

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ  
АППАРАТУРИ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Лисенко О.М.  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект  
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(код та назва напрямку підготовки або спеціальності)

на тему Блок керування двигуном по положенню

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-41

Білаш Богдан Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник ст. викл. Антонюк О.І.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант

\_\_\_\_\_ (назва розділу)

\_\_\_\_\_ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант

\_\_\_\_\_ (назва розділу)

\_\_\_\_\_ (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ - 2018 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»**  
Факультет електроніки  
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр  
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Лисенко О.М.  
(підпис) (прізвище ініціали)  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на дипломний проект студенту**  
Білаша Богдана Олеговича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Блок керування двигуном по положенню  
керівник проекту Антонюк Олександр Ігорович, старший викладач  
затверджені наказом по університету від 23.03.2018 року №1008-с
2. Термін подання студентом проекту 12 червня 2018 року
3. Вихідні дані до проекту Пристрій являє собою моноблочну конструкцію, кліматичне виконання УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69. Пристрій повинен забезпечувати з'єднання з вимірювальним пристроєм, передача на нього керуючих сигналів, прийняття інформаційних сигналів, їх обробку та вивід на індикатор.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- аналіз технічного завдання;
- огляд існуючих засобів керування, патентний пошук;
- обґрунтування вибору елементної бази та друкованої плати;
- розробка схеми електричної принципової;
- розміщення компонентів на друкованій платі блока керування;
- конструкторсько-технологічні розрахунки;
- електричний розрахунок друкованої плати блока керування;
- розрахунок надійності друкованої плати блока керування;
- розрахунок віброміцності друкованої плати;
- проектування у Altium Designer;
- написання програми для керування;
- висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

- схема електрична принципова блока керування;
- друкована плата блока керування;
- складальне креслення друкованої плати блока керування.

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 2	Ільницький І.І. Провідний інженер		
Розділ 3	Адаменко І.О. Інженер з електроніки		

7. Дата видачі завдання 16.03.18

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	16.03.18-26.03.18	виконано
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	26.03.18-02.04.18	виконано
3	Схемотехнічне проектування	02.04.18-09.04.18	виконано
4	Виконання креслень схеми електричної принципової	09.04.18-23.04.18	виконано
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	23.04.18-30.04.18	виконано
6	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.18-07.05.18	виконано
7	Розрахунок віброміцності друкованої плати	07.05.18-14.05.18	виконано
8	Проектування у Altium Designer	14.05.18-21.05.18	виконано
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.18-28.05.18	виконано
10	Оформлення пояснювальної записки	28.05.18-12.06.2018	Виконано

Студент \_\_\_\_\_ Білаш Б.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту \_\_\_\_\_ АНТОНЮК О.І.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

# **Пояснювальна записка до дипломного проекту**

на тему: **Блок керування двигуном по положенню**

Київ – 2018 року

## ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, термінів .....	3
ВСТУП.....	4
Розділ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ПАТЕНТНИЙ ПОШУК ..	6
1.1. Аналіз механіки електроприводу .....	6
1.2. Вивчення аналогів .....	7
1.3. Виріб та обґрунтування елементної бази.....	9
Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ .....	144
2.1. Розробка структурної схеми та принцип роботи модулю .....	144
2.2 . Розробка та розрахунок схеми електричної принципової .....	166
Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ .....	244
3.1. Вибір типу, матеріалу друкованих плат .....	244
3.2. Вибір класу точності.....	25
3.3. Вибір методу виготовлення ДП.....	26
3.4. Розміщення компонентів та розводка ДП.....	27
3.5. Розробка блока керування у Altium Designer.....	28
Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ.....	322
4.1. Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів ДМ.	32
4.2. Електричний розрахунок ДП.....	37
4.3. Розрахунок надійності ДВ.....	39
4.4. Розрахунок віброміцності ДП.....	48
Розділ 5. ПРОГРАМУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ .....	52
5.1. Робота драйвера датчика кута. ....	52

					ДК4.1.468224.001 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата				
Розробив	Білаш Б.О.				Блок керування двигуном  по положенню.  Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Арк-ців
Перевірив	Адаменко І.О.						1	75
Реценз.	Танигін В.Ю.					НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», ФЕЛ, гр. ДК-41		
Н. Контр.	Лисенко О.І.							
Затвердив	Антонюк О.І.							

5.2	Робота контролера АЦП. ....	566
5.3	Робота контролера ШІМ .....	577
5.4.	Алгоритм роботи програми.....	58
	ВИСНОВКИ.....	644
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	666
	Додаток А .....	688
	Технічне завдання на проектування .....	688
	Додаток Б.....	73
	Додаток В.....	102
	Додаток Г.....	108
	Додаток Д.....	109

## Перелік скорочень, умовних позначень, термінів

МК – мікроконтролер

ДП – друкована плата

ДМ – друкований монтаж

ДВ – друкований вузол

ОП – операційний підсилювач

КЕ – конструктивні елементи

ПК – персональний комп'ютер

ПМ – посадкове місце

FPGA, ПЛІС – програмована логічна інтегральна схема

ШІМ, PWM – широтно-імпульсна модуляція

АЦП, ADC – аналогово-цифровий перетворювач

ФВЧ – фільтр високих частот

ФНЧ – фільтр низьких частот

ПВЗ – пристрій вибірки зберігання

ПК – персональний комп'ютер

ЖКІ – жидкокристалічний індикатор

EPCS - Electronic prescriptions for controlled substances

PLL – Phaze-locked loop

САПР – система автоматизованого проектування.

УГО – умовно-графічне зображення

ПЗ – програмне забезпечення



## ВСТУП

Двигуни призначені для перетворення будь-якої іншої енергії в механічну. Двигун повинен виконувати корисну роботу і відтворювати заданий закон руху виконавчих органів механізму. В залежності від призначення, конструктивних особливостей, двигун може розглядатися як система передачі і перетворення інформації, або як система електромеханічного перетворення енергії.

Електродвигун перетворює електричну енергію в механічну. Якщо розглядати двигун як систему передачі і перетворення інформації, то електродвигуни через свої властивості краще підходять для цієї ролі, ніж двигуни внутрішнього згорання.

Керування такими електродвигунами відбувається через збільшення або зменшення величини напруги, її полярності на трансформаторах, що обертаються.

**Метою даного проекту** є розроблення блока керування, який буде керувати електродвигуном за його положенням.

Для оптимального вирішення даного завдання розглянуто існуючі базові методи, покладені в основу даної апаратури.

В наш час немає певного універсального пристрою для керування. До того ж сфера застосування таких блоків дуже вузька, і має свої специфічні вимоги в залежності від умов використання. Електродвигун, для якого розроблюється блок керування, є основою для радіолокаційної станції. Так як даний пристрій призначений для вузьконаправленого застосовування, його необхідно тестувати в спеціальних лабораторних умовах. Звичайний блок керування може не мати всіх тих режимів, необхідних для тестування, або мати дуже великий спектр режимів, які не будуть застосовуватись, при цьому дорого коштувати.

**Практична новизна.** Прилад, що розробляється, має зчитувати дані трансформатора двигуна, що обертається, у аналоговому вигляді, перетворювати дані в цифровий вигляд, обробляти інформацію про кут повороту та величину

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		4

струму, що протікає у трансформаторі, та видавати її на дисплей. Оператор, за допомогою спеціальних клавіш виконує керування двигуном. Через натиск на кнопки, пристрій генерує ШІМ-сигнал, який змінює швидкість обертання двигуна, його напрямок. Заздалегідь знаючи, яким буде двигун, що тестується, обирається елементна база та обирається схемотехнічне рішення.

**Практичне значення.** Запропонований пристрій не можна назвати універсальним. Використовуватись даний пристрій буде лише в лабораторних умовах підприємства «Радіонікс», для якого він розробляється.

У роботі розглядається огляд існуючої апаратури, створення принципової схеми, вибір елементної бази, вибір друкованого вузла, розрахунки, що підтверджують правильність конструктивних рішень, проектування друкованої плати у Altium Designer, створення програми для програмованої логічної інтегральної схеми (ПЛІС), всередині якої знаходиться вбудоване процесорне ядро Nios II, синтезуються контролер АЦП та ШІМ-контролер.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		5

## Розділ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ ТА ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

### 1.1. Аналіз механіки електроприводу

Електроприводи використовуються для відтворення заданого закону руху виконавчих органів механізму(перша група), або для виконання цими органами корисної механічної роботи («силовий» привід, друга група).

До першої групи відносяться більшість позиційних приводів, приводи випробувальних і перевірочних стендів і іншого обладнання [1].

До другої групи відносяться головні приводи металорізальних станків, прокатних станків, насосів, вентиляторів і усіх інших механізмів і машин, призначених для перетворення механічної енергії в корисну роботу.

Але дуальність двох груп властива всім системам електроприводу. Це змушує одні з них розглядати як системи передачі і перетворення інформації, а інші – як системи електромеханічного перетворення енергії. Класифікацію електроприводів по цим властивостям вперше запропонував В.Г. Каган[2]. Таким чином, в першому випадку при конструюванні електроприводу основна увага приділяється на придання йому властивостей, які забезпечують якісне відтворення переданої інформації. При цьому в сталому режимі роботи встановлена потужність електродвигуна, як правило, не до кінця використовується. В другому випадку домінуюче значення має вибір необхідної потужності електродвигуна і інших елементів силового приводу.

Проте не слід розглядати електроприводи першої групи тільки як системи для відтворення інформації, базуючи всі розрахунки і досліді на положеннях теорії керування. Вочевидь, найдосконаліші керуючі пристрої не зможуть забезпечити заданий рух робочих органів виконавчого механізму, якщо він не забезпечений енергетично силовою частиною приводу.

Так само і головний привід металорізального станка при достатньому запасі потужності не зможе виконати своїх енергетичних функцій, якщо система керування не забезпечить заданих законів його руху. Таким чином, в приводі здійснюються складні взаємозв'язки між його інформаційною і енергетичною

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ доквм	Підпис	Да		6

частинами. Тому, приступаючи до проектування електроприводу, інженер кожен раз неоднозначно вирішує, яку долю уваги слід приділити розробці керування і яку енергетичній частині. Ті ж самі задачі неминуче вирішуються при його виготовленні, наладці та експлуатації.

Для основних різновидів електроприводів були запропоновані і різні системи їх класифікації: для силових приводів – В.К. Поповим, а для приводів відтворення руху – С.А. Ковчіним.

Різновид систем автоматичного керування (САК) містить взаємопов'язані інформаційні і енергетичні канали. Причому інформаційно-замкнута САК формує задані закони руху виконавчих органів. В той же час така САК може реалізувати і задані закони керування перетворенням енергії, якщо будуть належним чином змінюватися її компоненти.

## 1.2. Вивчення аналогів

Під час пошуків реалізації блоку керування в першу чергу необхідно було визначити, чи є певний пристрій для керування, який би задовольнив вимоги по керуванню двигуном по положенню.

Першим розглянутим патентом, який пропонує пристрій для керування серводвигуном є «Устройство для управления серводвигателем» 1967 року [3]. Номер патенту в базі СРСР – 191675. Даний патент пропонує керування через перемикаючий діод, який керується імпульсним трансформатором. Даний патент зовсім немає практичного значення в 2018 році, і був вибраний для ознайомлення з методами керування.

Другим розглянутим патентом є «Позиционный серводвигатель». Номер патенту в СРСР 1222907, 1986 року [4]. Порівнюючи його з попереднім патентом, серводвигун має в своєму складі цифрові логічні елементи АБО. Для керування двигуном використовуються дискретні керуючі сигнали Р1-Р3. Повний опис роботи пристрою можна прочитати в описі патенту. Але для даного

часу керування застаріло, сучасні можливості електроніки дозволяють більш ширше керувати серводвигуном за допомогою комп'ютерів, мікроконтролерів.

Третім розглянутим варіантом стала «Система автоматического управления сервоприводами» авторів Мірзаєв Р.А., Смірнов Н.А [5]. На жаль – цей виріб не є запатентованим. Даний пристрій запропоновано у 2014 році, що свідчить про його актуальність. Пристрій пропонує керувати серводвигунами за допомогою ШІМ-сигналів, які генеруються контролером через керуючі сигнали, які поступають з ПК до контролера.

Дослідивши третій варіант, було розглянуто його основну ідею, яка може бути застосована при проектуванні власного блока керування.

Перевагами є:

- Сучасність та актуальність методу керування;
- Застосування сучасної елементної бази: а саме ПК, мікроконтролерів;
- Завдяки сучасним компонентам підвищується надійність пристрою;
- Більш спрощений та автоматизований спосіб керування, порівнюючи з попередніми запропонованими методами, який має більш широкий спектр для керування двигуном.

Але при всьому цьому даний пристрій має наступні недоліки, які пропонується усунути пристроєм, який розробляється в дипломному проекті:

- Розглянутий пристрій періодично потребує підключення до ПК. Пристрій, що проектується, цю проблему усуває за рахунок того, що програма записується в пам'ять блоку і зберігається там;
- Розглянутий пристрій використовує зовнішній процесор. Пристрій, що проектується, використовує синтезований процесор, який можна в будь-який момент переконфігурувати.
- Пристрій, що проектується, оброблює не лише значення куту, а ще вимірює значення струму, має ширший діапазон керування.
- Розглянутий пристрій виступає як запропонований варіант, але не є запатентованим.

Дослідивши різні варіанти запатентованих та запропонованих пристроїв, було вирішено створити власний пристрій з нуля, який має свою структуру, будову та реалізацію.

### 1.3 Вибір та обґрунтування елементної бази

На пристрій поступає напруга живлення номіналом 5 В та 12 В, яка надходить з іншого, вже розробленого універсального блока живлення. Внутрішні компоненти блока керування споживають напругу номіналами 1,2 В, 2,5 В, 3,3 В. Тому необхідно перетворити вхідну напругу. Для цього використовуються перетворювачі напруги. Для перетворення напруги з 5 В в 2,5 В обирається мікросхема TPS79325, у якої вихідне значення напруги фіксоване і становить 2,5 В [6]. Вихідний струм мікросхеми становить 200 мА. Цей струм задовольняє характеристики ПЛІС.

У випадку з 1,2 В та 3,3 В, сімейство мікросхем TPS79325 не може видавати напругу 1,2 В ні у фіксованому ні у режимі підстроювання; також вихідного струму у 200 мА буде недостатньо у випадку з напругою 3,3 В. Тому прийнято рішення використовувати інший перетворювач напруги TPS62000[7]. Він може видавати вихідну напругу в діапазоні від 0,9 В до напруги живлення та струм 600 мА. Було вирішено використати дві мікросхеми для подачі на подальшу схему напругу номіналами 1,2 В та 3,3 В.

Основним компонентом блока є FPGA фірми Altera з вбудованим процесорним ядром Nios II. Для повноцінного вирішення задачі керування двигуном достатньо не дуже потужної мікросхеми, тому було вирішено обрати мікросхему EP3C25E144I7 [8]. Це пристрій сімейства Cyclone III, яка має вбудоване процесорне ядро. На даний момент сімейство Cyclone II вже вийшло з виробництва, а більш потужніші сімейства ставити немає сенсу, адже прогнозується використання дуже малої частини логічних елементів ПЛІС. З цих розмірковувань та доступних варіантів було обрано саме сімейство Cyclone III. Сама мікросхема виготовлена у QFP корпусі, має 144 контакти, з яких

універсальних контактів вводу/виводу, доступних користувачу, 83. Цієї кількості буде більше, ніж достатньо для забезпечення роботи блока.

Для конфігурації та застосування флеш-пам'яті було вирішено застосовувати EPCS-мікросхему EPCS16SI16N [9]. У ПЛІС є спеціальні контакти для роботи з даною мікросхемою, то їх потрібно просто з'єднати між собою. Під час пошуків було знайдено лише корпус з 16 контактами, з яких 8 ні до чого не приєднані. В умовах жорстких обмежень по площі, дана мікросхема не підійшла. Але для даного розроблюваного корпусу та габаритів плати можна встановити даний тип корпусу.

На блок керування поступає значення кута від датчика TS2640N691E125 [10]. Даний датчик є синусно-косинусним трансформатором. Необхідно обрати такий драйвер, який зможе генерувати гармонічні сигнали, які поступають до трансформатору, що обертається (резольверу), приймати значення синуса та косинуса цього сигналу, перетворювати їх в цифровий код та передавати дані до керуючого пристрою. Для цих цілей було обрано спеціально розроблений та виготовляємий фірмою Analog Devices перетворювач з опорним генератором AD2S1210 [11]. Дана мікросхема має вбудований програмний маятниковий генератор, який генерує синусоїдальну хвилю спеціально для резольверів. Генератором можна керувати програмно з центрального процесору, що дозволяє змінювати частоту генеруючого гармонійного сигналу. Вихідний сигнал представляється у вигляді 16-розрядного цифрового коду, який виходить з 16 контактів мікросхеми. Інформаційний сигнал, а також керуючі сигнали під'єднуються до універсальних контактів вводу / виводу FPGA.

Для перетворення аналогового значення струму у цифровий код необхідно використовувати АЦП. АЦП повинно мати малoshумну широку полосу пропускання, коротку затримку. Для передачі цифрового коду буде достатньо послідовний інтерфейс передачі даних. Виходячи з даних умов в якості АЦП було обрано AD7687BRMZ [12]. Даний АЦП генерує саме послідовний цифровий сигнал на своєму виході. Час перетворення аналогового сигналу в

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
Змн	Арк.	№ докum	Підпис	Да		10

цифровий згідно технічної документації складає до 2,2 мкс, а мінімальний період передачі одного розряду цифрового коду складає 15 нс. Згідно Рисунку 1.1, для передачі цифрового сигналу на вихідний контакт необхідно 17 тактів. Також необхідно 3 нс для встановлення роботи запису з падаючого фронту і час переходу вихідного контакту в низький режим. Для передачі даних з трьох послідовно включених АЦП максимально необхідний час становить 15 нс. В даному пристрої буде застосовуватися один АЦП. Сумарний час для передачі даних з АЦП складає  $17 \cdot 15 + 3 + 15 = 273 \text{ нс} = 0,273 \text{ мкс}$ . Отже, час передачі даних набагато менший за час перетворення аналогового сигналу в цифровий. Тому для цього достатньо використовувати послідовну передачу сигналу.

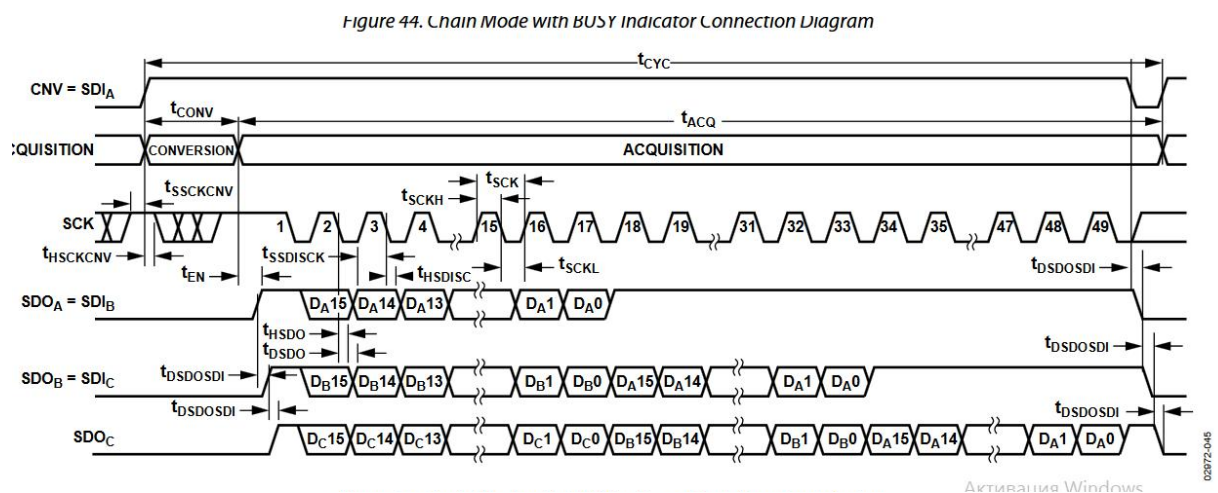


Рисунок 1.1 Часова діаграма АЦП.

Для забезпечення тактування в пристрої необхідно додати тактовий генератор. На вхід ПЛІС необхідно подавати базову тактову частоту, яка всередині завдяки PLL буде перетворюватися на іншу частоту. Проаналізувавши можливості перетворення PLL одних частот в інші було обрано за базову частоту 10 МГц. Тому для генерації цієї частоти було обрано компонент ECS-3963-100 [13]. Він працює на напрузі живлення 3,3 В, і генерує частоту 10 МГц. Сама мікросхема складається з 4 контактів: живлення, вихід, земля, дозвіл роботи. Генератор повинен генерувати тактовий сигнал весь час, незалежно від програми, тому контакт дозволу роботи необхідно під'єднати до живлення.



Для вихідного ШІМ сигналу важливо зберігати його форму при надходженні до двигуна. У зв'язку з тим, що пристрій, для якого розроблюється блок керування, працює в жорстких електромагнітних умовах, необхідно на цей пристрій подавати диференційні сигнали (так як саме вони використовуються в системі, для якої розробляється даний блок керування). Тому використовуються диференційні пари. Щоб з керуючого сигналу створити диференційну пару, вирішено використовувати мікросхему FIN1001 [14]. Мікросхема призначена саме для цієї задачі. Має 5 контактів: живлення 3,3 В, земля, вхідний сигнал, два вихідних диференційних сигнали.

