsigned char mode);

void delay(int ms)
{
    int c1, c2;
    for(c1=0;c1<ms;c1++)
    {
```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		


```

                                for(c2=0;c2<970;c2++) NOP();
                                }

                                }

void init_cpu(void)
{
    DDRA=0b11000000;
    DDRD=0b00000010;
    DDRB=0b10110001;
    PORTB|=0b00010001;
    SPCR=
(1<<SPE) | (1<<MSTR) /* | (1<<SPR1) | (1<<SPR0) */ | (1<<CPHA);
    UCSRB=0b10011000;
    UCSRC=0b00000110;
    UBRRL=51;
    UBRRH=0;
}

void reset_rmod(void)
{
    PORTB&=0b11111110;
    delay(2);
    PORTB|=0b00000001;
    delay(7);
    tr24Mode = TR24_MODE_IDLE;
}

char SPISend(char dta)
{
    SPDR=dta;
    while(!(SPSR & (1<<SPIF)));
    return SPDR;
}

void reg_write(char reg_adr, char reg_h, char reg_l)
{
    PORTB&=0b11101111;
    SPISend(reg_adr);
    delay(1);

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						104
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

        SPISend(reg_h);
        SPISend(reg_l);
        PORTB|=(0b11101111);
        delay(5);
    }

int reg_read(char reg_adr)
{
    char reg_h, reg_l;
    int reg16;
    PORTB&=0b11101111;
    SPISend(reg_adr|0x80);
    delay(1);
    reg_h=SPISend(0xFF);
    reg_l=SPISend(0xFF);
    PORTB|=(0b11101111);
    delay(5);
    reg16=reg_h;
    reg16=reg16<<8;
    reg16=reg16+reg_l;
    return reg16;
}

char modem_init(void)
{
    char regsBlock0[] ={//48-57
                                0x30,0x38,0x90,
                                0x31,0xFF,0x8F,
                                0x32,0x80,0x28,
                                0x33,0x80,0x06,
                                0x34,0x4E,0xF6,
                                0x35,0xF6,0xF5,
                                0x36,0x18,0x5C,
                                0x37,0xD6,0x51,
                                0x38,0x44,0x44,
                                0x39,0xE0,0x00};

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

char regsBlock1[] ={//00-28
                                0x09,0x30,0x03,
                                0x00,0x35,0x4D,
                                0x02,0x1F,0x01,
                                0x04,0xBC,0xF0,
                                0x05,0x00,0xA1,
                                0x07,0x12,0x09,
                                0x08,0x80,0x00,
                                0x0C,0x80,0x00,
                                0x0E,0x16,0x9B,
                                0x0F,0x90,0xAD,
                                0x10,0xB0,0x00,
                                0x13,0xA1,0x14,
                                0x14,0x81,0x91,
                                0x16,0x00,0x02,
                                0x18,0xB1,0x40,
                                0x19,0xA8,0x0F,
                                0x1A,0x3F,0x04,
                                0x1C,0x58,0x00}

char i, cnt;
int tmp1, tmp0;
char check0[30];
char check1[54];
reset_rmod();
for(i=0; i<30; i=i+3)
{
    reg_write(regsBlock0[i],
regsBlock0[i+1], regsBlock0[i+2]);
}
delay(7);
for(i=0; i<54; i=i+3)
{
    reg_write(regsBlock1[i],
regsBlock1[i+1], regsBlock1[i+2]);
}

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

delay(7);
for(i=0; i<54; i=i+3)
{
    tmp0=reg_read(regsBlock1[i]);
    tmp1=tmp0;
    check1[i]=regsBlock1[i];
    check1[i+2]=(char) tmp0;
    check1[i+1]=(char) (tmp1>>8);
}

delay(2);
for(i=0; i<30; i=i+3)
{
    tmp0=reg_read(regsBlock0[i]);
    tmp1=tmp0;
    check0[i]=regsBlock0[i];
    check0[i+2]=(char) tmp0;
    check0[i+1]=(char) (tmp1>>8);
}

cnt=0;
for(i=0; i<30; i++)
{
    if(check0[i]!=regsBlock0[i]) cnt++;
}

for(i=0; i<54; i++)
{
    if(check1[i]!=regsBlock1[i]) cnt++;
}

return cnt;
}

void u_send(char data)
{
    UDR=data;
    while(!(UCSRA&(1<<TXC)));
    UCSRA|=(1<<TXC);
}