Згідно ГОСТ 12.2.007-75, якщо напруга живлення більше 42 В, то роз'єм, який є джерелом, повинен бути типу «гніздо», а роз'єм, який є приймачем живлення повинен бути типу «вилка». В даному пристрої напруга живлення менше 42 В, тому немає різниці якого типу встановлювати роз'єми.

Всі типи роз'ємів, розташування сигналів та живлення на контактах узгоджується з приймаючим або передаючим пристроєм заздалегідь.

### **Висновок до розділу:**

Пристрій, що проектується повинен керувати двигуном по положенню. Двигун має працювати за заданим законом руху. Для керування двигуном необхідно знати значення його кута. Для цього було досліджено різну кількість існуючих патентних рішень керування серводвигуном. Зроблено висновок, що дана область керування двигуном по положенню не є досить вивченою, адже більшість знайдених патентних рішень є застарілими. У сучасних запропонованих варіантів керування двигуном є недолік в тому, що вони вимагають постійного контакту з ПК. Двигун, для якого розробляється блок керування, досліджується у лабораторних умовах, в яких знаходження ПК не є можливим. Виходячи з цього прийнято рішення розробити особливий блок керування двигуном в лабораторних умовах. Для керування на резольвері

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум	Підпис	Да		12

двигуна встановлюється датчик, який передає значення синуса та косинуса обертання кута обертання. Щоб отримувати інформацію з резольвера була обрана спеціальна елементна база. При її виборі враховувалися: спеціальне призначення певних мікросхем для зчитування даних в двигуна, а також масовість та популярність, ціна, постачання та можливість придбання на території України інших стандартного вжитку мікросхем. Вибір елементної бази виявився вдалим, в результаті чого стає можливим подальше проектування пристрою.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		13

## Розділ 2. СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми та принцип роботи модулю

Структура блока керування і його взаємозв'язок з установкою моделювання режимів роботи привода зображена на Рисунку 2.1.

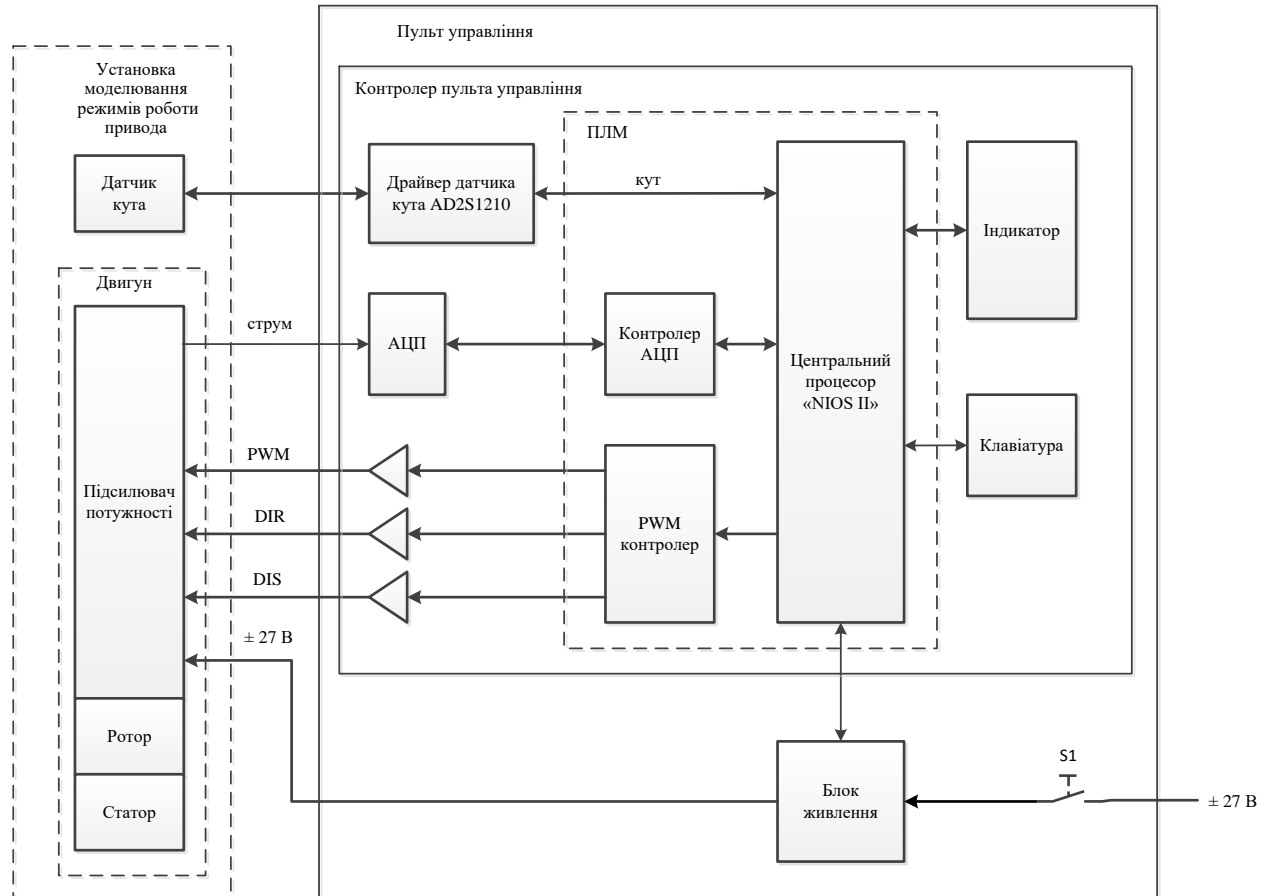


Рисунок 2.1 Структура блока керування

Блок керування складається з:

- FPGA, до складу якої входить центральний процесор Nios II, з синтезованим ШІМ-контролером та АЦП-контролером;
- Драйвер датчика кута;
- АЦП;
- Диференційні драйвери;
- Індикатор;
- Клавіатура.

Блок призначений для формування сигналів для випробуваного двигуна, вимірювання кутового положення ротора і струму двигуна.

В схемі вимірювання кута повороту ротора застосовується датчик TS2640N691E125, розташований безпосередньо на осі випробуваного двигуна і мікросхема перетворювача кут / код AD2S1210 в модулі керування. Виміряне значення кута повороту осі ротора двигуна надходить по паралельній 16-ти розрядній шині на цифровий контролер. Це значення відображається на індикаторі і використовується в алгоритмі формування керуючих сигналів на серводвигун (при виборі відповідного режиму роботи). Конструктивно, в двигуні застосовується датчик струму, вихідний сигнал якого надходить на схему вимірювання, що представляє собою 16-ти розрядний аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Для управління серводвигуном цифровий контролер формує і видає такі сигнали управління: PWM, DIR, DIS. PWM - це широтноімпульсний модульований сигнал, керуючий швидкістю обертання двигуна. DIR - сигнал вибору напрямку обертання. DIS - сигнал дозволу роботи двигуна. Функціонально, модуль управління двигуном імітує роботу бортового контролера платформи, замикаючи зворотний зв'язок по положенню від датчика кута повороту ротора відповідно до заданого режиму роботи. Інформація про струм і кутове положення двигуна виводиться на індикатор модуля. Додатково, забезпечується режим обмеження струму і кута повороту.

Схема індикації забезпечує візуалізацію заданого режиму роботи і значення наступних параметрів:

- максимально допустимого кута повороту ротора;
- максимально допустимого значення величини струму двигуна;
- номінального значення струму двигуна;
- поточного значення кута повороту ротора;
- поточного значення струму двигуна.

## 2.2 Розробка та розрахунок схеми електричної принципової

У дипломному проекті розглядається розробка друкованого вузла, який називається «Контролер модуля управління».

Схема контролера модуля управління живиться від 5В постійної напруги живлення. Напруга живлення номіналами 5 В та 12 В поступає з роз'єму XP12.

Для забезпечення напругою номіналами 1,2 В, 2,5 В, 3,3 В, розроблена схема перетворення вхідної напруги. Для формування напруги 1,2 В, 3,3 В використовується мікросхема TPS62000. Її підключення обрано згідно рекомендаціям технічної документації на дану мікросхему. На вході живлення мікросхеми додається керамічний конденсатор номіналом не менше ніж 10мкФ. Паралельно йому додано ще один конденсатор номіналом 0,1 мкФ. Таке рішення прийнято з загального досвіду, де якомога ближче до контакту мікросхеми ставиться керамічний конденсатор вказаного вище номіналу. Мікросхеми працюють в режимі підстроювання. З виходу контакту FB подається фіксована напруга 0,45 В. Вихідна напруга формується на ділянці, який складається з двох резисторів R60, R66 для DA5, та R61, R67 для DA7. Розрахунок виконується за формулою (2.1).

$$U_{out} = 0,45 * \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \quad (2.1)$$

Згідно технічної документації сума опорів для резисторів ділянки не повинна перевищувати 1 МОм. Для задання вихідної напруги 3,3 В було розраховано резистори R60 = 15 кОм, та R66 = 95,3 кОм. В результаті отримали вихідну напругу:

$$U_{out} = 0,45 * \left(1 + \frac{95300}{15000}\right) = 3,3 \text{ В}$$

Для забезпечення надійності згідно технічної документації потрібно додати шунтуючий конденсатор номіналом 220 пФ.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		16

Для задання вихідної напруги 1,2 В було розраховано резистори  $R_{61} = 100$  кОм, та  $R_{67} = 165$  кОм. В результаті отримали вихідну напругу:

$$U_{out} = 0,45 * \left(1 + \frac{165000}{100000}\right) = 1,2 \text{ В}$$

Для забезпечення надійності згідно технічної документації також додаємо шунтуючий конденсатор.

Для задання вихідної напруги 2,5 В використовується мікросхема TPS79325, яка видає фіксовану напругу номіналом 2,5 В. Схема її підключення та номінали конденсаторів обрано згідно технічної документації.

Для забезпечення послідовного подання живлення на ПЛІС сигнал готовності джерела живлення 1,2 В поступає на вхід дозволу роботи джерел живлення 2,5 В та 3,3 В. Ці рекомендації запропоновані виробником ПЛІС у технічній документації.

Для перевірки роботи напруги на початковому етапі налагодження плати додаються нульові резистори  $R_{69}$ - $R_{71}$ , які спочатку не впаюються, а після перевірки правильного перетворення напруг впаюються, тим самим з'єднуючи перетворювачі напруги з усією іншою схемою.

Результуюча схема для перетворення всіх трьох напруг зображена на Рисунку 2.2.

Основною складовою схеми є FPGA EP3C25E144I7 фірми Altera. Вона має 144 контакти. Для даного пристрою це більш ніж достатньо. Різні банки ПЛІС та її ядро живляться напругами 2,5 В, 3,3 В, 1,2 В. Усі сигнали до ПЛІС, окрім тактуючих, подаються на стандартні контакти вводу/виводу мікросхеми. На усі контакти живлення ставиться якомога ближче до корпусу конденсатор 0,1 мкФ, який підтягнутий до землі.

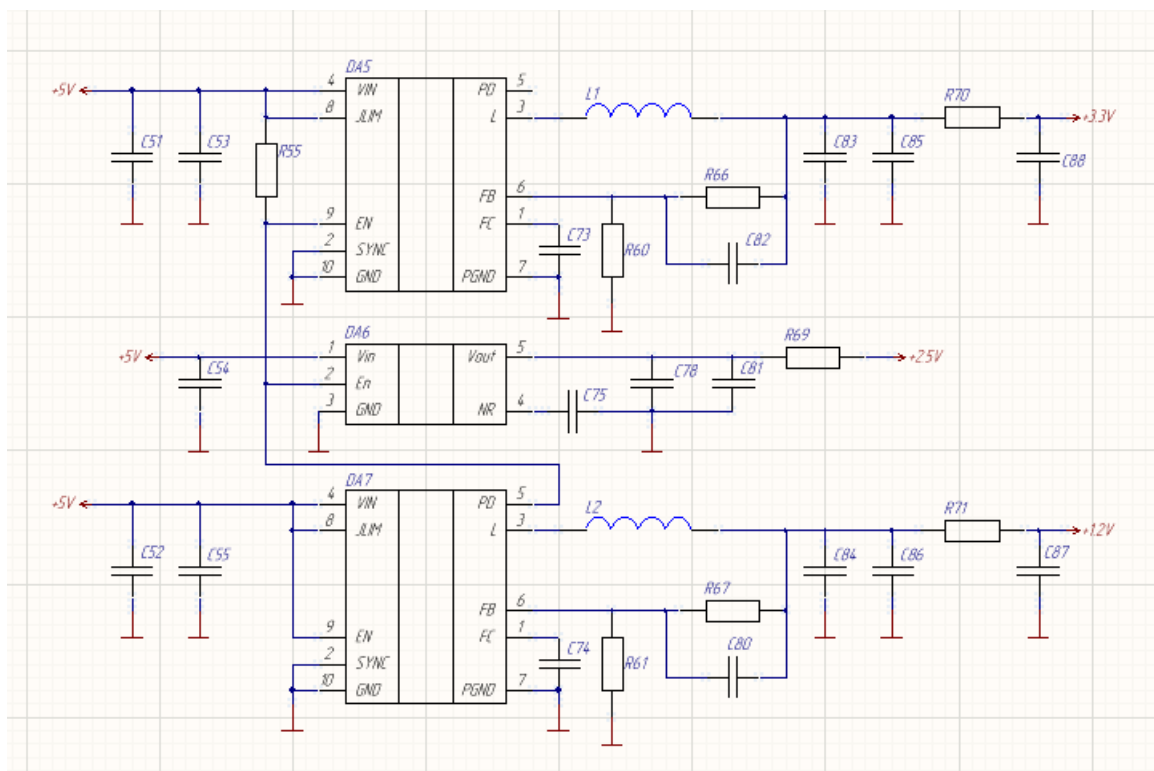


Рисунок 2.2. Схема перетворення вхідної напруги.

Це робиться для попередження імпульсів та шумів в ланцюгах живлення. Коли конденсатор ставиться біля контакту живлення будь-якої мікросхеми, то шлях провідника між контактом мікросхеми та конденсатором має свою паразитну індуктивність та опір, може створитись фільтр, який при високих частотах негативно впливає на роботу мікросхеми. В деяких випадках запобіжні конденсатори необхідно ставити на сам контакт мікросхеми. Це рекомендовано самими виробниками. У випадку з FPGA, Altera має рекомендаційні поради для правильного розташування компонентів на платі. Але для даного пристрою такі вимоги не критичні, тому конденсатори розташовано лише близько до контактів FPGA.

Надалі біля всіх контактів живлення та землі, керуючих контактів також будуть розташовуватися запобіжні конденсатори.

До ПЛІС безпосередньо під'єднується EPCS-мікросхема EPCS16SI16N. Між контактами для передачі даних ставиться невеликий фільтруючий резистор для зменшення крутизни фронту вихідних сигналів, тим самим зменшуючи

паразитні шумові перешкоди. Варіант розташування запобіжних конденсаторів береться згідно рекомендацій технічної документації, та розташовується біля контактів живлення.

З ПЛІС з'єднується драйвер датчика кута AD2S1210. Ця мікросхема приймає диференційні аналогові сигнали  $SIN$  та  $COS$ , які поступають з датчику кута. Між цими диференційними сигналами ставиться резистор узгодженого навантаження для поглинання енергії. По провідникам протікає струм, який у мікросхемі втікає мізерно малий. Для того, щоб струм не відбивався зворотно у провідник, то ставиться резистор, через який струм стікає до іншого провідника, тобто резистор знищує струм. Резистор ставиться номіналом 10 кОм не для хвильового опору, а як навантаження на резольвер відповідно з рекомендаціями по використанню резольвера.

На тактовий контакт ставиться резистор малого номіналу для відфільтровування перешкод у сигналі.

На виході мікросхема передає 16-бітний двійковий код, який передає до ПЛІС значення кута, а також керуючі сигнали. Також в залежності від команд процесора, драйвер видає гармончні сигнали  $EXC$  та  $\overline{EXC}$ . Ці задають опорну гармоніку для поворотного трансформатора (резольвера). Ці сигнали поступають на диференційний підсилювач THS4130IDGK [15], який також виступає як ФНЧ. Підсилювач живиться від 12 В, і подає сигнал такою амплітудою на резольвер. Так як датчик TS2640N691E125 має коефіцієнт трансформації  $0,5 \pm 10\%$ , то для того, щоб на вхід мікросхеми приходили сигнали  $SIN$  та  $COS$  належної амплітуди, плюс врахувавши втрати, було прийнято рішення використовувати саме 12 В як напругу живлення підсилювача. Мікросхема THS4130IDGK та під'єднані до неї резистори працюють як інвертуючий диференційний підсилювач, так як прямий вихід мікросхеми через зворотній зв'язок з'єднується з інверсним входом. Вихідна напруга інвертуючого диференційного підсилювача знаходиться за формулою (2.2):

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ доквм	Підпис	Да		19



$$V_{out} = -V_{in} \frac{R_2}{R_1} \quad (2.2)$$

У випадку з THS4130IDGK резистором  $R_2$  виступає резистор  $R_{44}$ , а резистором  $R_1$  виступає резистор  $R_{16}$ . Отже, вихідною напругою буде:

$$-5V \frac{51000}{24300} = 10,5V$$

Так як даний підсилювач виступає як фільтр, то фільтруючу роль в даному каскаді виконує ланцюг  $R_{26}, C_{21}$ . Частота зрізу знаходиться за формулою (2.3):

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.3)$$

Для даного елементу частота зрізу становитиме:

$$\frac{1}{2 * \pi * 1,13 * 10^3 * 6,8 * 10^{-12}} = 20,723 \text{ кГц.}$$

Згідно технічної документації на AD2S1210, дана мікросхема генерує гармонічні сигнали з частотою до 20 кГц.

Дане розташування пасивних елементів справедливо і для протилежного даному каскаду підсилювача.

Розташування елементів в такому порядку рекомендовано в технічній документації THS4130IDGK при використанні мікросхеми в даному режимі роботи.

До ПЛІС під'єднується АЦП. Його схема представлена на Рисунку 2.3.

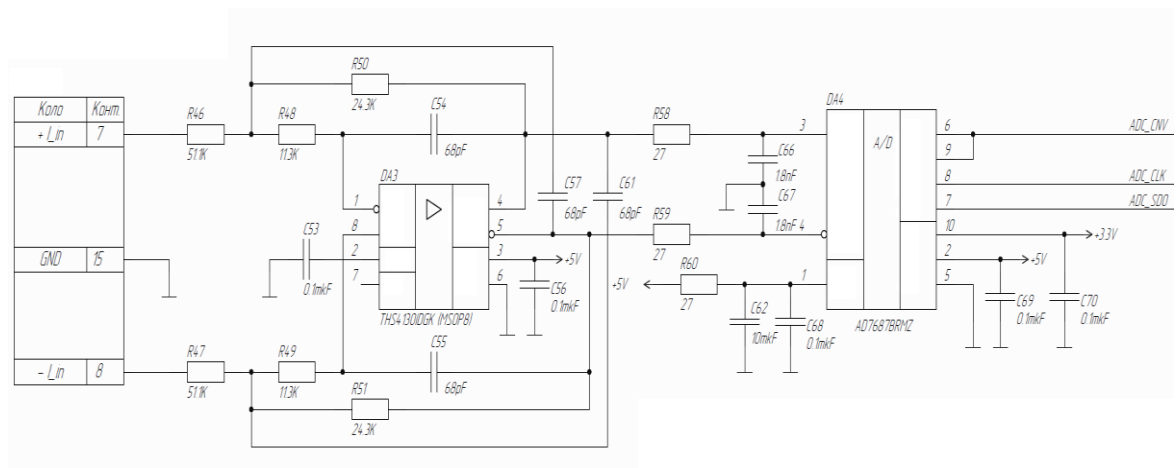


Рисунок 2.3. Схема підключення АЦП.

Схема складається безпосередньо з АЦП AD7687BRMZ. Даний компонент приймає аналоговий диференційний сигнал, та видає на ПЛІС послідовне 16-розрядне двійкове значення струму двигуна. АЦП певний проміжок часу зчитує значення струму, після чого передає на вихід його цифровий еквівалент. Зчитування значення струму відбувається по принципу ПБЗ: всередині АЦП є конденсатори, які заряджаються до певного значення, з якого потім отримують значення величини напруги, а відповідно і струму. Розмір конденсаторів дуже малий, тому необхідно подавати максимально точну величину струму на АЦП. Для цього застосовується вже згадана вище мікросхема диференційного підсилювача THS4130IDGK. Для цієї схеми на підсилювач подається напруга живлення 5 В, адже необхідно не підсилити, а повторити сигнал. Між підсилювачем та АЦП ставиться фільтр, який складається з резистору та конденсатору, який повинен бути на декілька порядків більше внутрішніх конденсаторів. Поки АЦП не заміряє значення струму, цей конденсатор заряджається. Під час замикання та замірювання АЦП даний конденсатор розряджається, швидко заряджаючи внутрішні конденсатори АЦП. Резистор потрібен для обмеження струму на шляху від підсилювача до АЦП. Зазвичай його значення береться до 1 кОм.

Тактовий генератор з'єднується через резистори малої величини (до 100 Ом) з тактовими входами ПЛІС. До входу живлення додаємо запобіжний конденсатор номіналом 0,1 мкФ.

Мікросхеми FIN1001 мають однаковий інтерфейс в своєму підключенні. Згідно технічної документації рекомендацій щодо підключення пасивних компонентів навколо мікросхеми немає. Тому вирішено поставити біля контакту живлення запобіжний конденсатор номіналом 0,1 мкФ. Між вихідними контактами ставиться резистор узгодженої напруги на 100 Ом.

Роз'єми M20-9770242 з'єднують центральний процесор зі світлодіодами та кнопками керування. У випадку з діодами транзистори [16] ставляться для того, щоб збільшити надійність пристрою, зменшити навантаження на джерело живлення ПЛІС, збільшити струм, яскравість світіння діода. Транзистор працює в ключовому режимі.

У випадку з кнопками використовується RC-ланцюг, який створює навмисні затримки у вузлі для зменшення впливу брязкоту контактів.

### **Висновок до розділу:**

На основі поставленого технічного завдання була розроблена структурна схема пристрою. Схема містить в собі структурні зв'язки блока керування з пристроєм, на яким виконується контроль, а також з іншими платами та елементами, необхідними для вимірювання та обробки даних з двигуна. Була виконана перевірка, чи задовольняє дана структурна схема усі вимоги до здійснення керування та слідкування за двигуном. Обравши елементну базу та опираючись на структурну схему була спроектована схема електрична принципова. При проектуванні схеми електричної принципової окремі каскади будувалися згідно рекомендації технічних документацій до мікросхем для найбільш коректної роботи. В каскадах, де було необхідно виконати розрахунок, були виконані розрахунки вихідної напруги перетворювачів напруги,

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		22

коефіцієнтів підсилення диференційного підсилювача, частоту зрізу ФНЧ. Результат розрахунків задовольняє вимоги ТЗ. Виходячи з власного досвіду, до всіх контактів живлення додавалися запобіжні конденсатори на 0,1 мкФ. У інформаційних ланцюгах, які виходять з контактів ПЛІС додавалися резистори номіналом не більше 100 Ом для створення спеціальної затримки сигналів. Це необхідно через те, що ПЛІС дуже швидко генерує фронти імпульсів, які, поступають до інших мікросхем, можуть некоректно ними сприйматись. Тому дана затримка дещо тормозе наростання фронтів. На входах диференційних сигналів мікросхем додавалися резистори, які поглинали хвильову енергію через стікання по черзі струму один на інший провідник, через що струм не відбивався з мікросхеми знову до сигнальних ланцюгів. Номінал резисторів вибирався згідно хвильовому опору провідників.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		23

## Розділ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ДРУКОВАНОГО ВУЗЛУ

### 3.1. Вибір типу, матеріалу друкованих плат

Для виготовлення пристрою було прийнято рішення про виготовлення 4-шарової друкованої плати. Таке рішення прийнято через певну кількість причин:

- Провідники живлення та сигнальні провідники мають знаходитись якомога далі одні від одних для зменшення електромагнітних завад, паразитних ємностей, індуктивностей. Для нейтралізації цих чинників було обрано рішення розмістити якомога більше сигнальних провідників на верхньому шарі ДП, а усі провідники живлення на третьому шарі. Другий шар відведено повністю для землі. Таким чином другий шар виступає «екраном» між різними типами провідників. Усі провідники, які не була змога розмістити на верхньому шарі, розміщувались на нижньому, але все одно окремо від провідників живлення.
- При використанні 4-шарової ДП відбувається оптимізація розміщення друкованих вузлів. Також такий підхід дозволяє створювати на шарі землі критично важливі окремі ділянки землі, які потім з'єднуються з загальному землею.
- Сучасні можливості в відношенні ціна/технологія дозволяють використовувати багатошарові ДП там, де раніше така можливість в порівнянні з двошаровою ДП могла коштувати набагато дорожче.

При нарощуванні кількості шарів рекомендується розділяти внутрішні шари землею для екранування. Для даного пристрою 4-шарової ДП буде повністю достатньо.

Виготовлення плати виконується на українському підприємстві «Гальванотехніка». Плата буде виготовлятися з матеріалу FR4-4-35-1,5. Даний матеріал є фольгованим склотекстолітом з підвищеною нагрівостійкістю, товщиною 1,5, мм, облицьований з двох зовнішніх та двох внутрішніх сторін мідною електролітичною фольгою товщиною 35 мкм.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
Змн	Арк.	№ докum	Підпис	Да		24

### 3.2. Вибір класу точності

Згідно ГОСТ 23571-86, існує 5 класів точності ДП (Таблиця 3.1). Клас точності повинен виходити з технології виробництва та застосованих компонентів. Підприємство «Гальванотехніка» має можливість виготовляти ДП до 5 класу точності включно.

Таблиця 3.1. - Номінальне значення основних розмірів для класу точності

Условное обозначение	Номинальное значение основных размеров для класса точности				
	1	2	3	4	5
b, [мм]	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
S, [мм]	0,75	0,45	0,25	0,15	0,1
b <sub>по</sub> , [мм]	0,3	0,2	0,1	0,05	0,025
K <sub>дт</sub>	0,4	0,4	0,33	0,25	0,2

В Таблиці 3.1 параметр b, [мм] - ширина друкованого провідника; S, [мм] – відстань між краями сусідніх елементів; b<sub>по</sub>, [мм] - гарантований поясок; K<sub>дт</sub> - відношення номінального значення діаметра найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати.

В умовах даного проекту 5 клас точності критично не потрібен. Даний пристрій має фіксовані габаритні розміри, які визначались виходячи з габаритних розмірів корпусу. Тому аналізуючи їх, надається можливість працювати на великій площині плати. Саме тому, мінімальна товщина провідників була обрана не 0,1 мм, що є мінімальним значенням для 5 класу точності, а 0,25 мм. Товщина плати складає 1,5 мм. Діаметр усіх перехідних отворів складає 0,75 мм. Виходячи з цього, відношення мінімального діаметра металізованого отвору до товщини плати складає 0,5. Товщина гарантованого пояску складає 0,225 мм, що майже в 10 раз більше за мінімальне значення 5 класу точності. Виходячи з усіх названих показників є можливість обрати 3 клас точності. Але відстань між краями сусідніх елементів не дозволяє використовувати цей клас. Мікросхеми, які були обрані, виготовляються в корпусі, для якого розрахована відстань між контактними майданчиками становить 0,2 мм. Тому необхідно використовувати 4 клас точності. Так як

параметри, наведені в Таблиці 3.1 є мінімальними, не має необхідності змінювати товщину провідників та діаметр перехідних отворів.

В результаті обрано 4 клас точності. Даний клас передбачає проведення провідників між контактними площадками SMD резисторів. Але дана можливість не використовувалась: простору ДП достатньо для проведення провідників без їх транзитного розміщення під компонентами.

### 3.3 Вибір методу виготовлення ДП

Підприємство «Гальванотехніка» виготовляє ДП комбінованим позитивним методом.

Комбіновані методи засновані на виготовленні ДП з фольгованих матеріалів. Провідники отримують хімічним методом, а металізацію отворів - хімічним або електрохімічним осадженням. Сутність комбінованих методів полягає в отриманні друкованих провідників шляхом травлення фольгованого діелектрика і металізації отворів електрохімічним способом. У позитивному методі травлення рисунку відбувається після металізації отворів, а для з'єднання металізованих отворів використовується ще не витравлена фольга, спочатку присутня на поверхні заготовки. Експонування рисунку схеми проводиться з фото позитиву. Після експонування проводиться свердління і металізація отворів. Потім рисунок схеми і металевий шар в отворах захищаються шаром гальванічного срібла або іншого металу, стійкого до рідини для травлення міді, після чого проводиться травлення незахищеної міді.

Переваги комбінованого позитивного методу:

- виключається можливість зриву контактних майданчиків під час свердління отворів;
- не потрібно застосування спеціальних контактуючих пристосувань при металізації отворів;

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		26

- знижується шкідливий вплив хімічних розчинів на ізоляційну основу і на міцність зчеплення фольги з основою плати.

### 3.4. Розміщення компонентів та розводка ДП

Розміщення компонентів було розпочато з розміщення на спеціально відведених для цього місцях деяких компонентів. Габаритні розміри плати та кріпильні отвори на початок розміщення та створення друкованої плати були вже відомі.

Компонентами, які були першими розміщені на платі, є ХР1 та ХР10. Виходячи з того, що вони є з'єднувальними елементами між пристроєм та зовнішніми блоками, у них заздалегідь було визначено розміщення та контактні майданчики. Також відносно визначеним місцем розміщення є місце для елемента ХР12. На даний роз'єм поступає 5 В та 12 В живлення від плати живлення, яка знаходиться в блоці керування біля плати керування. Тому їх зв'язок необхідно зробити максимально коротким. Біля роз'єму ХР1 розташовуємо три мікросхеми для диференційного перетворення сигналів. Так як в межах самої плати перешкоди не мають значного впливу, було вирішено розташувати диференційні перетворювачі не біля самих виходів з ПЛІС, а біля роз'єму. Це було зроблено через те, що біля самої ПЛІС немає багато вільного місця.

Біля роз'єму ХР10 розташовано мікросхему DA3, яка підсилює і фільтрує опорний гармонічний сигнал, що поступає на резольвер. Дана мікросхема живиться від 12 В, які поступають від заздалегідь визначеного і близько розташованого роз'єму ХР12. Далі в одній площині за ХР10 та DA3 розміщуємо драйвер датчика кута DA1. Розміщення необхідно було виконати в такому положенні, щоб сумарна довжина всіх провідників, які йдуть з драйвера до інших компонентів, була мінімальна.

Основна мікросхема FPGA розташувалась всередині ДП. При виводі провідників з неї була обрана стратегія розташовування компонентів, які



з'єднуються цими провідниками з FPGA, на тій стороні, з якої провідники виходять. Також усі інші роз'єми розташувалися з усіх 4 сторін по краям для більшої зручності.

Мікросхеми для перетворення живлення розташувались близько до роз'єму живлення 5 В. Була обрана область на ДП, де немає сигнальних провідників. В тій області відбувається перетворення напруги 5 В на інші напруги, і звідти ті напруги поширюються вже на 3 шари ДП для живлення інших компонентів

Усі інші компоненти розташовувались на вільних місцях ДП.

Усі конденсатори було розташовано якомога ближче до контактів мікросхем. У випадку з ПЛІС використовувався алгоритм створення перехідного отвору, на який з 3 шару поступає напруга живлення. На верхньому шарі цей перехідний отвір з'єднується з контактним майданчиком виводу мікросхеми, а на нижньому шарі перехідний отвір з'єднувався з конденсатором, який надалі під'єднувався до землі. Таким чином виникає ізольована від загального живлення ділянка, на якій конденсатор запобігав проходженню шумів до контакту мікросхеми.

Технології підприємства «Гальванотехніка» не дозволяють створювати перехідні отвори з одного певного шару на інший. Тому усі перехідні отвори йдуть наскрізь через 4 шари. Під час розводки ДП цей фактор теж враховувався.

Уся розводка ДП виконувалась повністю вручну, з урахуванням всіх вище сказаних умов, без застосування автоматичної розводки у САПР.

### **3.5 Розробка блока керування у Altium Designer**

Altium Designer - комплексна система автоматизованого проектування (САПР) електронних модулів на базі друкованих плат, яка дозволяє виконувати повний спектр проектних завдань, від концепції функціонування до випуску повного комплексу конструкторських і виробничих даних для випуску готової продукції електронних модулів.

Програма AD надає великі можливості для розробки електронних пристроїв. Під час написання дипломного проекту були розглянуті такі можливості програми:

- самостійне створення бібліотеки компонентів (додавання УГП і посадкового місця);
- створення принципової електричної схеми;
- трасування друкованої плати (ручне або автотрасування).

PCB Project – це набір документів, необхідний для виготовлення друкованої плати, данні котрої призначені для рішення однієї конструктивно-закінченої задачі. Документи представляють собою файли різних типів, котрі можуть додаватися в проект. Редагування документів виконується редактором, причому назва редактора співпадає з типом документу.

AD має готові бібліотеки компонентів. Але використання цих бібліотек є в загальному випадку неоптимальним у зв'язку з деякими недоліками:

- УГП компонентів не відповідає ГОСТ;
- Дана бібліотека містить в собі обмежену елементну базу відомих виробників.

Тому для оптимальної, правильної роботи в проектуванні друкованого вузла створюється бібліотека компонентів і моделі у відповідності до усіх вимог.

УГП і посадкові місця компонентів формуються у редакторі бібліотек (Library Editor). В середовищі AD є чотири типи бібліотек: символів, моделей, інтегровані бібліотеки, бази даних.

В кожному редакторі AD є свій набір інструментів і панелей для роботи. Основна панель, з якої виконується робота в редакторі схем є панель Libraries. AD ділить об'єкти, котрі є на полі електричної схеми на графічні та електричні.

До графічних відносять:

- Лінія;
- Дуга, еліптична дуга;
- Сплайн-лінія;

- Еліпс, окружність;
- Прямокутник, округлений прямокутник;
- Многокутник;
- Графік;
- Секторна діаграма.

До електричних об'єктів відносять:

- Лінії електричного зв'язку;
- Схемні компоненти;
- Лінії групового зв'язку у виді джгута;
- Лінії групового зв'язку;
- Ідентифікатори електричних кіл.

Процедура формування схеми насправді проста, і в загальному випадку представляє собою послідовне розміщення і з'єднання на листі електричних і графічних об'єктів.

Створення файлу плати може бути виконано вручну, а також за допомогою майстра PCB Board Wizard, котрий по послідовним етапам опитує інформацію про ДП, яка потім виражається у виді конструктивних правил і параметрів проектування. Під розробкою конструктивних параметрів розуміється етап розробки ДП від створення файлу плати до розміщення компонентів, котрі складаються з чотирьох кроків: формування контуру для ДП, описання стека слоїв, установки кріпильних отворів і визначення заборонених зон для трасування.

В AD задача інтерактивного трасування вирішується інструментом автотрасування, який знаходиться в меню AutoRoute. Автоматичне трасування окремих елементів дає не дуже задовільний результат, так як немає можливості налаштування її алгоритму, який може бути вказаний тільки для трасування всієї плати.

### Висновок до розділу:

В даному розділі обиралась ДП, на якій надалі будуть розміщуватись елементи. Виробництво плати виконується на підприємстві «Гальванотехніка» так як підприємство, для якого розробляється даний блок керування двигуном, замовляє виготовлення ДП саме на «Гальванотехніці». «Гальванотехніка» виготовляє свої плати на матеріалі FR-4, що є надійним та поширеним матеріалом, комбінованим позитивним методом. В цьому випадку опис та аналіз методів та матеріалу відбувався виходячи з можливостей та технологій підприємства а не навпаки. Розміри та форма ДП, розміщення роз'ємів, які з'єднують блок керування з зовнішніми пристроями, були узгоджені з конструкторами, які розробляють корпус, заздалегідь.

Виходячи з початкових умов, розташування компонентів відбувалось послідовно. ПЛІС також першою розташувалась всередині ДП для подальшого розташування зв'язаних компонентів з нею навколо неї. ДП має 4 шари. Основна кількість сигнальних провідників розташована на верхньому шарі, в той час як провідники живлення розташовувались на третьому шарі. Другий шар повністю виступає як загальна земля пристрою. Це виконано для екранування провідників живлення від сигнальних. Мікросхеми перетворення живлення розташувались в стороні від сигнальних провідників.

Усі запобіжні конденсатори було вирішено розміщувати на нижньому шарі через перехідний отвір до контактів живлення. Розміщення самих елементів виконувалось за алгоритмом якомога меншої довжини та максимально прямого розміщення провідників між FPGA та з'єднаних з нею компонентів. Зроблено висновок, що фінальне розміщення компонентів та трасування є вдалим.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		31

## Розділ 4. РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАВИЛЬНІСТЬ КОНСТРУКТОРСЬКОГО РІШЕННЯ

### 4.1 Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку елементів ДМ

#### 4.1.1. Визначення мінімальної ширини друкованого провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та землі.

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму  $b_{\min I}$  (мм) для ланцюгів живлення та «землі» визначається виразом 4.1:

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.1)$$

де  $I_{\max}$  – максимально можливий струм в ланцюгу, А

$j_{\text{доп}}$  – допустима щільність струму для ДП, яка виготовлена

комбінованим позитивним методом,  $j_{\text{доп}} = 48 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$

$t_{\text{пров}}$  – товщина друкованого провідника, яка визначається виразом (4.2)

Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{\text{пров}} = h_{\phi} + h_{\text{ГМ}} + h_{\text{ХМ}} \quad (4.2)$$

де  $h_{\phi}$  – товщина фольги,  $h_{\phi} = 0,035$  мм

$h_{\text{ГМ}}$  – товщина шара гальванічно осадженої міді,  $h_{\text{ГМ}} = 0,055$  мм

$h_{\text{ХМ}}$  – товщина шара хімічно осадженої міді,  $h_{\text{ХМ}} = 0,0065$  мм

$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965$  мм

Параметр  $I_{\max}$  в формулі (4.1) визначається як сума струмів, які споживають усі активні елементи схеми. Значення струмів, які споживають активні елементи схеми, наведені у Таблиці 4.1.

У результаті:

$$I_{\max} = 0,04 + 0,03 + 5 + 250 + 5 + 0,3 + 50 + 70 + 50 = 430 \text{ мА}$$

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та «землі» визначається наступним чином:

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,43}{48 \cdot 0,0965} = 0,09 \text{ мм}$$

Таблиця 4.1 - Струми, які споживають елементи схеми

IC	Кількість IC	I <sub>спож</sub> , мА
AD2S1210	1	0,04
AD7687	1	0,03
ECS-3963	1	5
EP3C25E144I7	1	250
EPCS16SI16N	1	5
FIN1001M5X	3	0,3
THS4130IDGK	2	50
TPS62000DGS	1	70
TPS79325	1	50

Отримане значення мінімальної ширини провідника  $b_{\min I} = 0,09$  мм входить в значення обраного 4 класу точності ( $b_{\text{пр}}^r = 0,15$  мм). Таким чином, оптимальна ширина провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та «землі» дорівнює розрахованому значенню.

#### 4.1.2. Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається (4.3):

$$b_{\min U} = \frac{p \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.3)$$

де  $p$  – питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом,  $p = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$L_{\text{пров}}$  – довжина найдовшого друкованого провідника ДП, +3,3 В,  $L_{\text{пров}} = 414$  мм.

$U_{\text{доп}}$  – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику,

$$U_{\text{доп}} = 0,05 \times E_{\text{п}},$$

$$U_{\text{доп}} = 0,05 \times 5 = 0,25 \text{ В}$$

$$L_{\text{пров}} = 0,414 \text{ м}$$

$$b_{\min U} = \frac{p \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,43 \cdot 0,414}{0,0965 \cdot 0,25} = 0,129 \text{ мм.}$$

#### 4.1.3. Визначення номінального діаметру монтажної отвору.

$$d \geq d_{\text{вз}} + \Delta d_{\text{мо}} + r, \quad (4.4)$$

де  $d_{\text{вз}}$  – діаметр виводу елементів, для якого визначається діаметр монтажної отвору,

$\Delta d$  – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО,  $\Delta d_{\text{мо}} = 0,1$  мм

$r$  – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента,  $r = 0,1 \dots 0,2$  мм

$$d \geq d_{\text{вз}} + \Delta d_{\text{мо}} + r = 0,5 + 0,1 + 0,2 = 0,8 \text{ мм}$$

#### 4.1.4. Визначення діаметра контактної площини.

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03, \quad (4.5)$$

де  $D_{\min 1}$  – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм,

$h_{\text{ф}}$  – товщина фольги,  $h_{\text{ф}} = 0,035$  мм. Коефіцієнт  $1,5h_{\text{ф}}$  враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину,  $0,03$  – КМ виготовляють комбінованим позитивним методом.

$$D_{\min I} = 2 \cdot (b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}}), \quad (4.6)$$

де  $d_{\max}$  – максимальний діаметр отвору в ДП, мм,

$b_{\text{по}}$  – ширина пояса КМ,  $b_{\text{по}} = 0,05$  мм (Таблиця 3.1),

$\delta_o$  – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС,  $\delta_o = 0,07$  мм

$\delta_{\text{км}}$  – похибка розташування центру КМ відносно вузла КС,  $\delta_{\text{км}} = 0,05$

Максимальний діаметр отвору ДП:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) \quad (4.7)$$

де  $d$ – номінальний діаметр МО, мм,

$\Delta d$ - допуск на діаметр отвору,  $\Delta d=0,05$  мм

$$d_{\max}=d+\Delta d+(0,1 \dots 0,15)=0,7+0,05+0,1=0,85 \text{ мм}$$

$$D_{\min I} = 2 \cdot \left( b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{КМ}} \right) = 2 \cdot \left( 0,05 + \frac{0,85}{2} + 0,07 + 0,05 \right) \\ = 1,19 \text{ мм}$$

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 1,19 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,27 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр КМ:

$$D_{\max} = D_{\min} + 0,02, \quad (4.8)$$

$$D_{\max} = 1,27 + 0,02 = 1,29 \text{ мм}$$

#### 4.1.5. Визначення мінімальної ширини провідника.

$$b_{\min} = b_{\text{пр}}^{\Gamma} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03, \quad (4.9)$$

де  $b_{\text{пр}}^{\Gamma}$ –мінімальна ширина провідника. Визначаємо з таблиці класів точності (Таблиця 3.1). Для 4-го класу точності ДМ  $b_{\text{пр}}^{\Gamma} = 0,15$  мм

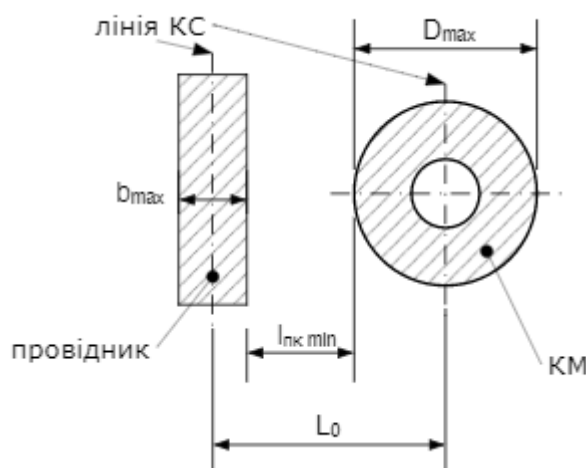
$$b_{\min} = b_{\text{пр}}^{\Gamma} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ мм}$$

Максимальна ширина провідника:

$$b_{\max} = b_{\min} + 0,02 \quad (4.10)$$

$$b_{\max} = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ мм}$$

#### 4.1.6. Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною.





$$l_{ПКМ\ min} = L_0 - \left( \frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right) \quad (4.11)$$

де  $L_0$  – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС,  $L_0=1,25$  мм (найгірший випадок).