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

    }

char u_read (void){

                                char qwr;
                                //while (!(UCSRA & (1<<RXC)));
                                qwr=UDR;
                                UDR=qwr;
                                return qwr;

}

void TR24SendBuf(char buf, unsigned char packetLen)
{
char i;
    if (tr24Mode!=TR24_MODE_IDLE)
        TR24SetMode(TR24_MODE_IDLE);
    reg_write(0x52, 0x80, 0x00);
    TR24SetMode(TR24_MODE_TX);
    pktAck=0;
    PORTB&=0b11101111;
    delay(1);
    SPISend(0x50);    //reg80
    SPISend(packetLen);    //длина пакета
    i=0;
    while (packetLen--)
    {
        SPISend(buf[i]);
        i++;
    }
    PORTB|=~(0b11101111);
}

unsigned char TR24ReadBuf(char buf, unsigned char
packetLenReq)
{
    unsigned char i;
    unsigned char packetLen;
    PORTB&=0b11101111;
    delay(1);

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

        SPISend(0x50|(1<<7));
        packetLen=SPISend(0xFF);
        i = SPISend(0xFF);
        PORTB|=~(0b11101111);
        return i;
    }
    unsigned char TR24GetMode()
    {
        unsigned int buf;
        buf= reg_read(0x40);
        buf = buf>>12;
        return (unsigned char)buf;
    }
    void TR24SetMode (unsigned char mode)
    {
        unsigned int regData;
        char regDataL, regDataH;
        switch (mode)
        {
            case TR24_MODE_SLEEP:
                regData=reg_read(48);
                regData|=1<<2;
                regDataH=(char) (regData>>8);
                regDataL=(char) (regData&0x00FF);
                reg_write(48,regDataH, regDataL);
                break;
            case TR24_MODE_IDLE:
                regData=reg_read(0x07);
                regData&=~((1<<7) | (1<<8));
                regDataH=(char) (regData>>8);
                regDataL=(char) (regData&0x00FF);
                reg_write(0x07,regDataH,regDataL);
                break;
            case TR24_MODE_TX:
                regData=(0x09<<9)+channel+(1<<8);

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

        regDataH=(char) (regData>>8);
        regDataL=(char) (regData&0x00FF);
        reg_write(0x07,regDataH,regDataL);
    break;
    case TR24_MODE_RX:
        if      ((tr24Mode!=TR24_MODE_IDLE)      &&
(tr24Mode!=TR24_MODE_RX))
        {
            regData=reg_read(0x07);
            regData&=~((1<<7) | (1<<8));
            regDataH=(char) (regData>>8);
            regDataL=(char) (regData&0x00FF);
            reg_write(0x07,regDataH, regDataL);
        }
        regData=(0x09<<9)+channel+(1<<7);
        regDataH=(char) (regData>>8);
        regDataL=(char) (regData&0x00FF);
        reg_write(0x07,regDataH,regDataL);
    break;
}
tr24Mode = mode;
}

void main()

{
    char ij=10;
    char err;
    init_cpu();
    delay(500);
    PORTA=0;
    err=modem_init();
    while(1)
        {
            while(!(UCSRA&(1<<RXC)));
            date[0]=u_read();
        }
}

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```
PORTB&=0b11101111;
delay(1);
PORTB|=~(0b11101111);
tr24Mode = TR24_MODE_IDLE;
TR24SendBuf(date[0],8);
while(((PINB>>2)&0x01)==0);
TR24SetMode(TR24_MODE_SLEEP);
ij++;
}
}
```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Текст програми на мові С для мікроконтролера АТмега8, встановленого на платі системи імпульсно-фазового керування двигуном