$D_{max}$  - максимальний діаметр КП,

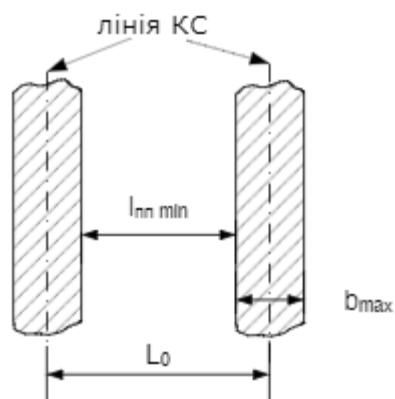
$b_{max}$  - максимальна ширина провідника,

$\delta_{км}$  - похибка розташування центра КП відносно вузла КС,  $\delta_{км}=0,05$

$\delta_{сп}$  - похибка, яка враховує зміщення провідника,  $\delta_{сп}=0,05$  мм

$$\begin{aligned} l_{ПКМ\ min} &= L_0 - \left( \frac{D_{max}}{2} + \delta_{км} + \frac{b_{max}}{2} + \delta_{сп} \right) \\ &= 1,25 - \left( \frac{1,29}{2} + 0,05 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,38 \text{ мм} \end{aligned}$$

#### 4.1.7. Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників).



$$l_{ПП\ min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сп}) \quad (4.12)$$

$$l_{ПП\ min} = L_0 - (b_{max} + 2 \cdot \delta_{сп}) = 1,25 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,9 \text{ мм}$$

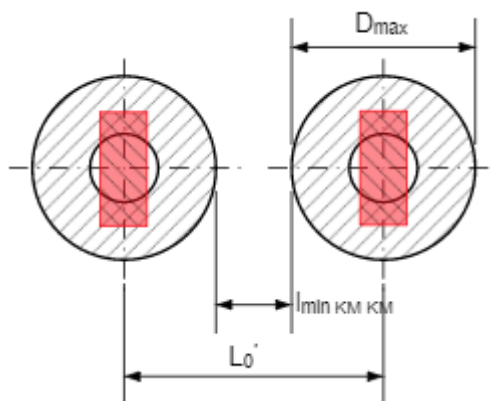
#### 4.1.8. Визначення мінімальної відстані між двох контактних площин.

$$l_{min\ КМ\ КМ} = L_{01} - (D_{max} + 2 \cdot \delta_{км}) \quad (4.13)$$

де  $L_{01}$  - відстань між центрами сусідніх КП,  $L_{01}=2,5$  мм.

$$l_{min\ КМ\ КМ} = L_{01} - (D_{max} + 2 \cdot \delta_{км}) = 2,5 - (1,29 + 2 \cdot 0,05) = 1,11 \text{ мм.}$$

Отримане значення задовольняє 4й клас точності.



**Висновок:** В даній роботі в першу чергу був обраний клас точності для проекту. Пристрій не вимагає певних специфічних умов виготовлення плати. Також 5 клас точності потребує додаткових фінансових витрат. Виходячи з цього був обраний 4 клас точності. Тому всі розрахунки ширини, діаметру доріжок, контактних площадок мають бути менші або такого значення, які подані для 4 класу. В розрахунках було отримано дані менші, що є добрим показником. Після того, як розрахунки підтвердили можливість використання 4 класу, було обрано матеріал для друкованої плати, FR4-4-35-1,5.

## 4.2. Електричний розрахунок друкованої плати

Розрахунок виконується за умов, що плата виготовлена комбінованим методом, згідно ГОСТ Р 50621-93.

### 4.2.1 Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику.

Падіння напруги на друкованому провіднику визначається:

$$U_{\text{пад}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} \quad (4.14)$$

де  $\rho$  - питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП,

$$\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$l_{\text{пр}}$  – максимальна довжина друкованого провідника,  $l_{\text{пр}}=0,414\text{м}$ .

$t_{\text{пр}}$  - товщина провідника,  $t_{\text{пр}} = 0,0965$  мм

$I_{\text{max}}$  – максимальний струм у провіднику,  $I_{\text{max}} = 430$  мА

$$U_{\text{пад}} = \frac{p \cdot I_{\text{max}} \cdot l_{\text{пр}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пр}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,43 \cdot 0,414}{0,25 \cdot 0,0965} = 0,129 \text{ В}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення ( $U_{\text{ж}} = 5$  В).

#### 4.2.2 Визначення потужності втрат друкованої плати.

Потужність втрат визначається:

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg} \sigma \quad (4.15)$$

де  $f=1$ , тому що розрахунок виконується на постійному струмі;

$\text{tg} \sigma$  – тангенс кута діелектричних втрат для матеріала ДП,  $\text{tg} \sigma = 0,002$  для матеріалу FR4;

$C$  – ємність ДП

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} \quad (4.16)$$

де  $\varepsilon$  – діелектрична проникність,  $\varepsilon = 4,5$  для FR4

$S_m$  - площа металізації,  $S_m = 552,96$  мм<sup>2</sup>

$h$  - товщина ДП, мм

$$C = \frac{0,009 \cdot \varepsilon \cdot S_m}{h} = \frac{0,009 \cdot 4,5 \cdot 552,96}{1,5} = 14,9 \text{ нФ}$$

$$P_{\text{пот}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot E_n^2 \cdot \text{tg} \sigma = 2 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 14,9 \cdot 10^{-9} \cdot 144 \cdot 0,002 = 26,95 \text{ нВт}$$

**4.2.3 Визначення ємності між двома сусідніми провідниками, які розташовуються на одній стороні ДП та мають однакову ширину.**

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} \quad (4.17)$$

де  $S$  – відстань між двома паралельними провідниками,  $S = 0,2$  мм;

$b_{\text{пр}}$  - ширина друкованого провідника, мм;

$t_{\text{пр}}$  - товщина друкованого провідника, мм;

$l_{\text{пр}}$  - довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, мм;

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{пр}} \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot S}{b_{\text{пр}} + t_{\text{пр}}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 4,5 \cdot 40 \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot 0,2}{0,25 + 0,0965} \right]^{-1} = 115 \text{ пФ}$$

#### 4.2.4 Визначення взаємної індуктивності двох паралельних провідників однакової довжини.

$$M = 0,02 \left( l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right) \quad (4.18)$$

де  $l_{\text{пр}}$  – довжина перекриття паралельних провідників,  $l_{\text{пр}}=4$  см;

$L_0$ -відстань між осьовими лініями двох паралельних провідників,  $L_0=0,125$  см;

$$M = 0,02 \left( l_{\text{пр}} \lg \frac{\sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}}}{L_0} - \sqrt{l_{\text{пр}}^2 - L_0^2} + l_{\text{пр}} \right) =$$

$$= 0,02 \left( 4 \cdot \lg \frac{\sqrt{16 - 0,0156} + 4}{0,125} - \sqrt{16 - 0,0156} + 4 \right) = 0,144 \text{ нГн}$$

**Висновки:** Отримано значення падіння напруги на найдовшому провіднику 0,129 В. Воно знаходиться дуже далеко від межі, що дорівнює 5% від напруги живлення. Потужність втрат дорівнює 26,95 нВт. Це незначна величина. Паразитна ємність (115 пФ) та індуктивність (0,144 нГн) не впливають на роботу друкованого вузлу.

#### 4.3 Розрахунок надійності друкованого вузла

Найбільш точна кількісна міра надійності кожного конструктивного елементу – його індивідуальне напрацювання до моменту виникнення відмови.

Важлива характеристика надійності - середній час безвідмовної роботи визначається:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}, \quad (4.19)$$

Інтенсивність відмов ЕРЕ є їх вихідною характеристикою надійності, залежить від режиму роботи та ступеню тяжкості таких зовнішніх впливів, як температура, тепловий удар, вологість, вібрації і т.д.

Тоді можна записати:

$$\lambda_e = \lambda_{oe} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n, \quad (4.20)$$

де  $\lambda_{oe}$  - інтенсивність відмов елементу при нормальних умовах роботи (температура навколишнього середовища  $T^{\circ}_{окр.ср} = 20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , відносна вологість  $65 \pm 15\%$ );

коефіцієнт електричного навантаження  $K_n = 1$ ,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_n$  - поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов ЕОА вводять коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаженню в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі:

$$K_n = \frac{H_{роб}}{H_{ном}}, \quad (4.21)$$

Коефіцієнт навантаження для резисторів

$$K_{н.р} = \frac{P_{роб}}{P_{ном}} = \frac{U_{роб}^2}{R \cdot P_{ном}}, \quad (4.22)$$

для конденсаторів

$$K_{н.с} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}}, \quad (4.23)$$

Розраховуємо коефіцієнти навантаження:

Резистори

$$U_{раб}^2 = 25, \quad P_{ном} = 0,125\text{Вт}$$

Таблиця 4.2 – Коефіцієнти навантаження резисторів

Номер	Опис	Коефіцієнт
R1,R2	R-0603 0,125 Вт 10 кОм 1% Yageo	0,02
R3	R-0603 0,125 Вт 27 Ом 1% Yageo	7,407407
R4	R-0603 0,125 Вт 100 кОм 1% Yageo	0,002
R5	R-0603 0,125 Вт 1 кОм 1% Yageo	0,2
R6	R-0603 0,125 Вт 100 кОм 1% Yageo	0,002
R7	R-0603 0,125 Вт 1 кОм 1% Yageo	0,2

Таблиця 4.2 (продовження)

R8	R-0603 0,125 Вт 100 кОм 1% Yageo	0,002
R9	R-0603 0,125 Вт 1 кОм 1% Yageo	0,2
R10,R11	R-0603 0,125 Вт 51 кОм 1% Yageo	0,003922
R12,R13	R-0603 0,125 Вт 11,3 кОм 1% Yageo	0,017699
R14,R15	R-0603 0,125 Вт 24,3 кОм 1% Yageo	0,00823
R16,R17	R-0603 0,125 Вт 51 кОм 1% Yageo	0,003922
R18	R-0603 0,125 Вт 100 кОм 1% Yageo	0,002
R19	R-0603 0,125 Вт 1 кОм 1% Yageonov	0,2
R20	R-0603 0,125 Вт 100 кОм 1% Yageo	0,002
R21	R-0603 0,125 Вт 1 кОм 1% Yageo	0,2
R22	R-0603 0,125 Вт 100 кОм 1% Yageo	0,002
R23	R-0603 0,125 Вт 1 кОм 1% Yageo	0,2
R24,R25	R-0603 0,125 Вт 51 кОм 1% Yageo	0,003922
R26,R27	R-0603 0,125 Вт 11,3 кОм 1% Yageo	0,017699
R28	R-0603 0,125 Вт 10к 1% Yageonov	0,02
R29-R36	R-0603 0,125 Вт 27 Ом 1% Yageo	7,407407
R37	R-1206 0,125 Вт 27 1% Yageo	7,407407
R38	R-0603 0,125 Вт 47 Ом 1% Yageo	4,255319
R39-R43	R-0603 0,125 Вт 27 Ом 1% Yageo	7,407407
R44,R45	R-0603 0,125 Вт 24,3 кОм 1% Yageo	0,00823
R46,R47	R-0603 0,125 Вт 47 Ом 1% Yageo	4,255319
R48,R49	R-0603 0,125 Вт 27 Ом 1% Yageo	7,407407
R50	R-0603 0,125 Вт 47 Ом 1% Yageo	4,255319
R51-R53	R-0603 0,125 Вт 100 Ом 1% Yageo	2
R54	R-1206 0,125 Вт 27 1% Yageonov	7,407407
R55	R-1206 0,125 Вт 47 кОм 1% Yageo	4,255319
R56	R-0603 0,125 Вт 10 кОм 1% Yageo	0,02
R57	R-1206 0,125 Вт 27 1% Yageo	7,407407
R58,R59	R-0603 0,125 Вт 10 кОм 1% Yageo	0,02
R60	R-1206 0,125 Вт 15 кОм 1% Yageo	0,013333

Таблиця 4.2 (продовження)

<i>R61</i>	<i>R-1206 0,125 Вт 100 кОм 1% Yageo</i>	<i>0,002</i>
<i>R62-R65</i>	<i>R-0603 0,125 Вт 10 кОм 1% Yageo</i>	<i>0,02</i>
<i>R66</i>	<i>R-1206 0,125 Вт 95,3 кОм 1% Yageo</i>	<i>0,002099</i>
<i>R67</i>	<i>R-1206 0,125 Вт 165 кОм 1% Yageo</i>	<i>0,001212</i>
<i>R68</i>	<i>R-0603 0,125 Вт 10 кОм 1% Yageo</i>	<i>0,02</i>
<i>R69-R71</i>	<i>R-1206 0,125 Вт 0 Ом 1% Yageo</i>	<i>0</i>
<i>R72-R75</i>	<i>R-0603 0,125 Вт 27 Ом 1% Yageo</i>	<i>7,407407</i>

Конденсатори:

$$U_{\text{ном}} = 50\text{В}$$

$$U_{\text{роб}} = 5\text{В}$$

Необхідно визначити результуючу інтенсивність відмов друкованого вузлу блока керування двигуном.

Друкований вузол відноситься до наземної апаратури, експлуатується при  $T_p = 25^\circ \text{C}$ , інші умови експлуатації нормальні.

Вихідні дані для розрахунку – схема принципова, перелік елементів, часова діаграма та інтенсивність відмов “компонентів надійності” від температурних впливів.

По картам робочих режимів необхідно визначити коефіцієнти навантаження, температурні коефіцієнти ІС та інших ЕРЕ, підрахувати кількість всіх елементів.

Вихідні дані для визначення  $\lambda_p$  зведені до Таблиці.4.4.

Таблиця 4.3. – Коефіцієнт навантаження конденсаторів.

Номер	Опис	Коеф.
С1-С7	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	0,1
С8,С9	С-0603 50 В 68 пФ 5% X7R Yageo	
С10	С-1206 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	
С11,С12	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	
С13	С-0603 50 В 68 пФ 5% X7R Yageo	
С14-С16	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	
С17	С-0603 50 В 68 пФ 5% X7R Yageo	
С18,С19	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	
С20	С-1206 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	
С21,С22	С-0603 50 В 68 пФ 5% X7R Yageo	
С23	С-1206 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	
С24- С26	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	
С27,С28	С-0603 50 В 1,8 нФ 5% X7R Yageo	
С29- С50	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	
С51,С52	С-1206 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	
С53- С77	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	
С78	С-1206 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	
С79	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	
С80	С-0603 50 В 220 пФ 5% X7R Yageo	0,1
С81	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	
С82	С-0603 50 В 220 пФ 5% X7R Yageo	
С83,С84	С-1206 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	
С85,С86	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	
С87- С90	С-1206 50 В 10 мкФ 5% X7R Yageo	
С91,С92	С-0603 50 В 0,1 мкФ 5% X7R Yageo	



Таблиця 4.4. – Карта робочих режимів елементів.

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-8},$ год <sup>-1</sup>	$K_H$	$a_t$	$a_e$	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_H \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-8}$
Конденсатор	92	2	0,1	0,4	20	147,2
Резистор						0
R1,R2	2	4	0,02	0,15	20	0,48
R3	1	4	7,407407	0,15	20	88,88889
R4	1	4	0,002	0,15	20	0,024
R5	1	4	0,2	0,15	20	2,4
R6	1	4	0,002	0,15	20	0,024
R7	1	4	0,2	0,15	20	2,4
R8	1	4	0,002	0,15	20	0,024
R9	1	4	0,2	0,15	20	2,4
R10,R11	2	4	0,003922	0,15	20	0,094118
R12,R13	2	4	0,017699	0,15	20	0,424779
R14,R15	2	4	0,00823	0,15	20	0,197531
R16,R17	2	4	0,003922	0,15	20	0,094118
R18	1	4	0,002	0,15	20	0,024
R19	1	4	0,2	0,15	20	2,4
R20	1	4	0,002	0,15	20	0,024
R21	1	4	0,2	0,15	20	2,4
R22	1	4	0,002	0,15	20	0,024
R23	1	4	0,2	0,15	20	2,4
R24,R25	2	4	0,003922	0,15	20	0,094118
R26,R27	2	4	0,017699	0,15	20	0,424779
R28	1	4	0,02	0,15	20	0,24
R29-R36	8	4	7,407407	0,15	20	711,1111

Таблиця 4.4. (продовження)

R37	1	4	7,407407	0,15	20	88,88889
R38	1	4	4,255319	0,15	20	51,06383
R39-R43	5	4	7,407407	0,15	20	444,4444
R44,R45	2	4	0,00823	0,15	20	0,197531
R46,R47	2	4	4,255319	0,15	20	102,1277
R48,R49	2	4	7,407407	0,15	20	177,7778
R50	1	4	4,255319	0,15	20	51,06383
R51-R53	3	4	2	0,15	20	72
R54	1	4	7,407407	0,15	20	88,88889
R55	1	4	4,255319	0,15	20	51,06383
R56	1	4	0,02	0,15	20	0,24
R57	1	4	7,407407	0,15	20	88,88889
R58,R59	2	4	0,02	0,15	20	0,48
R60	1	4	0,013333	0,15	20	0,16
R61	1	4	0,002	0,15	20	0,024
R62-R65	4	4	0,02	0,15	20	0,96
R66	1	4	0,002099	0,15	20	0,025184
R67	1	4	0,001212	0,15	20	0,014545
R68	1	4	0,02	0,15	20	0,24
R69-R71	3	4	0	0,15	20	0
R72-R75	4	4	7,407407	0,15	20	355,5556
<b>Кварцовий генератор</b>	1	4,6	0,8	1	20	73,6
<b>ІС</b>	13	1,17	1	1	20	304,2
<b>Друкована плата</b>	4	10	1	1	20	800
<b>Контакт роз'єма</b>	44	2	1	1	20	1760

Таблиця 4.4. (продовження)

<b>Пайка виводів</b>	291	0,05	1	1	20	291
<b>Транзистор</b>	3	16	1	1	20	960
<b>Перехідні отвори</b>	153	0,0375	1	1	20	114,75
	Сумарна інтенсивність відмов друкованого вузла					6841,448

В Таблиці 4.4:

$a_e$  – поправочний коефіцієнт на вплив зовнішніх впливів (для переносної апаратури  $a_e = 20$ ),

$a_t$  - поправочний температурний коефіцієнт.

Показники інтенсивності відмов, що наведені в таблиці, дещо завищені, що дозволяє виконати розрахунок для «найгіршого випадку».