```
#include <iom8v.h>
#include <macros.h>
#pragma interrupt_handler u_read:12
void delay(int ms);
void init_cpu(void);
char u_read (void);
char alpha=10;
void delay(int ms)
{
    int c1, c2;
    for(c1=0;c1<ms;c1++)
        {
            for(c2=0;c2<97;c2++) NOP();
        }
}

void init_cpu(void){
    DDRB=0b00000110;
    DDRC=0b00000011;
    DDRD=0b11000000;
    PORTB=0;
    PORTC=0;
    PORTD=0;
    UCSRB = 0x00; //disable while setting baud rate
    UCSRA = 0x00;
    UCSRC = BIT(URSEL) | 0x06;
    UBRRL = 0x33; //set baud rate lo
    UBRRH = 0x00; //set baud rate hi
    UCSRB = 0xD8;
    //SEI();
    CLI();
```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

}
char u_read (void){
    alpha=UDR;
}
void main(void){
char alpha2=80;
init_cpu();
while(1){
if((UCSRA&(1<<RXC))) alpha2=UDR;
while(((PIND>>2)&0x01)==0);
if(alpha2<128){
alpha2=(100-alpha2);
delay(alpha2);
PORTB=0b00000110;
PORTC=0b00000010;
PORTD=0b00000000;
delay(2);
PORTB=0;
PORTC=0;
PORTD=0;
}
else {
alpha2=(alpha2-128);

alpha2=(100-alpha2);
delay(alpha2);
PORTB=0b00000000;
PORTC=0b00000100;
PORTD=0b11000000;
delay(2);
PORTB=0;
PORTC=0;
PORTD=0;
}
}
}

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

}

===

#include <iom16v.h>
#include <macros.h>
#define TR24_MODE_IDLE 0b1100
#define TR24_MODE_TX 0b1110
#define TR24_MODE_RX 0b1101
#define TR24_MODE_SLEEP 0b1000
#define TR24_MODE_POWERDOWN 0x0

extern char fget=0;
extern char channel=85;
extern char tr24Mode = 0;
extern char packetBuf[64];
extern char pktAck = 0;
extern char pktLen=31;
extern char ready=0;
extern char date[8]={0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};

void delay(int ms);
void init_cpu(void);
void reset_rmod(void);
char SPISend(char dta);
void reg_write(char reg_adr, char reg_h, char reg_l);
int reg_read(char reg_adr);
char modem_init(void);
void u_send( char datta);
void TR24SetMode (unsigned char mode);
unsigned char TR24ReadBuf(unsigned char packetLenReq);

void delay(int ms)
{
    int c1, c2;
    for(c1=0;c1<ms;c1++)
        {

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

                                for(c2=0;c2<970;c2++) NOP();
                                }

                                }

void init_cpu(void)
{
    DDRA=0b11111100;
    DDRD=0b10000010;
    DDRB=0b10110001;
    PORTB|=0b00010001;
    SPCR=
(1<<SPE) | (1<<MSTR) /* | (1<<SPR1) | (1<<SPR0) */ | (1<<CPHA);
    UCSRB=0b10011000;
    UCSRC=0b00000110;

    UBRRL=51;
    UBRRH=0;
}

void reset_rmod(void)
{
    PORTB&=0b11111110;
    delay(2);
    PORTB|=0b00000001;
    delay(7);
}

char SPISend(char dta)
{
    SPDR=dta;
    while(!(SPSR & (1<<SPIF)));
    return SPDR;
}

void reg_write(char reg_adr, char reg_h, char reg_l)
{
    PORTB&=0b11101111;
    SPISend(reg_adr);
    delay(1);

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

```

        SPISend(reg_h);
        SPISend(reg_l);
        PORTB|=(0b11101111);
        delay(5);
    }

int reg_read(char reg_adr)
{

    char reg_h, reg_l;
    int reg16;
    PORTB&=0b11101111;
    SPISend(reg_adr|0x80);
    delay(1);
    reg_h=SPISend(0xFF);
    reg_l=SPISend(0xFF);
    PORTB|=(0b11101111);
    delay(5);
    reg16=reg_h;
    reg16=reg16<<8;
    reg16=reg16+reg_l;
    return reg16;
}

char modem_init(void)
{
    char regsBlock0[] ={//48-57
                                0x30,0x38,0x90,
                                0x31,0xFF,0x8F,
                                0x32,0x80,0x28,
                                0x33,0x80,0x06,
                                0x34,0x4E,0xF6,
                                0x35,0xF6,0xF5,
                                0x36,0x18,0x5C,
                                0x37,0xD6,0x51,

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						116
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```
0x38,0x44,0x44,  
0x39,0xE0,0x00};
```

```
char regsBlock1[] ={//00-28  
0x09,0x30,0x03,  
0x00,0x35,0x4D,  
0x02,0x1F,0x01,  
0x04,0xBC,0xF0,  
0x05,0x00,0xA1,  
0x07,0x12,0x09,  
0x08,0x80,0x00,  
0x0C,0x80,0x00,  
0x0E,0x16,0x9B,  
0x0F,0x90,0xAD,  
0x10,0xB0,0x00,  
0x13,0xA1,0x14,  
0x14,0x81,0x91,  
0x16,0x00,0x02,  
0x18,0xB1,0x40,  
0x19,0xA8,0x0F,  
0x1A,0x3F,0x04,  
0x1C,0x58,0x00};
```

```
char i, cnt;  
int tmp1, tmp0;  
char check0[30];  
char check1[54];  
reset_rmod();  
for(i=0; i<30; i=i+3)  
{  
    reg_write(regsBlock0[i],  
regsBlock0[i+1], regsBlock0[i+2]);  
}  
delay(7);  
for(i=0; i<54; i=i+3)
```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

        {
            reg_write(regsBlock1[i],
regsBlock1[i+1], regsBlock1[i+2]);
        }
        delay(7);
        for(i=0; i<54; i=i+3)
        {
            tmp0=reg_read(regsBlock1[i]);
            tmp1=tmp0;
            check1[i]=regsBlock1[i];
            check1[i+2]=(char) tmp0;
            check1[i+1]=(char) (tmp1>>8);
        }
        delay(2);
        for(i=0; i<30; i=i+3)
        {
            tmp0=reg_read(regsBlock0[i]);
            tmp1=tmp0;
            check0[i]=regsBlock1[i];
            check0[i+2]=(char) tmp0;
            check0[i+1]=(char) (tmp1>>8);
        }
        cnt=0;
        for(i=0; i<30; i++)
        {
            if(check0[i]!=regsBlock0[i]) cnt++;
        }
        for(i=0; i<54; i++)
        {
            if(check1[i]!=regsBlock1[i]) cnt++;
        }

        TR24SetMode(TR24_MODE_RX);
        reg_write(0x52, 0x00, 0x80);
        TR24SetMode(TR24_MODE_IDLE);
        return cnt;

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						118
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

```

        }

void u_send(char datta)
{
    UDR=datta;
    while(! (UCSRA&(1<<TXC)));
    UCSRA|=(1<<TXC);
}

void TR24SendBuf(char buf, unsigned char packetLen)
{
    if (tr24Mode!=TR24_MODE_IDLE)
        TR24SetMode(TR24_MODE_IDLE);
    reg_write(0x52, 0x80, 0x00);
    TR24SetMode(TR24_MODE_TX);
    pktAck=0;
    PORTB&=0b11101111;
    delay(1);
    SPISend(0x50);    //reg80
    SPISend(packetLen);    //длина пакета
    SPISend(buf);
    PORTB|=~(0b11101111);
}

unsigned char TR24ReadBuf(unsigned char packetLenReq)
{
    unsigned char i;
    unsigned char packetLen;
    PORTB&=0b11101111;
    delay(1);
    SPISend(0x50|(1<<7));
    packetLen=SPISend(0xFF);
    if (packetLenReq && (packetLen!=packetLenReq))
    {
        return 0;    // packet length differs than the
requested
    }
    if (packetLen >63) //packet size overflow