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi}, \quad (4.24)$$

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 6841,448 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{6841,448 \cdot 10^{-8}} \approx 14617 \text{ год.}$$

Ймовірність безвідмовної роботи на протязі року:

$$P = e^{-\lambda_p t} = e^{-6841,488 \cdot 10^{-8} \cdot 8760} \approx 0,55$$

Ймовірність відмов на протязі року:

$$Q(t) = 1 - 0,55 = 0,45$$

Графік залежності безвідмовної роботи ДВ та ймовірність відмов ДВ від часу представлені на наступному графіку (Рисунок 4.1)

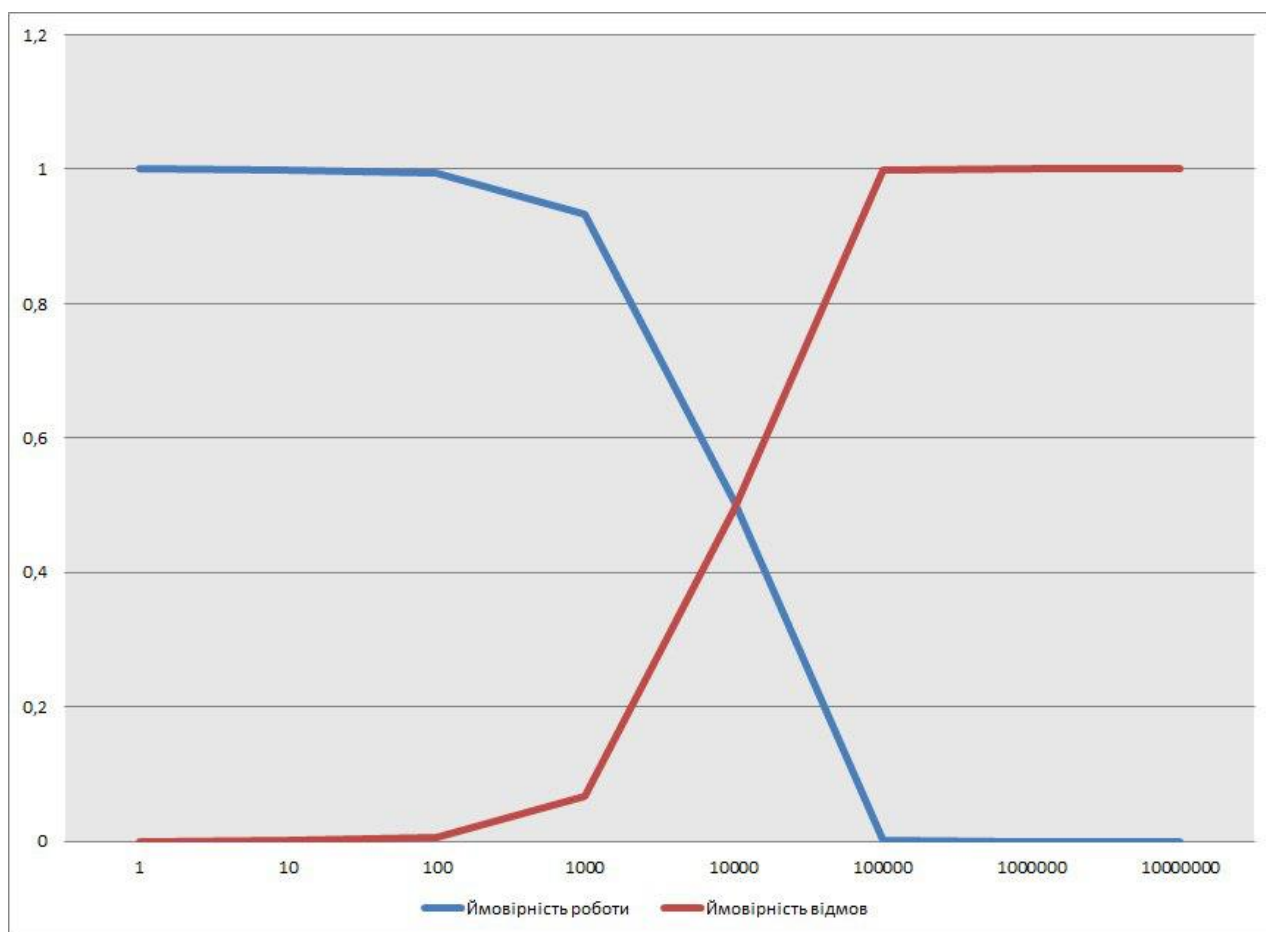


Рисунок 4.1. Графік залежності безвідмовної роботи ДВ і ймовірності відказу ДВ від часу.

Отримане значення напрацювання на відмову відповідає технічному завданню. З одного боку це за умови безперервної роботи, що на практиці для даного приладу не завжди можливо. З іншої сторони в цих теоретичних розрахунках не враховані такі фактори як старіння приладу, його знос і т.д..

#### 4.4 Розрахунок віброміцності друкованого вузла

Таблиця 4.5. - Маса елементів друкованої плати

Елемент	Позначення	К-ть	Маса, г	Загальна маса,г
Конденсатори	0603-X7R	80	0,02	1,6
	1210-X7R	12	0,07	0,84
Котушки індуктивності	74479762133	1	0,1	0,01
Мікросхеми	AD2S1210	1	0,181	0,181
	AD7687BRMZ	1	0,143	0,143
	ECS-3963	1	0,081	0,081
	EP3C25E144I7	1	1	1
	EPCS16SI16N	1	1	1
	FIN1001M5X	3	0,006	0,018
	THS4130IDGK	2	0,023	0,046
	TPS62000DGS	2	0,024	0,048
	TPS79325	1	0,006	0,006
Резистори	SMD 0,125 Вт 0603	64	0,02	1,28
	SMD 0,125 Вт 0805	11	0,07	0,77
	3361P-1-103GLF	1	0,567	0,567
Роз'єми	5747841-2	1	8	8
	A-DF 09 A/KG-T2S	1	7,8	7,8
	KLS1-207C-2-5-S1	1	0,5	0,5
	M20-9770242	9	0,114	1,026
	M80-5101042	1	1	1
Транзистори	BC846B	2	0,008	0,016
Загальна маса елементів, г				25,932

Визначимо віброміцність друкованої плати із склотекстоліту розміром  $a*b*\delta=120*100*1,5\text{мм}$ .

Вага елементів на платі 25,932г. Візьмемо вагу елементів з деяким запасом, так, що вона складатиме 30г. Параметри склотекстоліту : гранична пластичність  $\sigma_T = 105 \text{ МПа}$ , модуль Юнга  $E = 3,02 \cdot 10^{10} \text{ Па}$ , коефіцієнт Пуассона  $\mu = 0,22$ ,

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		48

показник затухання  $\varepsilon = 0,06$ , питома вага  $2050 \text{ кг/м}^3$ , питома щільність  $2,05 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ . Коефіцієнт перенавантаження  $n = 8$ , коефіцієнт запасу міцності  $n_1 = 2$ .

Варіанти закріплення друкованих плат:



Рисунок 4.2. Варіанти закріплення друкованої плати

Обраний тип закріплення – спирання на 4 сторони.

Розрахунки:

Визначимо масу друкованої плати і елементів:

$$m_n = a \cdot b \cdot \delta \cdot \rho = 0,12 \cdot 0,1 \cdot 0,0015 \cdot 2025 = 0,03645 (\text{кг}) = 36,45 (\text{г})$$

$$m_s = 30 (\text{г})$$

Визначимо коефіцієнт  $K_B$ :

$$K_B = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_{\mathcal{D}}}{m_{II}}}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{30}{36,45}}} = 0,74$$

Визначення коефіцієнт  $\alpha$ , враховуючи вибраний тип закріплення:

$$\alpha = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{a^2}{b^2}\right) = \pi^2 \cdot \left(1 + \frac{0,12^2}{0,1^2}\right) = 24$$

Визначимо циліндричну жорсткість  $D$ :

$$D = \frac{E \cdot \delta^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} = \frac{3,02 \cdot 10^{10} \cdot 0,0015^3}{12 \cdot (1 - 0,22^2)} = 8,9 \text{ (Н*м)}$$

Визначимо власну частоту коливань друкованої плати:

$$f_c = \frac{K_B \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot a^2} \cdot \sqrt{\frac{D \cdot g}{\nu \cdot \delta}} = \frac{0,74 \cdot 24}{2 \cdot \pi \cdot 0,12^2} \cdot \sqrt{\frac{8,9 \cdot 9,81}{2,05 \cdot 10^4 \cdot 0,0015}} \approx 330,9 \text{ (Гц)}$$

$f_c > 250$  Гц, тобто конструкція абсолютно жорстка.

### Висновок до розділу:

В даному розділі виконались розрахунки, які повинні підтвердити коректність роботи обраних елементів, виготовленої друкованої плати, правильність обраного класу точності.

Пристрій не вимагає певних специфічних умов виготовлення плати. Габарити плати та конструктивне розміщення елементів дозволяють застосовувати 3 клас точності. Але посадкові місця деяких компонентів, таких як FPGA мають відстань між контактними майданчиками 0,2 мм, що не дозволяє використовувати 3 клас точності. Оскільки 3 клас точності надає мінімальну відстань 0,25 мм. З цих міркувань був обраний 4 клас точності. Тому всі розрахунки ширини, діаметру доріжок, контактних площадок мають бути менші

або такого значення, які подані для 4 класу. Розрахункові значення отримано менші, що є добрим показником.

Отримано значення падіння напруги на найдовшому провіднику 0,129 В. Воно знаходиться дуже далеко від межі, що дорівнює 5% від напруги живлення. Потужність втрат дорівнює 26,95 нВт. Це незначна величина. Паразитна ємність (115 пФ) та індуктивність (0,144 нГн) не впливають на роботу друкованого вузлу.

Наступним було отримано значення напрацювання на відмову, яке відповідає технічному завданню. В результаті було розраховано, що пристрій може працювати 15000 годин. За умов, що блок керування використовуватиметься тільки в лабораторних умовах, цього значення буде достатньо, адже досягти такої кількості годин можливо за умови безперервної роботи, що на практиці для даного приладу не є можливо. З іншої сторони в цих теоретичних розрахунках не враховані такі фактори як старіння приладу, його знос і т.д.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		51



## Розділ 5. ПРОГРАМУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

### 5.1. Робота драйвера датчика кута.

Мікросхема AD2S1210 отримує дані з зовнішнього датчика кута. Цими даними є аналогові диференційні сигнали SIN, COS. Задача драйвера – представити ці аналогові сигнали у вигляді цифрових, та передати їх далі на FPGA до центрального процесору.

Мікросхема видає на шину даних паралельний цифровий 16 бітний сигнал. Отже, необхідно, щоб контролер видавав інформацію в паралельний порт.

Принцип формування сигналів синуса та косинуса з датчика кута зображений на Рисунку 5.1.

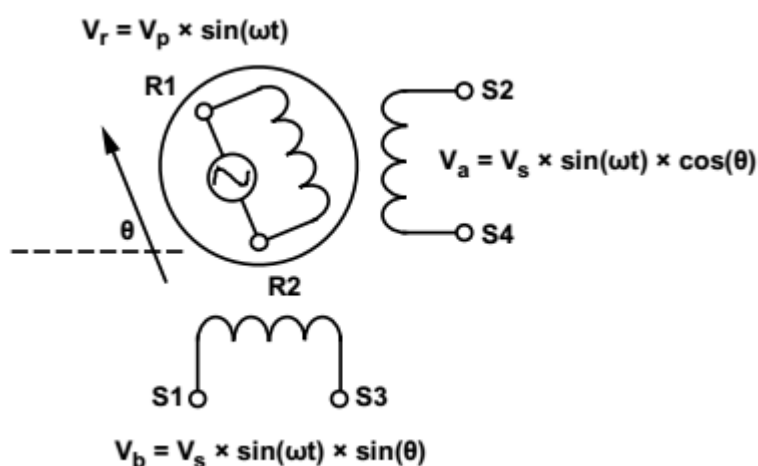


Рисунок 5.1. Принцип формування сигналів синусу та косинусу.

Для того, що правильно приймати та обробляти дані, що поступають на вхід драйверу, необхідно його запрограмувати. Мікросхема працює в двох режимах: режимі конфігурації та нормальному режимі. Режим конфігурації використовується для програмування регістрів, щоб установити частоту збудження, розрядність вихідних даних, порогову напругу, при якій буде працювати драйвер.

Частоту збудження розраховують за формулою (5.1).

$$Excitation\ Frequency = \frac{(FCW * f_{CLKIN})}{2^{15}} \quad (5.1)$$

Контролер має зчитувати кут з резольвера в розрядності 16 біт. Тому, згідно [11, Таблиця 7] обираємо максимальну частоту збудження 10кГц (Рисунок 5.2).

( $f_{CLKIN} = 8.192\text{ MHz}$ )

Resolution	Typical Bandwidth	Min Excitation Frequency	Max Excitation Frequency
10 Bits	4100 Hz	10 kHz	20 kHz
12 Bits	1700 Hz	6 kHz	20 kHz
14 Bits	900 Hz	3 kHz	12 kHz
16 Bits	250 Hz	2 kHz	10 kHz

Рисунок 5.2. Максимальна частота збудження

Керуючі сигнали A0, A1 необхідні для зчитування кута представлені на Рисунок 5.3.

A0	A1	Result
0	0	Normal mode—position output
0	1	Normal mode—velocity output
1	0	Reserved
1	1	Configuration mode

Рисунок 5.3 Керуючі сигнали A0, A1.

Керуючі сигнали *RES0*, *RES1* задають розрядність вихідного цифрового сигналу. Так як драйвер весь час працює з 16-розрядним числом, на ці входи постійно подається логічна «1» у вигляді напруги живлення 3,3 В.

Згідно карти регістрів необхідно обирати регістри, які необхідно запрограмувати, або з яких необхідно зчитати дані. Карта регістрів представлена на Рисунок 5.4.

Register Name	Register Address	Register Data	Read/Write Register
Position	0x80	D15 to D8	Read only
	0x81	D7 to D0	Read only
Velocity	0x82	D15 to D8	Read only
	0x83	D7 to D0	Read only
LOS Threshold	0x88	D7 to D0	Read/write
DOS Overrange Threshold	0x89	D7 to D0	Read/write
DOS Mismatch Threshold	0x8A	D7 to D0	Read/write
DOS Reset Max Threshold	0x8B	D7 to D0	Read/write
DOS Reset Min Threshold	0x8C	D7 to D0	Read/write
LOT High Threshold	0x8D	D7 to D0	Read/write
LOT Low Threshold	0x8E	D7 to D0	Read/write
Excitation Frequency	0x91	D7 to D0	Read/write
Control	0x92	D7 to D0	Read/write
Soft Reset	0xF0	D7 to D0	Write only
Fault	0xFF	D7 to D0	Read only

Рисунок 5.4. Карта регістрів драйверу кута.

Часова діаграма запису конфігурації драйверу зображена на Рисунку 5.5. Опис усіх операцій встановлення бітів описано в Додатку Б. Усі часові затримки для конфігурації контактів наведені в [11, Таблиця 2]. Після режиму запису конфігурації настає режим зчитування драйверу. Він зображений на Рисунку 5.6.

Після запису і зчитування, якщо немає критичних помилок, процесор переходить в нормальний режим зчитування даних з резольверу. До драйвера надходить інформація про позицію та швидкість. Часову діаграму програмування мікросхеми для режиму зчитування даних з резольверу представлено на Рисунку 5.7.

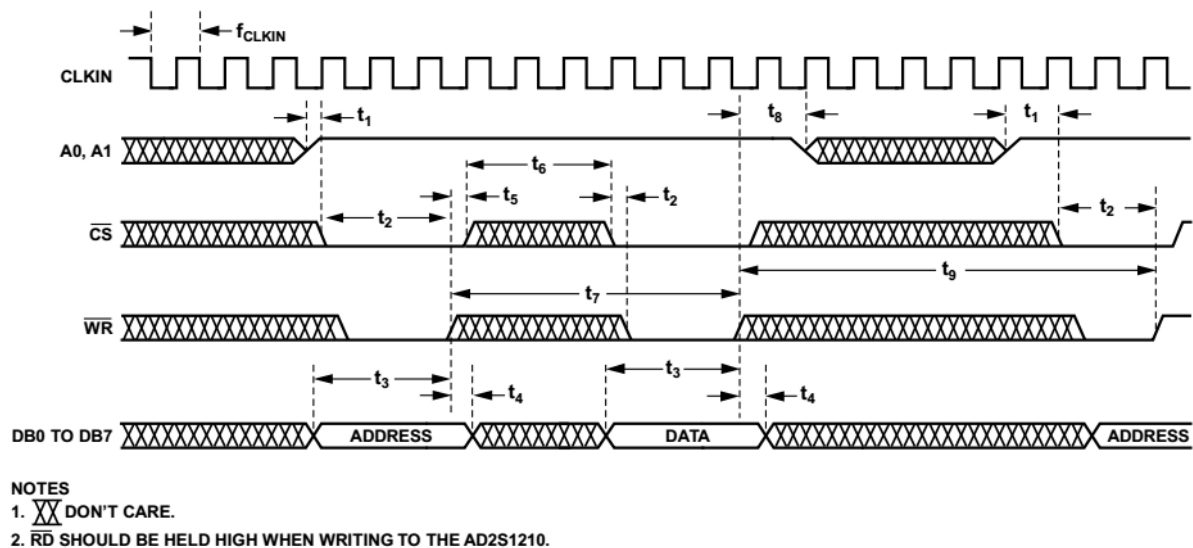


Рисунок 5.5. Конфігурація запису драйверу кута.

Для того, щоб перевірити коректність та правильність роботи драйверу, існує регістр збою. Він дає можливість перевірити вісім окремих умов. Перевіряючи цей регістр, можна визначити, де саме виникла та чи інша помилка. Описання регістру збою представлено на Рисунку 5.8.

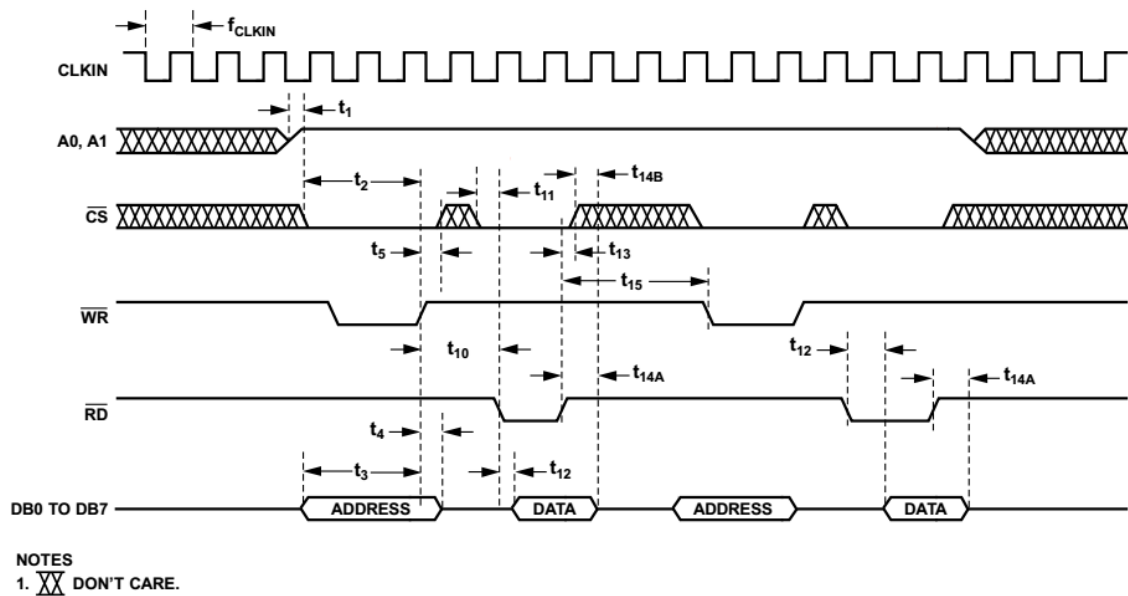
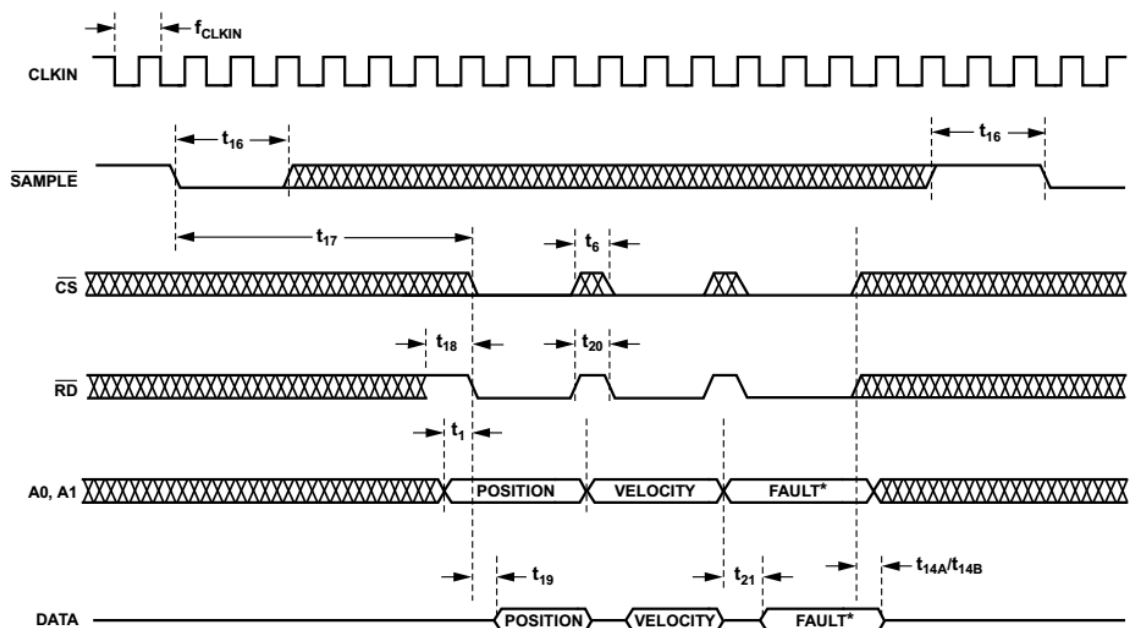


Рисунок 5.6. Конфігурація зчитування драйверу кута.

Дані поступають до FPGA, де надалі будуть оброблятися.



\*ASSUMES FAULT REGISTER ADDRESS WRITTEN TO PART BEFORE EXITING CONFIGURATION MODE.

NOTES  
1. **XX** DON'T CARE.

07487-029

Рисунок 5.7. Зчитування даних з резольверу.

Bit	Description
D7	Sine/cosine inputs clipped
D6	Sine/cosine inputs below LOS threshold
D5	Sine/cosine inputs exceed DOS overrange threshold
D4	Sine/cosine inputs exceed DOS mismatch threshold
D3	Tracking error exceeds LOT threshold
D2	Velocity exceeds maximum tracking rate
D1	Phase error exceeds phase lock range
D0	Configuration parity error

Рисунок 5.8. Регістр збою.

## 5.2 Робота контролера АЦП.

АЦП передає дані про струм двигуна у вигляді двійкового послідовного сигналу. Контролер перетворює цей сигнал в 16-розрядний паралельний код та передає їх до центрального процесора. Основу контролера складає машина станів, написана на мові Verilog.