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						119
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		


```

        {
            return 0;
        }
i=0;
while (packetLen--)
{
    date[i] = SPISend(0xFF);
    i++;
}
PORTB |= ~(0b11101111);
return packetLenReq;
}
unsigned char TR24GetMode()
{
    unsigned int buf;
    buf= reg_read(0x40);
    buf = buf>>12;
    return (unsigned char)buf;
}
void TR24SetMode (unsigned char mode)
{
    unsigned int regData;
    char regDataL, regDataH;
    switch (mode)
    {
        case TR24_MODE_SLEEP:
            regData=reg_read(48);
            regData|=1<<2;
            regDataH=(char) (regData>>8);
            regDataL=(char) (regData&0x00FF);
            reg_write(48,regDataH, regDataL);
            break;
        case TR24_MODE_IDLE:
            regData=reg_read(0x07);
            regData&=~((1<<7) | (1<<8));

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						120
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

        regDataH=(char) (regData>>8);
        regDataL=(char) (regData&0x00FF);
        reg_write(0x07,regDataH,regDataL);
break;
case TR24_MODE_TX:
    regData=(0x09<<9)+channel+(1<<8);
    regDataH=(char) (regData>>8);
    regDataL=(char) (regData&0x00FF);
    reg_write(0x07,regDataH,regDataL);
break;
case TR24_MODE_RX:
    if      ((tr24Mode!=TR24_MODE_IDLE)      &&
(tr24Mode!=TR24_MODE_RX))
    {
        regData=reg_read(0x07);
        regData&=~((1<<7) | (1<<8));
        regDataH=(char) (regData>>8);
        regDataL=(char) (regData&0x00FF);
        reg_write(0x07,regDataH, regDataL);
    }
    regData=(0x09<<9)+channel+(1<<7);
    regDataH=(char) (regData>>8);
    regDataL=(char) (regData&0x00FF);
    reg_write(0x07,regDataH,regDataL);
break;
    }
    tr24Mode = mode;
}

void main()

    {
        char err=0;
        init_cpu();
        delay(500);
        err=modem_init();
        delay(500);

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

PORTA=0x00;
while(1)
{
    PORTB&=0b11101111;
    delay(1);
    PORTB|=~(0b11101111);
    tr24Mode = TR24_MODE_IDLE;
    TR24SetMode(TR24_MODE_RX);
    while(((PINB>>2)&0x01)==0);
    TR24ReadBuf(8);
    PORTA=~(date[0]<<2);
    u_send(date[0]);
}
}

```

					172.4397ст.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						122
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ДОДАТОК В

Перелік елементів, використаних в принципових схемах

Умов. познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
<u>Діоди</u>			
VD1...VD16	Діод 1N4007	16	
<u>Кварцові резонатори</u>			
X1, X2	Кварц 8MHz	2	
<u>Конденсатори</u>			
C1	Конденсатор 470nF	1	
C2,C4	Конденсатор 1000mkF*35V(+)	2	
C3,C5,C16	Конденсатор 100nF	3	
C6,C17	Конденсатор 100mkF*16V(+)	2	
C7,C8,C18,C19	Конденсатор 12pF	4	
C9...C14	Конденсатор 220mkF*35V(+)	6	
C15	Конденсатор 10mkF*16V(+)	1	
<u>Мікросхеми</u>			
U1,U2	Мікроконтролер ATmega8	2	
U3	Мікросхема FT232R	1	
<u>Резистори</u>			
R1	Резистор 5Ом,5Вт	1	
R2	Резистор 5,6кОм	1	
R3, R6	Резистор 3кОм	2	
R4	Резистор 390Ом	1	
R5	Резистор 240Ом	1	
R7,R28, R29	Резистор 1кОм	3	
R8...R13	Резистор 5,4кОм	6	
R14...R19	Резистор 510Ом	6	
R20...R27	Резистор 220Ом	8	
R30	Резистор 10кОм	1	
<u>Роз'єми</u>			
J1	Роз'єм PLS-10	1	
J2,J3	Роз'єм PBS-10	2	
J4	Роз'єм USB	1	
<u>Тиристори</u>			
VS1...VS8	Тиристор КУ228И	8	
<u>Транзистори</u>			
VT1,VT8...VT13	Транзистор BC547C	7	
VT2...VT7	Транзистор TIP32C	6	