Згідно часової діаграми (Рисунок 5.9), коли CNV=0 і SDI=0, то SDO=0. Коли SDI=0, а SCK йде в одиницю, то по передньому фронту CNV ініціалізує вимірювання. Коли почалось вимірювання, CNV повинен триматися в одиниці на протязі всього вимірювання. Тільки після вимірювання можна опустити CNV. Дані записуються у внутрішній зсувний регістр, далі виштовхуються по спадаючому фронту SCK. Для повної передачі даних потрібно 16+1 спадаючих фронтів SCK.

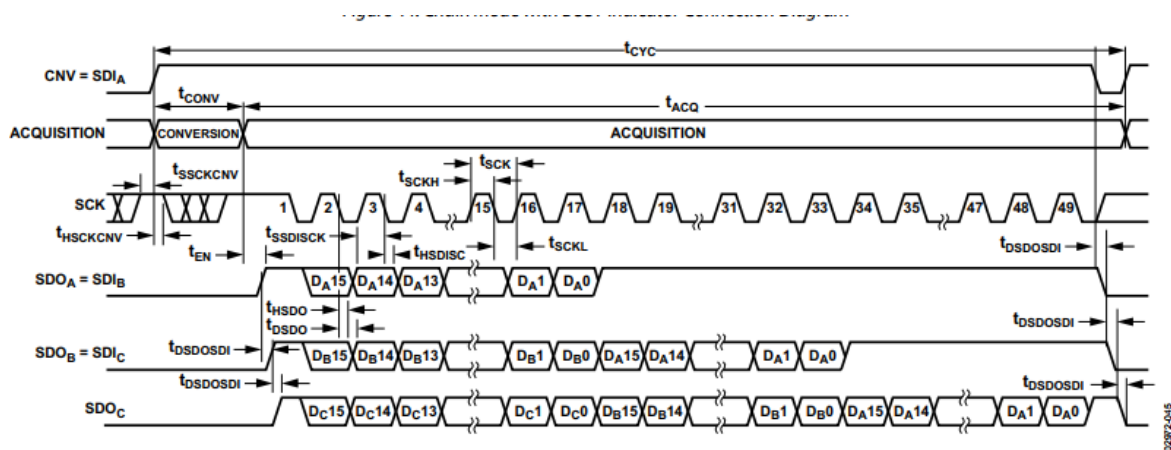


Рисунок 5.9. Векторна діаграма роботи АЦП.

### 5.3 Робота контролера ШІМ

ШІМ-сигнал формується драйвером, який синтезується всередині FPGA.

Вхідна частота драйвера складає 60 МГц. Частота ШІМ розраховується за формулою (5.2):

$$30\text{кГц} = \frac{clk}{pwn\_in} \quad (5.2)$$

Драйвер керується 12-бітним сигналом, який задає протяжність меандру ШІМ-сигналу.

На вхід драйвера поступають величина струму з АЦП, та максимальна величина струму, задана оператором. Якщо величина струму з АЦП перевищує задану максимальну величину струму, ШІМ блокується, і з контакту OFF поступає сигнал, який вимикає двигун.

Старший розряд вхідного сигналу Pwm\_in задає напрямок руху двигуна. Якщо «1», то вихідний сигнал, який задає напрямок руху двигуна  $DIR = 1$ , і двигун рухається за годинниковою стрілкою. Якщо «0», то вихідний сигнал, який задає напрямок руху двигуна  $DIR = 0$ , і двигун рухається проти годинникової стрілки.

Молодші 11 розрядів задають скважність ШІМ по модулю.

Значення вихідного сигналу з драйвера формується порівнянням між собою заданої константи для величини ШІМ і лічильника. Програма для реалізації ШІМ надана в Додатку Б.

#### **5.4. Алгоритм роботи програми.**

Алгоритм роботи основної програми представлений на Рисунку 5.10.

Алгоритм функції «Формування режиму» представлений на Рисунку 5.11.

Алгоритм функції «Налаштування кута повороту» представлений на Рисунку 5.12.

Алгоритм функції «Налаштування струму двигуна» представлений на Рисунку 5.13.

Усі коди програм, які реалізують ці алгоритми, надано у Додатку Б.

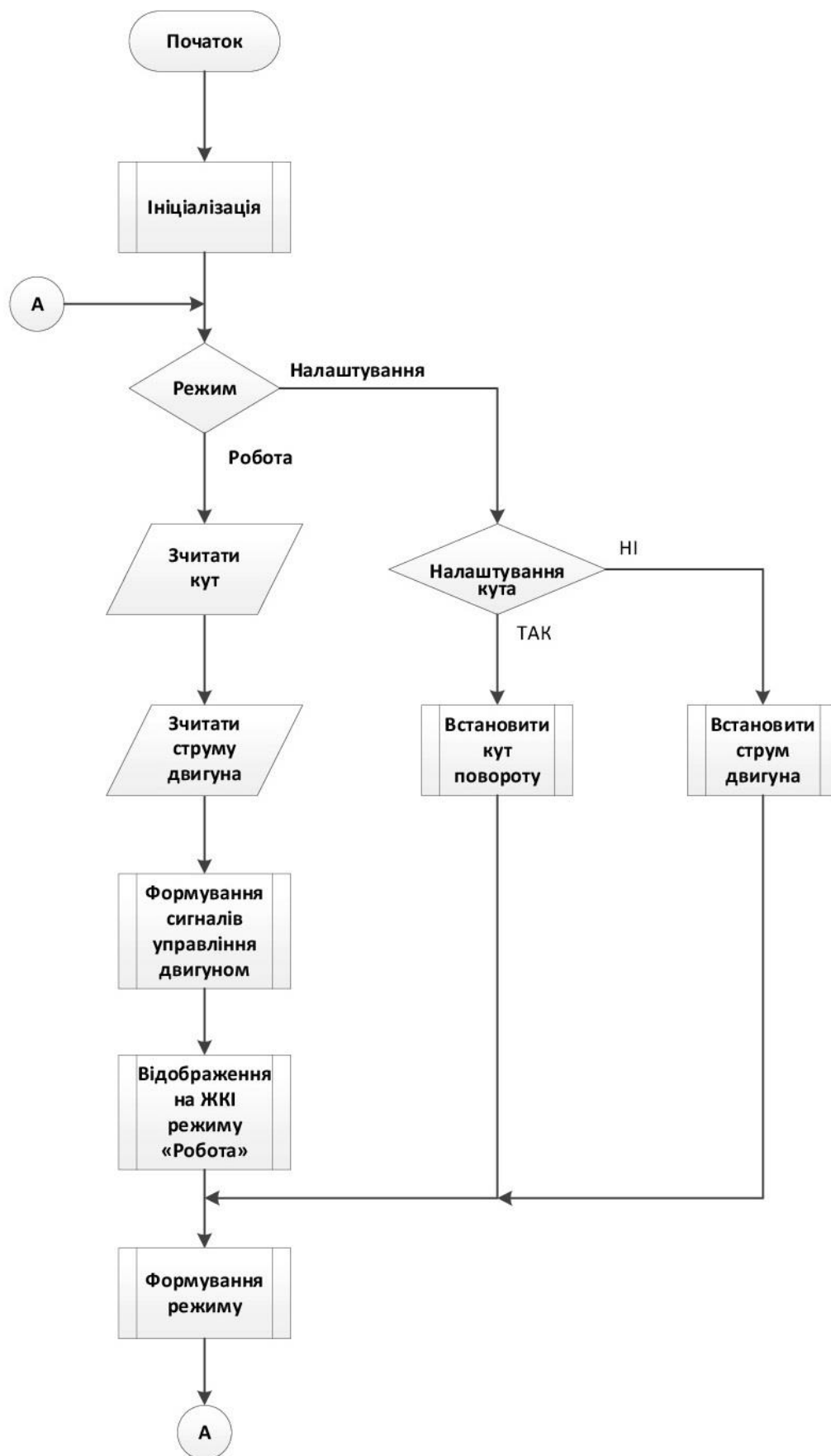


Рисунок 5.10 Алгоритм роботи основної програми.



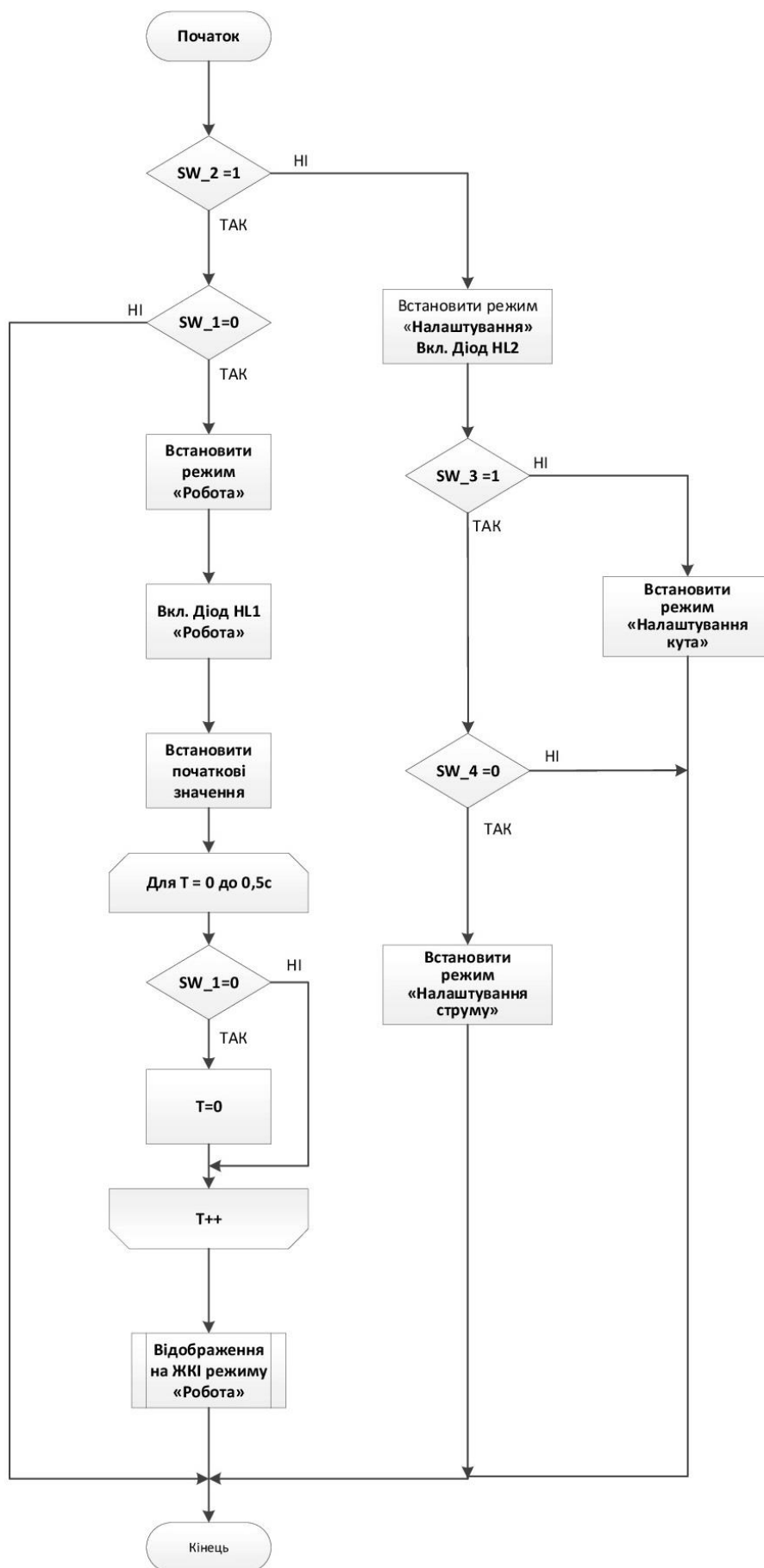


Рисунок 5.11. Алгоритм функції «Формування режиму».

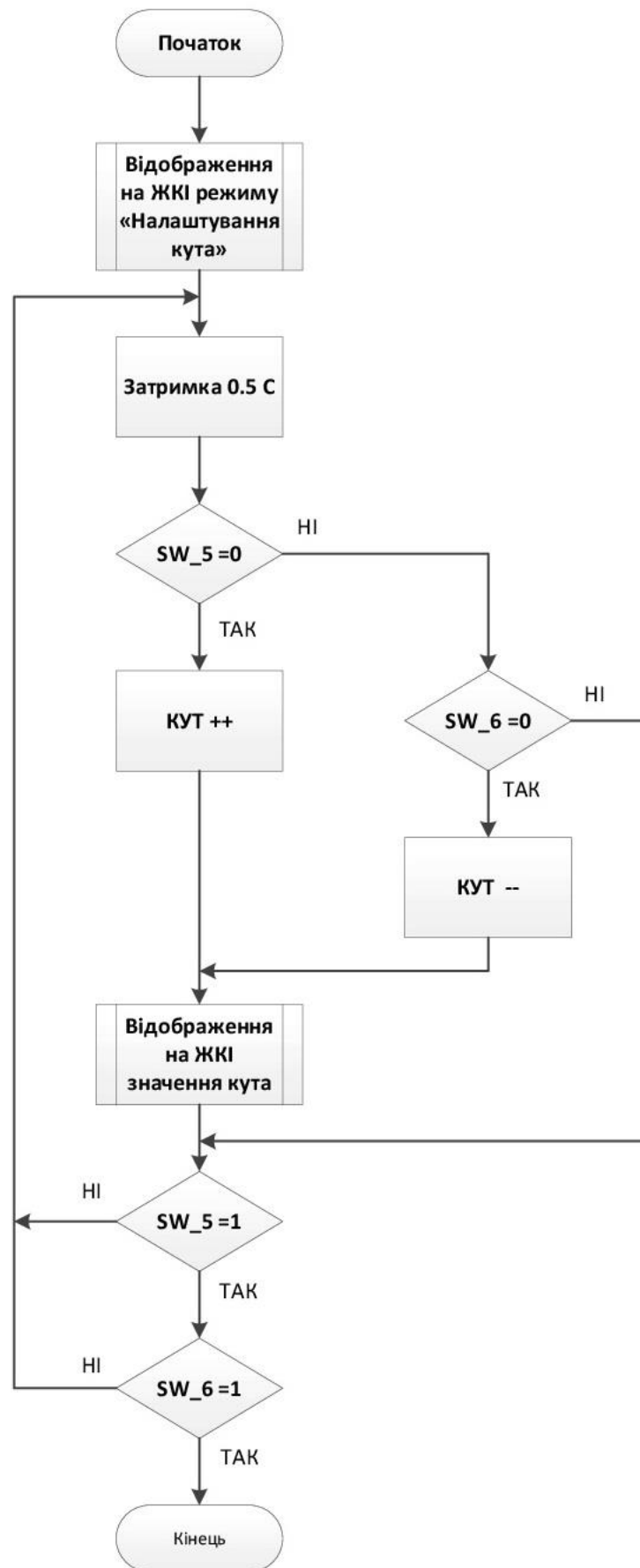


Рисунок 5.12. Алгоритм функції «Налаштування кута повороту»

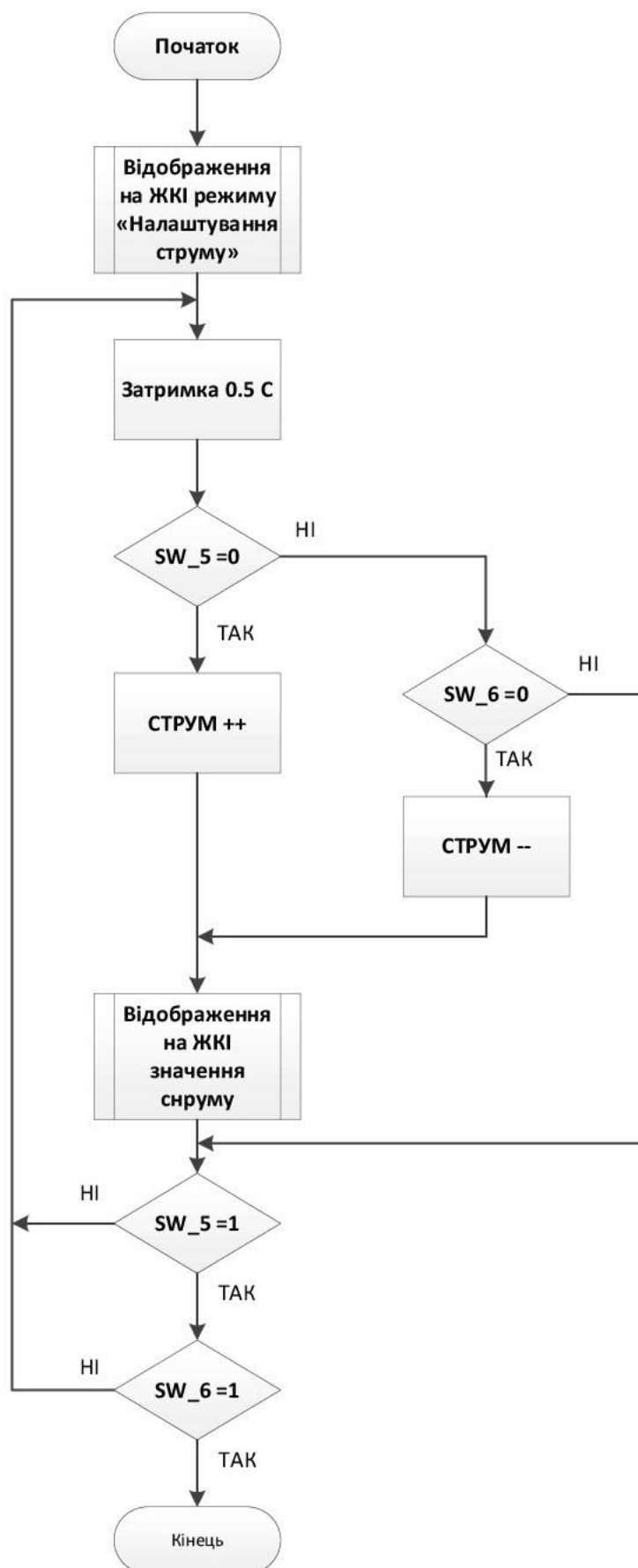


Рисунок 5.13. Алгоритм функції «Налаштування струму двигуна».

## Висновок до розділу:

Побудова програмного коду для програмування мікросхем відбувалось у середовищі Quartus II. Написання програмного коду складалось з двох частин:

- конфігурація мікросхем через центральний процесор;
- обробка даних з мікросхем та виведення керуючих сигналів.

Конфігурація виконувалась згідно конфігураційним векторним діаграмам, які описані в технічній документації.

Побудова синтезованих компонентів на мові Verilog мала за основу принцип роботи кінцевих автоматів.

Зараз пристрій знаходиться на етапі налагодження на підприємстві.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум	Підпис	Да		63

## ВИСНОВКИ

В даному дипломному проекті розроблено схемотехнологічне рішення, друкований вузол, програмне забезпечення блока керування двигуном по положенню. Даний пристрій має наступні технічні характеристики, які відповідають вимогам технічного завдання:

Принцип дії	
Інтерфейс зв'язку з системою	Індикація режиму роботи на ЖКІ-дисплеї, задання режиму роботи через клавіатуру
Габаритні розміри	120x100 см.
Маса	63г.
Живлення	5 В, 12 В.
Режими роботи	Основний (вимірювання); налаштування.
Діапазон виміру кутів	$\pm 60^\circ$

В ході обґрунтування даного рішення виконані наступні етапи:

1. В першому розділі зроблено пошук існуючих патентних рішень керування двигуном. Отримано інформацію про те, що більшість запропонованих рішень є або застарілими, або вимагають постійне підключення до ПК, що не є можливим в лабораторних умовах. Це дозволило сформуванню уявлення про конструктивні та структурні рішення, характеристики та параметри розробляемого блока керування двигуном по положенню.

2. Розроблено структурну схему, схему електричну принципову. Розрахунок схеми електричної принципової підтверджує правильність схемотехнічного рішення. Отримана схема є доступною для розуміння роботи пристрою, відповідає ГОСТ, побудована згідно рекомендаціям технічних документацій елементів. Це дає змогу швидко та доступно зрозуміти принцип роботи пристрою, окремих його каскадів.

3. Зроблено аналіз класів точності, типів та матеріалів ДП. Обрано 4-шарову плату з FR-4, за 4 класом точності. Розглянуто розміщення компонентів на ДП та проектування у Altium Designer. Розроблена плата має високу щільність

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		64

монтажу, підвищену надійність, високу механічну міцність кріплення, та відповідає вимогам ТЗ.

4. Виконано розрахунки, що підтверджують працездатність схеми (Розділ 4), а саме:

- конструкторсько-технологічний розрахунок, який підтвердив правильність вибору 4-го класу точності;

- електричний розрахунок друкованої плати, підтвердив оптимальний вибір трасування провідників. Оскільки, потужність втрат на постійному струмі 26,95 нВт, падіння напруги 0,129 В, паразитна ємність 115 пФ, паразитна індуктивність 0,144 нГн – ці значення не впливають на роботу ДВ;

- розрахунок надійності ДВ. Отримане значення середнього часу напрацювання на відмову 14617 год задовольняє вимоги технічного завдання (10000 год);

- розрахунок віброміцності ДП. Отримане значення власної частоти коливань ДП становить 330,9 Гц, тобто конструкція абсолютно жорстка.

5. Розроблено програмне забезпечення (ПЗ) для керування двигуном по положенню. Пристрій працює в двох режимах:

- режим конфігурації, в якому центральний процесор програмує інші мікросхеми для режиму роботи;

- режим роботи, в якому центральний процесор отримує дані з двигуна, та генерує керуючі сигнали до двигуна.

Це дає змогу керувати двигуном в лабораторних умовах згідно ТЗ. Дане рішення дозволяє змінювати в майбутньому програмну частину для зміни режимів роботи без зміни апаратної частини.

6. Розроблена конструкторська документація на блок керування двигуном по положенню.

Проект виконано в повному об'ємі, а розрахунки й моделювання підтверджують працездатність пристрою та задовольняють вимогам ТЗ.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		65

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода - ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, Санкт-Петербург, 2000.
2. Каган В.Г. Электроприводы с предельным быстродействием для систем воспроизведения движений – М.: Энергия, 1975.
3. Устройство для управления серводвигателем [электронный ресурс] – режим доступа: [http://www.findpatent.ru/img\\_show/3736854.html](http://www.findpatent.ru/img_show/3736854.html)
4. Позиционный серводвигатель [электронный ресурс] – режим доступа: <http://patents.su/2-1222907-pozicionnyjj-servodvigatel.html>
5. Система автоматического управления серводвигателями [электронный ресурс] – режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/sistema-avtomaticheskogo-upravleniya-servoprivodami>
6. TPS79325 Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps793.pdf>
7. TPS6200x Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps62003.pdf>
8. Cyclone III Device Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: [https://www.altera.com/content/dam/altera-www/global/en\\_US/pdfs/literature/hb/cyc3/cyc3\\_ciii52001.pdf](https://www.altera.com/content/dam/altera-www/global/en_US/pdfs/literature/hb/cyc3/cyc3_ciii52001.pdf)
9. EPCS16SI16N Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: [https://www.altera.com/en\\_US/pdfs/literature/hb/cfg/cyc\\_c51014.pdf](https://www.altera.com/en_US/pdfs/literature/hb/cfg/cyc_c51014.pdf)
10. TS2640N691E125 Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: [https://www.encoder-technology.com/images/product\\_specifications/fa-solver.pdf](https://www.encoder-technology.com/images/product_specifications/fa-solver.pdf)
11. AD2S1210 Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD2S1210.pdf>

12. AD7687BRMZ Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа:  
<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD7687.pdf>
13. ECS-3963 Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа:  
[http://www.ecsxtal.com/store/pdf/ecs-3961\\_3963.pdf](http://www.ecsxtal.com/store/pdf/ecs-3961_3963.pdf)
14. FIN1001 Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа:  
<https://www.fairchildsemi.com/datasheets/FI/FIN1001.pdf>
15. THS4130IDGK Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа:  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ths4131.pdf>
16. BC846B Datasheet [электронный ресурс] – режим доступа:  
<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/BC846-D.PDF>

ГОСТ 12.2.007-75 Система стандартов безопасности труда ИЗДЕЛИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ.

ГОСТ 15150-69 МАШИНЫ, ПРИБОРЫ И ДРУГИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗДЕЛИЯ.

ГОСТ 23571-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции.

ГОСТ 23752-79 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Общие технические условия.

ГОСТ 29137-91 ФОРМОВКА ВЫВОДОВ И УСТАНОВКА ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ НА ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ. Общие требования и нормы конструирования.

ДСТУ 3008:2015 ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ. Структура та правила оформлювання.

ДСТУ 2646-94 ПЛАТИ ДРУКОВАНІ. Терміни та визначення.



ПОГОДЖЕНО

ЗАТВЕРДЖЕНО

Начальник сектору

Директор

ТОВ «Радіонікс»

ТОВ «Радіонікс»

В.Ю. Танигін

С.Б. Зав'ялов

## Додаток А

### Технічне завдання на проектування

#### 1. Найменування та галузь використання

Блок керування двигуном по положенню. Використовується в стенді вимірювання параметрів прямих приводів (двигунів) гіростабілізованих платформ в лабораторних умовах.

#### 2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ» №.1008-с від 23.03.2018 р.

#### 3. Мета і призначення розробки

Блок керування призначений для використання в складі стенду повної перевірки якості виготовлення і працездатності прямих приводів гіростабілізованих платформ в процесі виробництва.

#### 4. Джерело розробки

Пульт призначений для здійснення управління випробуваного двигуна і забезпечення вимірювань кутового положення і струму. Схема вимірювання кута повороту побудована на датчику TS2640N691E125, розташованого безпосередньо на осі випробуваного двигуна установки моделювання режимів роботи приводу і мікросхеми перетворювача кут / код пульта управління AD2S1210. Певне значення кута повороту осі датчика (резольвера) надходить по паралельній 16-ти розрядної шині на мікроконтролер, який використовується в алгоритмі роботи контролера блока керування і відображення значення кута на індикатор при виборі відповідного режиму

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
Змн	Арк.	№ докum	Підпис	Да		68

роботи. В конструкції двигуна закладений датчик струму вихідний сигнал якого надходить на схему вимірювання побудовану на базі 16-ти розрядного аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Функціонально схема керування випробуванням двигуном імітує роботу бортового контролера платформи, замикаючи зворотний зв'язок по положенню від датчика кута стенду відповідно режиму роботи. Інформація про струм і кут положення двигуна виводиться на індикатор пульта, а також забезпечується режим їх обмеження.

#### **Технічні характеристики одного з двигунів, що контролюється:**

- Загальник опір обмоток  $R_d = 9,3 \text{ Ом}$ ;
- Коефіцієнт моменту та коефіцієнт ЭДС  $K_m = 1,5 \text{ Нм/А}$ ,  $K_e = 1,5 \text{ Вс/рад}$ ;
- Номінальний момент  $M_n = 1,7 \text{ Нм}$  при номінальному струмі  $I_{ном} = 1,13 \text{ А}$ ;
- Максимальний момент  $M_{max} = 11,0 \text{ Нм}$  при максимальному струмі  $I_{max} = 7,2 \text{ А}$

### **5. Технічні вимоги**

#### **5.1. Склад виробу й вимоги до пристрою, що розробляється.**

Блок керування складається з:

- FPGA, до складу якої входить центральний процесор NIOSII, а також синтезуються ШІМ-контролер, та АЦП-контролер;
- Драйвер датчика кута;
- АЦП;
- Диференційні драйвери;
- Індикатор;
- Клавіатура.

#### **Показники призначення.**

Вимірювальний блок в лабораторних умовах повинен забезпечувати вимірювання і контроль наступних величин і характеристик двигунів:

- миттєві і середні значення струмів, що протікають в обмотках двигунів, їх форму;
- кутове положення ротора двигуна;

- кутову швидкість ротора;
- момент, що розвивається двигуном при обертанні ротора із заданою швидкістю;
- пусковий момент, що розвивається двигунами при загальмованому роторі;
- перехідні процеси розгону / гальмування двигунів без інерційної маси, що імітує масу без корисного навантаження і з ним;
- форма і розмір напруги, що генерується обмотками двигуна при обертанні із заданою швидкістю від зовнішнього двигуна.

## **5.2.Вимоги до надійності.**

Середній час напрацювання на відмову повинен бути на менше 10000 год.

## **5.3. Вимоги до технологічності.**

Орієнтовані на передові прийоми розробки виготовлення на підприємствах України.

## **5.4. Вимоги до рівня уніфікації й стандартизації.**

Для виготовлення пристрою застосувати стандартні, уніфіковані деталі та вироби.

## **5.5. Вимоги безпеки обслуговування.**

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

## **5.6. Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних й експлуатаційних матеріалів.**

Для виробництва пристрою повинні використовуватися матеріали імпортного виробництва, які можливо купити та замінити в Україні, або власна елементна база, яка розробляється в Україні.

## **5.7. Умови експлуатації.**

Кліматичне виконання модулю керування УХЛ.4.2 згідно ГОСТ 15150-69. Для експлуатації в лабораторних, капітальних житлових та інших подібного типу приміщеннях.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		70

## 5.8. Вимоги до транспортування і зберігання.

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря +5...+40<sup>0</sup>С, відносна вологість повітря 60% при 20<sup>0</sup>С (середньорічне значення), атмосферний тиск 84...106кПа.

Транспортувати автомобільним, залізничним або авіаційним видами транспорту в спеціальній транспортній тарі.

## 5.9.Додаткові технічні вимоги.

Технічні характеристики:

Принцип дії	
Інтерфейс зв'язку з системою	Індикація режиму роботи на ЖКІ-дисплеї, задання режиму роботи через клавіатуру
Габаритні розміри	120х100 см.
Маса	Не більше 200 г.
Живлення	5 В, 12 В.
Режими роботи	Основний (вимірювання); налаштування.
Діапазон виміру кутів	±60°

## 6. Результати роботи

**6.1.**Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація по створенню прототипу пристрою, його програмування, налагодження;

**6.2.** Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації.

## 7. Робота повинна містити в собі документи

- Пояснювальну записку (формату А4, до 80 аркушів)
- Схеми електричні принципові та переліки елементів (формату А1, А3, А4 відповідно)
- Складальні креслення та специфікації (формату А1, А4 відповідно)
- Креслення друкованих плат (формату А1)
- Додатки (формату А1-А4)

## 8. Порядок розгляду й приймання роботи

Порядок розгляду й приймання роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах. У процесі виконання роботи проміжні звіти надаються комісії не рідше 1 раз у тиждень на загальних умовах.

## 9. Економічні показники

В умовах даного проекту не розглядаються.

## 10. Етапи розробки

№ п/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Час виконання етапів проекту
1	Аналіз технічного завдання	16.03.18-26.03.18
2	Вибір елементної бази та друкованої плати	26.03.18-02.04.18
3	Схемо-технічне проектування	02.04.18-09.04.18
4	Виконання креслення схеми електричної принципової	09.04.18-23.04.18
5	Конструкторсько-технологічні розрахунки	23.04.18-30.04.18
6	Електричний розрахунок друкованої плати	30.04.18-07.05.18
7	Розрахунок віброміцності ДП	07.05.18-14.05.18
8	Проектування у Altium Designer	14.05.18-21.05.18
9	Виконання креслень друкованої плати та складального креслення друкованого вузла	21.05.18-28.05.18
10	Оформлення пояснювальної записки	28.05.18-12.06.2018

## Додаток Б

Основна програма:

ACK2\_main.c:

```
#include "sys/alt_stdio.h"
#include "alt_types.h"
#include "altera_avalon_pio_regs.h"
#include "system.h"
#include "ACK2_main.h"
#include "LCD.h"
#include "resolver.h"
#include "ANGLE_SETTING.h"

alt_16 Angle_norm;
alt_16 Current_norm;
alt_u8 setting_mode;

int main()
{

#ifdef ALT_DEBUG
alt_putstr("Hello from Nios II!\n");
#endif
alt_u8 fault_reg;
alt_16 resolver_angle;
alt_u8 k;
alt_16 Current_temp;

//инициалізація
Resolver_initialization();
LCD_INITIALIZATION();
Angle_norm=0;
Current_norm=0;
k=0;

while(1)
{
fault_reg= Resolver_read_byte_config_mode (RES_ADDR_FAULT_REG);

//якщо регістр не видає помилку, то читаємо кут з резольвера
if (fault_reg == 0) //читаем угол с резольвера
resolver_angle=Resolver_read_position_in_normal_mode();
if (k==0)
{
//устанавливаем режим настройки угла
setting_mode=3;
Angle_norm=ANGLE_SETTING(Angle_norm);
//устанавливаем режим настройки тока
setting_mode=2;
Current_norm=CURRENT_SETTING(Current_norm);
k=1;
}
else
{
//формирование режима
setting_mode=MODE_FORMATION();
switch (setting_mode)
{
//если выбран режим работы
case 0:
```

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум	Підпис	Да		73

```

{
// выставляем выводы SAMPLE в 0
IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NSAMPLE_BASE,0);
//задержка на 2 us (1 такт процессора 20 нс)после сброса SAMPLE до поднятия
SAMPLE
Delay_for_microsec (2);
// выставляем выводы SAMPLE в 1
IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NSAMPLE_BASE,1);
//задержка на 2 us (1 такт процессора 20 нс)после сброса SAMPLE до поднятия CS
Delay_for_microsec (2);

//чтение регистра ошибки
fault_reg= Resolver_read_byte_config_mode (RES_ADDR_FAULT_REG);

//если регистр не выдает ошибку, то читаем угол с резольвера
if (fault_reg == 0) //читаем угол с резольвера
resolver_angle=Resolver_read_position_in_normal_mode();
else
Out_ERROR_RESOLVER();//Печатаем слово ERROR_RESOLVER

//прочитать ток двигателя с АЦП
Current_temp=IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_SDO_ADC_BASE);

//выдаем на PWM значение померянного тока(из режима настройки тока)
IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_PWM_IN_BASE,Current_norm);

//отобразить на ЖКИ режим работа
Out_WORKING();
}
break;

//если выбран режим настройка тока
case 2:
CURRENT_SETTING(Current_norm);
break;

//если выбран режим настройка угл
case 3:
Angle_norm=ANGLE_SETTING(Angle_norm);
break;
}
k=1;
}
return 0;
getchar();
}
void Delay_for_microsec (alt_u32 amount_us)
{
int i;

//дисассемблирование показало,что процессор на выполнение этого цикла тратит 9
тактов

// время одного такта CPU_CYCLE_DELAY_nS =20нс, поэтому время выполнения цикла =
20*9=190нс

//amount_us-количество микросекунд задержки.Минимальная задержка 1 микросекунда.

// (1000*MILI/(DELAY_KOEFF))-пример задания аргумента функции , если необходима
задержка

//в микросекундах, то (число*MICRO/(DELAY_KOEFF))

```

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		74

```
for (i=0;i<(amount_us);i++);
}
```

## ACK2\_main.h:

```
#ifndef ACK1_MAIN_H_
#define ACK1_MAIN_H_

#define MASK_D1 0x1E // 11110
#define MASK_D2 0x1D // 11101
#define MASK_D3 0x1B // 11011
#define MASK_D4 0x17 // 10111
#define MASK_D5 0xF // 1111
#define E1_E2MASK 0x3 // 0011
#define E3_E4MASK 0xC // 1100

extern alt_16 Angle_norm;
extern alt_16 Current_norm;
extern alt_u8 setting_mode;

void Delay_for_microsec (alt_u32 amount_us);
#endif /* ACK1_MAIN_H_ */
```

## Програма виводу інформації на індикатор:

### LCD.h:

```
#ifndef LCD_H_
#define LCD_H_

#define LCD_E_MASK 4
#define LCD_R_NOTW_MASK 2
#define LCD_RS_MASK 1
#define LCD_BF_MASK 0x80
#define LCD_ADDRESS_MASK 0x7f
#define LCD_DIRECTION_8BIT_OUTPUT_MASK 0xFF
#define LCD_DIRECTION_8BIT_INPUT_MASK 0
#define LCD_MINUS_NUMBER_MASK 0x8000

// время выполнения процессором одной команды
// выполняется для расчета задержки между командами
#define CPU_CYCLE_DELAY_nS 20

// коэффициент для определения задержки процедуры Delay_for_microsec
// в микросекундах
#define DELAY_KOEFF (CPU_CYCLE_DELAY_nS*8)

//коэффициент для задания задержки в микросекундах
#define MICRO 1000

//коэффициент для задания задержки в мили секундах
```

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		75



```

#define MILI      1000000
//функция для организации задержки не менее 1 микросекунды
//определяем 180 градусов в 16-ричном коде
#define GRAD_180  0x7FFF
//#define pi_2      1.5707963267948966/0x7FFF
//коэффициент перевода значения угла в градусах в шестнадцатиричный код
// koef=0xFFFF/360=182=B6
#define KOEF_TRANSFORM  0xB6

//Функция передачи инструкции
void FUNCTION SET(alt_u8 instruction);

void Delay_for_microsec (alt_u32 amount_us);

void LCD_INITIALIZATION();

//-----
//Функция вывода на экран символа, заданного в ASCII-16-тиричном коде
void LCD_print_symbol(alt_u8 code);
//-----
//Функция вывода на экран символа, в конкретную позицию соответствующего адресу
//-----
void LCD_print_symbol_in_position (alt_u8 code, alt_u8 address);
//-----
//Функция вывода на экран 16-ти разрядного числа, занимает 5 позиций на экране
//-----
void LCD_print_digital_number_on_screen (alt_16 value, alt_u8 address, alt_u8
point_position);

void Out_SET_SW1();
void Out_SET_SW2();
void Out_SET_SW3();
void Out_EROR_CONECT();
void Out_EROR_RESOLVER(void);
void Out_WORKING(void);
void Out_ANGLE_SETTING(void);
void Out_CURRENT_SETTING(void);
extern alt_16 Angle_norm;
extern alt_16 Current_norm;
extern alt_u8 setting_mode;
#endif /*LCD_H*/

```

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ доквм	Підпис	Да		76

## LCD.c:

```
#include "sys/alt_stdio.h"
#include "system.h"
#include "alt_types.h"
#include "altera_avalon_pio_regs.h"
#include "resolver.h"
#include "ACK2_main.h"
#include "LCD.h"

//Функция передачи инструкции
void FUNCTION_SET(alt_8 instruction)
{
    alt_u8 i;
    //Объявляем двунаправленный порт в режим вывода (все 8 выводов)

    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DIRECTION(PIO_LCD_DATA_BASE,LCD_DIRECTION_8BIT_OUTPUT_MASK
);
    //Записываем в порт данных 0x3c=111100-установка режима 2-линии и
    дисплей включен
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_DATA_BASE,instruction);
    //Записываем в порт RS и R/NOTW 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0 );
    //Устанавливаем вывод E в 1
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0 |LCD_E_MASK );
    //Задержка 200нс (1 "nop" =20ns)
    for (i=0;i<10;i++) asm ("nop");
    //обнуляем управляющие выходы RS_R/NOTW/E
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0 );
}

//Функция инициализации LCD индикатора
void LCD_INITIALIZATION()
{
    //Записываем в порт RS и R/NOTW E 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0 );
    //задержка на 40 миллисекунды (требуется после включения питания)
    Delay_for_microsec (40*MILI/(DELAY_KOEFF));
    //инициализация ЖКИ-модуля
    //передаем команду 0x38(8-bit,1,5*7 dot,2 lines)
    FUNCTION_SET(0x38);
}
```

```

    ///задержка на 5 миллисекунд (busy flag not available)
    Delay_for_microsec (5*MILI/(DELAY_KOEFF));
    FUNCTION_SET(0x38); //(8-bit,1,5*7 dot,2 lines)
    ///задержка на 160us (busy flag not available)
    Delay_for_microsec (2*MILI/(DELAY_KOEFF));
    ///Записываем в порт данных 0x0C=1100 DISPLAY ON, Cursor ON, BLINK OFF
    FUNCTION_SET(0x0C);
    ///задержка на 160us (busy flag not available)
    Delay_for_microsec (2*MILI/(DELAY_KOEFF));
    ///Записываем в порт данных 0x01=0001 clear display
    FUNCTION_SET(0x01);
    ///задержка на 160us (busy flag not available)
    Delay_for_microsec (2*MILI/(DELAY_KOEFF));
    ///Записываем в порт данных 0x06=0110 entry mode set, cursor moves to right
    FUNCTION_SET(0x06);
    ///Объявляем двунаправленный порт в режим ввода (все 8 выводов)
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DIRECTION(PIO_LCD_DATA_BASE,0);
}
    ///Конец функции инициализации индикатора

/*****
*****

Функция вывода на экран 16-ти разрядного числа, занимает 5 позиций на экране
ей передается число (но не больше 65535 ) которое нужно вывести на индикатор,
адрес-соответствующий позиции на экране
0- первый символ первой строчки, 64-первый символ второй строчки, 16-первый символ
третьей строчки,
80-первый символ четвертой строчки).Point_position-положение запятой
(отсчитывается справа).Если
Point_position=1, то с одним знаком после запятой, если 2- то с 2-мя.
Для того, чтобы напечатать с одним знаком после запятой-нужно его предварительно
умножить на 10, если с двумя знаками-то на 100-соответственно.
*****
*****/

void LCD_print_digital_number_on_screen (alt_16 value, alt_u8 address, alt_u8
point_position)
{
    alt_u8 i;
    alt_u8 k;
    i=0;
    k=0;
    ///Определяем знак числа

```

```

if (value&LCD_MINUS_NUMBER_MASK)
{
    value=(~value +1);
    LCD_print_symbol_in_position(0x2d,address);
    address++;
}
else
{
    LCD_print_symbol_in_position(0x20,address);
    address++;
}
// если количество знаков,после запятой=5, то печатаем запятую
if (point_position==5)
{
    LCD_print_symbol_in_position(0x2e,address);
    address++;
    k=1;
}
//Определяем количество 10000 в числе
while (value>=10000)
{
    k=1;
    value = value-10000;
    i++;
}
//если число меньше,чем 10000-печатаем пробел
if (k==0) LCD_print_symbol_in_position(0x20,address);
//если число больше,чем 10000-печатаем количество 10000 в этом числе
else LCD_print_symbol_in_position(i+0x30,address);
i=0;
// если количество знаков,после запятой=4, то печатаем запятую
if (point_position==4)
{
    LCD_print_symbol(0x2e);
    k=1;
}
//Определяем количество 1000 в числе
while (value>=1000)
{
    k=1;
    value = value-1000;
    i++;
}

```

```

    }

    //если число меньше,чем 1000 и мы не напечатали ни одного знака перед-
печатаем пробел
    if (k==0) LCD_print_symbol (0x20);
    //если число больше,чем 1000-печатаем количество 1000 в этом числе
    else LCD_print_symbol(i+0x30);
    i=0;
    // если число знаков,после запятой=3, то печатаем запятую
    if (point_position==3)
    {
        LCD_print_symbol(0x2e);
        k=1;
    }
    //Определяем количество 100 в числе
    while (value>=100)
    {
        k=1;
        value = value-100;
        i++;
    }
    //если число меньше,чем 100 и мы не напечатали ни одного знака перед-печатаем
пробел
    if (k==0) LCD_print_symbol (0x20);
    //если число больше,чем 100-печатаем количество 100 в этом числе
    else LCD_print_symbol(i+0x30);
    // если количество знаков,после запятой=2, то печатаем запятую
    if (point_position==2)
    {
        LCD_print_symbol(0x2e);
        k=1;
    }
    i=0;
    //Определяем количество 10 в числе
    while (value>=10)
    {
        k=1;
        value = value-10;
        i++;
    }
    //если число меньше,чем 10 и мы не напечатали ни одного знака перед-печатаем
пробел
    if (k==0) LCD_print_symbol (0x20);

```

```

//если число больше, чем 10-печатаем количество 10 в этом числе
else LCD_print_symbol(i+0x30);
// если количество знаков, после запятой=1, то печатаем запятую
if (point_position==1)
{
    LCD_print_symbol(0x2e);
    k=1;
}
//печатаем количество единиц в этом числе
LCD_print_symbol(value+0x30);
} //конец функции

/*****
Функция вывода на экран символа, в конкретную позицию соответствующего адресу
Мы ей передаем число, которое нужно напечатать и адрес-соответствующей позиции,
куда следует вывести это число.
*****/

void LCD_print_symbol_in_position (alt_u8 code, alt_u8 address)
{
    int A;
    alt_u8 BF;
    alt_u8 k;
    int i;
    //Считывание флага занятости
    //Установка выводов R/nW в значение 1, RS в значение 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE, 0|LCD_R_NOTW_MASK );
    //Установка выводов E и R/NOTW в значение 11
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE, 0
|LCD_E_MASK|LCD_R_NOTW_MASK );
    //задержка 140нс
    for (A=0; A<9; A++) asm ("nop");
    do
    {
        BF = IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_DATA_BASE);
        k = BF & LCD_BF_MASK;
    }
    while (k);
    //Записываем в порт RS 0 и R/NOTW 0 и E 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE, 0 );
    //Объявляем двунаправленный порт в режим вывода (все 8 выводов)

```

```

IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DIRECTION(PIO_LCD_DATA_BASE,LCD_DIRECTION_8BIT_OUTPUT_MASK
);

//Записываем в порт данных адрес позиции курсора
IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_DATA_BASE,LCD_BF_MASK      |      (address      &
LCD_ADDRESS_MASK));

//Устанавливаем вывод E в 1
IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0 |LCD_E_MASK  );

//Задержка 140нс
for (A=0;A<9;A++)  asm ("nop");

//обнуляем управляющие выходы RS_R/NOTW/E
IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0 );

//Задержка 20 наносекунд,требуемая в инструкции
// Delay_for_microsec (40*MICRO/(DELAY_KOEFF));
for (i=0;i<3;i++)  asm ("nop");

//Установка выводов двунаправленного порта в режим входа
IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DIRECTION(PIO_LCD_DATA_BASE,0x00);
LCD_print_symbol(code);

}

/*****
Функция вывода на экран символа-соответствующего коду,передаваемого функции
код следует писать в кодах ASCII в 16-ричном масштабе (0-0x30,1-0x31).
*****/

void LCD_print_symbol(alt_u8 code)
{
    int A;
    alt_u8 BF;
    alt_u8 k;
    int i;

    //Считывание флага занятости
    //Установка выводов R/nW в значение 1
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0|LCD_R_NOTW_MASK );

    //задержка 40нс
    //Delay_for_microsec((1*MICRO/DELAY_KOEFF));
    for (i=0;i<21;i++)  asm ("nop");

    //Установка выводов E и R/NOTW в значение 11
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0      |LCD_E_MASK|LCD_R_NOTW_MASK
);

    for (A=0;A<9;A++)  asm ("nop");
    do
    {

```

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		82

```

        BF = IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_DATA_BASE);
        k = BF & LCD_BF_MASK;
    }
    while (k);
    //Задержка на 32 милисекунды (требуется после включения питания)
    //Delay_for_microsec (1*MILI/(DELAY_KOEFF));
    //Записываем в порт RS -1 и R/NOTW 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0|LCD_RS_MASK );
    //Объявляем двунаправленный порт в режим вывода (все 8 выводов)

IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DIRECTION(PIO_LCD_DATA_BASE,LCD_DIRECTION_8BIT_OUTPUT_MASK
);
    //Записываем в порт данных ASC код символа, например, 0x30=число 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_DATA_BASE,code);
    //Задержка 100нс
    for (A=0;A<9;A++) asm ("nop");
    //Устанавливаем вывод E в 1
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0 |LCD_E_MASK | LCD_RS_MASK
);
    //Задержка 140нс
    for (A=0;A<9;A++) asm ("nop");
    //обнуляем управляющие выводы RS_R/NOTW/E
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LCD_CONTROL_BASE,0 );
    //Задержка 40 микросекунд,требуемая в инструкции
    // Delay_for_microsec (40*MICRO/(DELAY_KOEFF));
    for (i=0;i<9;i++) asm ("nop");
    //Установка выводов двунаправленного порта в режим входа
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DIRECTION(PIO_LCD_DATA_BASE,0x00);
} //конец функции

void Out_SET_SW1(void) //Печатаем слово SET_SW1
{
    LCD_print_symbol_in_position (0x53,0x47);//S
    LCD_print_symbol(0x45);//E
    LCD_print_symbol(0x54);//T
    LCD_print_symbol(0x5f);//_
    LCD_print_symbol(0x53);//S
    LCD_print_symbol(0x57);//W
    LCD_print_symbol(0x31);//1
}

void Out_SET_SW2(void) //Печатаем слово SET_SW2
{

```



```

    LCD_print_symbol_in_position (0x53,0x47); //S
    LCD_print_symbol(0x45); //E
    LCD_print_symbol(0x54); //T
    LCD_print_symbol(0x5f); // _
    LCD_print_symbol(0x53); //S
    LCD_print_symbol(0x57); //W
    LCD_print_symbol(0x32); //2
}

void Out_SET_SW3(void)    //Печатаем слово SET_SW3
{
    LCD_print_symbol_in_position (0x53,0x47); //S
    LCD_print_symbol(0x45); //E
    LCD_print_symbol(0x54); //T
    LCD_print_symbol(0x5f); // _
    LCD_print_symbol(0x53); //S
    LCD_print_symbol(0x57); //W
    LCD_print_symbol(0x33); //3
}

void Out_EROOR_CONECT(void)    //Печатаем слово EROOR_CONNECT
{
    LCD_print_symbol_in_position (0x45,0x44); //E
    LCD_print_symbol(0x52); //R
    LCD_print_symbol(0x52); //R
    LCD_print_symbol(0x4f); //O
    LCD_print_symbol(0x52); //R
    LCD_print_symbol(0x5f); // _
    LCD_print_symbol(0x43); //C
    LCD_print_symbol(0x4f); //O
    LCD_print_symbol(0x4e); //N
    LCD_print_symbol(0x4e); //N
    LCD_print_symbol(0x45); //E
    LCD_print_symbol(0x43); //C
    LCD_print_symbol(0x54); //T
}

void Out_EROOR_RESOLVER(void) //Печатаем слово ERROR_RESOLVER
{
    LCD_print_symbol_in_position (0x45,0x44); //E
    LCD_print_symbol(0x52); //R
    LCD_print_symbol(0x52); //R
    LCD_print_symbol(0x4f); //O
    LCD_print_symbol(0x52); //R
    LCD_print_symbol(0x5f); // _

```

```

        LCD_print_symbol(0x52); //R
        LCD_print_symbol(0x45); //E
        LCD_print_symbol(0x53); //S
        LCD_print_symbol(0x4f); //O
        LCD_print_symbol(0x4c); //L
        LCD_print_symbol(0x56); //V
        LCD_print_symbol(0x45); //E
        LCD_print_symbol(0x52); //R
    }

    void Out_WORKING(void) //Печатаем слово РЕЖИМ РАБОТА
    {
        LCD_print_symbol_in_position (0x45,0x57); //W
        LCD_print_symbol(0x4f); //O
        LCD_print_symbol(0x52); //R
        LCD_print_symbol(0x4b); //K
        LCD_print_symbol(0x49); //I
        LCD_print_symbol(0x4e); //N
        LCD_print_symbol(0x49); //I
        LCD_print_symbol(0x47); //G

    }

    void Out_ANGLE_SETTING(void) //Печатаем слово НАСТРОЙКА УГЛА
    {
        LCD_print_symbol_in_position (0x45,0x41); //A
        LCD_print_symbol(0x4e); //N
        LCD_print_symbol(0x47); //G
        LCD_print_symbol(0x4c); //L
        LCD_print_symbol(0x45); //E
        LCD_print_symbol(0x5f); // _
        LCD_print_symbol(0x53); //S
        LCD_print_symbol(0x45); //E
        LCD_print_symbol(0x54); //T
        LCD_print_symbol(0x54); //T
        LCD_print_symbol(0x49); //I
        LCD_print_symbol(0x4e); //N
        LCD_print_symbol(0x47); //G

    }

    void Out_CURRENT_SETTING(void) //Печатаем слово НАСТРОЙКА ТОКА
    {
        LCD_print_symbol_in_position (0x45,0x43); //C
        LCD_print_symbol(0x55); //U
        LCD_print_symbol(0x52); //R
    }

```

```

        LCD_print_symbol(0x52); //R
        LCD_print_symbol(0x45); //E
        LCD_print_symbol(0x4e); //N
        LCD_print_symbol(0x54); //T
        LCD_print_symbol(0x5f); // _
        LCD_print_symbol(0x53); //S
        LCD_print_symbol(0x45); //E
        LCD_print_symbol(0x54); //T
        LCD_print_symbol(0x54); //T
        LCD_print_symbol(0x49); //I
        LCD_print_symbol(0x4e); //N
        LCD_print_symbol(0x47); //G
    }

```

## Програма керування драйвером кута:

### resolver.h:

```

#ifndef RESOLVER_H_
#define RESOLVER_H_

// маска вывода CS0 порта pio
#define RESOLVER_CS0_MASK 1
// маска вывода CS1 порта pio
#define RESOLVER_CS1_MASK 2
// маска вывода SAMPLE порта pio
#define RESOLVER_SAMPLE_MASK 4
// маска выбора первого резольвера порта pio
#define RESOLVER_1RES_MASK 1
// маска выбора второго резольвера порта pio
#define RESOLVER_2RES_MASK 2
// маска выбора первого EEPROM порта pio
#define RESOLVER_CS_EEPROM1_MASK 2
// маска выбора второго EEPROM порта pio
#define RESOLVER_CS_EEPROM2_MASK 8
// маска не выбирающая ничего из порта pio
#define RESOLVER_CS_NOHING
// (0|RESOLVER_CS0_MASK|RESOLVER_CS1_MASK|RESOLVER_CS2_MASK|RESOLVER_CS3_MASK)
// маска, включающая мультиплексор для передачи первого резольвера RESOLVER0
#define RESOLVER_MUX_RESOLVER0_MASK 0
// маска, включающая мультиплексор для передачи второго резольвера RESOLVER1
#define RESOLVER_MUX_RESOLVER1_MASK 1
#define RESOLVER_HIGH_BIT 0x8000
// маска, выставяющая A1A0 в режим конфигурации

```

7

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		86

```

#define A1_A0_MASK_CONFIGURATION_MODE 3 //00011
#define A1_A0_MASK_NORMAL_MODE_POSITION 0
#define A1_A0_MASK_NORMAL_MODE_VELOCITY 1
#define ANGLE_DIRECTION_16BIT_OUTPUT_MASK 0xFFFF
#define ANGLE_DIRECTION_16BIT_INTPUT_MASK 0

// адреса регистров резольвера ADS1210
#define RES_ADDR_POSITION_REG_H 0x80
#define RES_ADDR_POSITION_REG_L 0x81
#define RES_ADDR_VELOCITY_REG_H 0x82
#define RES_ADDR_VELOCITY_REG_L 0x83
#define RES_ADDR_LOS_THRESHOLD_REG 0x88
#define RES_ADDR_DOS_OVERRANGE_THRESHOLD_REG 0x89
#define RES_ADDR_DOS_MISMATCH_THRESHOLD_REG 0x8A
#define RES_ADDR_DOS_RESET_MAX_THRESHOLD_REG 0x8B
#define RES_ADDR_DOS_RESET_MIN_THRESHOLD_REG 0x8C
#define RES_ADDR_LOT_HIGH_THRESHOLD_REG 0x8D
#define RES_ADDR_LOT_LOW_THRESHOLD_REG 0x8E
#define RES_ADDR_EXCITATION_FREQUENCY_REG 0x91
#define RES_ADDR_CONTROL_REG 0x92
#define RES_ADDR_SOFT_RESET_REG 0xF0
#define RES_ADDR_FAULT_REG 0xFF

//Функция, записывающая в порт resolver байт
// данных-8 бит для режима конфигурации
void Resolver_write_byte_config_mode (alt_u8 address, alt_u8 data);
//Функция, считывающая из порта spi resolver байт
// данных-8 бит для режима конфигурации
alt_u8 Resolver_read_byte_config_mode (alt_u8 address);
//функция, инициализации и конфигурации резольверов
alt_u8 Resolver_initialization();
alt_16 Resolver_read_position_in_normal_mode();
extern alt_16 Angle_norm;
extern alt_16 Current_norm;
extern alt_u8 setting_mode;

#endif /*RESOLVER_H*/
resolver.c:
#include "sys/alt_stdio.h"
#include "altera_avalon_pio_regs.h"
#include "system.h"

```

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ доквм	Підпис	Да		87

```

#include "alt_types.h"
#include "resolver.h"
#include "ACK2_main.h"

//-----
//Функция, записывающая байт
// данных-8 бит для режима конфигурации
//-----
void Resolver_write_byte_config_mode (alt_u8 address,alt_u8 data)
{
    alt_u8 i;
    // выставляем выводы A1 A0 в режим конфигурации
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_A1_A0_BASE,A1_A0_MASK_CONFIGURATION_MODE);
    //Объявляем двунаправленный порт в режим вывода (все 8 выводов)
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DIRECTION(PIO_ANGLE_BASE,ANGLE_DIRECTION_16BIT_OUTPU
T_MASK);

    // выставляем адрес регистра 8 бит в порт
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_ANGLE_BASE,address);
    // выставляем вывод CS в 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NCS_BASE,0);
    // выставляем вывод nRD в 1
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NRD_BASE,1);
    // выставляем вывод nWR в 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NWR_BASE,0);
    //задержка на 22 нс (1 такт процессора 20 нс)
    for(i=1;i<=2;i++) asm("nop");
    // выставляем вывод nWR в 1
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NWR_BASE,1);
    // выставляем вывод CS в 1
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NCS_BASE,1);
    //задержка на 10 нс
    for(i=1;i<=2;i++) asm("nop");
    // выставляем вывод CS в 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NCS_BASE,0);
    // выставляем данные 8 бит в порт
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_ANGLE_BASE,data);
    // выставляем вывод nWR в 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NWR_BASE,0);
    // задержка 240 нс между записью адреса и записью данных
    Delay_for_microsec (10);
    // выставляем вывод nWR в 1
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NWR_BASE,1);

```

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум	Підпис	Да		88

```

        // выставляем вывод CS в 1
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NCS_BASE,1);
        //задержка на 620 нс
        Delay_for_microsec (31);
    } // конец Resolver_write_byte_config_mode
    //-----
    //Функция, считывающая из порта resolver байт
    // данных-8 бит для режима конфигурации
    //-----
    alt_u8 Resolver_read_byte_config_mode (alt_u8 address)
    {
        alt_u8 i;
        // Запись адреса в порт
        // выставляем выводы A1 A0 в режим конфигурации

        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_A1_A0_BASE,A1_A0_MASK_CONFIGURATION_MODE);
        //Объявляем двунаправленный порт в режим вывода (все 8 выводов)

        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DIRECTION(PIO_ANGLE_BASE,ANGLE_DIRECTION_16BIT_OUTPUT_MASK
    );

        // выставляем адрес регистра 8 бит в порт
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_ANGLE_BASE,address);
        // выставляем вывод CS в 0
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NCS_BASE,0);
        // выставляем вывод nRD в 1
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NRD_BASE,1);
        // выставляем вывод nWR в 0
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NWR_BASE,0);
        //задержка на 22 нс (1 такт процессора 20 нс)
        for(i=1;i<=2;i++) asm("nop");
        // выставляем вывод nWR в 1
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NWR_BASE,1);
        //задержка на 10 нс
        for(i=1;i<2;i++) asm("nop");
        // выставляем вывод nRD в 0
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NRD_BASE,0);
        //задержка на 10 нс
        for(i=1;i<2;i++) asm("nop");
        //Объявляем двунаправленный порт в режим ввода (все 16 вводов)

        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DIRECTION(PIO_ANGLE_BASE,ANGLE_DIRECTION_16BIT_INTPU
T_MASK);
    }

```

```

        // чтение данных из порта
        alt_u8 rdata = IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_ANGLE_BASE);
        // return rdata;
        return rdata;
} // конец Resolver_read_byte_config_mode
//-----
//Функция чтения из регистров преобразователя резольвера
//-----
alt_16 Resolver_read_position_in_normal_mode ()
{
    alt_u8 i;
    // выставляем выходы SAMPLE в 1
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NSAMPLE_BASE,1);
    // выставляем вывод nRD в 1
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NRD_BASE,1);
    //задержка на 42 нс (1 такт процессора 20 нс)
    for(i=1;i<2;i++) asm("nop");
    // выставляем выходы SAMPLE в 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NSAMPLE_BASE,0);
    //задержка на 220 нс (1 такт процессора 600 нс)
    Delay_for_microsec (32);
    // выставляем вывод CS в 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NCS_BASE,0);
    // выставляем выходы A1 A0 в режим чтения угла
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_A1_A0_BASE,A1_A0_MASK_NORMAL_MODE_POSITION)
;
    //задержка на 220 нс (1 такт процессора 20 нс)
    Delay_for_microsec (2);
    // выставляем вывод nWR в 1
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NWR_BASE,1);
    // выставляем вывод nRD в 0
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NRD_BASE,0);
    //задержка на 42 нс (1 такт процессора 20 нс)
    for(i=1;i<3;i++) asm("nop");
    //Объявляем двунаправленный порт в режим ввода (все 16 вводов)
    IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DIRECTION(PIO_ANGLE_BASE,ANGLE_DIRECTION_16BIT_INTPUT_MASK);
    //читаем значение угла
    alt_u16 rdata =IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_ANGLE_BASE);
    alt_16 position= rdata-32760;
    //задержка на 100 нс (1 такт процессора 20 нс)
    for(i=1;i<5;i++) asm("nop");

```

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум	Підпис	Да		90

```

        // выставляем вывод CS в 1
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NCS_BASE,1);
        // выставляем вывод nRD в 1
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NRD_BASE,1);
        //задержка на 220 нс (1 такт процессора 20 нс)
        Delay_for_microsec (20);
        // return(position);
        return (position);
    }
// конец функции Resolver_read_position_in_normal_mode чтения из регистров
преобразователь резольвера
//-----
//функция инициализации
alt_u8 Resolver_initialization ()
{
    // выставляем выводы SAMPLE в 1
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NSAMPLE_BASE,1);
    //      // выставляем вывод nWR в 1
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NWR_BASE,1);
        // выставляем вывод nRD в 1
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NRD_BASE,1);
    // выставляем вывод CS в 1
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NCS_BASE,1);
        //выставляем порт в режим параллельного чтения
        IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_RES_NSOE_BASE,1);
    // IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_MUX_BASE,0 | RESOLVER_MUX_RESOLVER0_MASK);
        Resolver_write_byte_config_mode (RES_ADDR_CONTROL_REG, 0x0);
    // инициализация control регистра резольвера 0x7F=111 1111 0x5F= 0101 1111
    0xDF 1101 1111
        Resolver_write_byte_config_mode (RES_ADDR_CONTROL_REG, 0xDF);
    // инициализация регистра EXCITATION_FREQUENCY_REG резольвера 0x21
    // fclkin=10kHz(подана с ПЛИС),fexc=33=0x21-- fwc=35=0x23 fexc=10.6kHz3
        Resolver_write_byte_config_mode ( RES_ADDR_EXCITATION_FREQUENCY_REG, 0x21);
        return (1);
    }
//конец функции инициализации Resolver_initialization

```

**Програма налаштування кута:**

**ANGLE\_SETTING.h:**

```
#ifndef ANGLE_SETTING_H_
```

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		91



```

#define ANGLE_SETTING_H_
#define SW1_MASK 1
#define SW2_MASK 2 //10
#define SW3_MASK 4 //100
#define SW4_MASK 8 //1000
#define SW5_MASK 16 //10000
#define SW6_MASK 20 //100000
//функция настройки угла
alt_16 ANGLE_SETTING(alt_16 k);
//функция настройки тока
alt_16 CURRENT_SETTING(alt_16 k);
extern alt_16 Angle_norm;
extern alt_16 Current_norm;
extern alt_u8 setting_mode;
#endif /* ANGLE_SETTING_H_ */

ANGLE_SETTING.c:

#include "sys/alt_stdio.h"
#include "alt_types.h"
#include <io.h>
#include "altera_avalon_pio_regs.h"
#include "system.h"
#include "ACK2_main.h"
#include "LCD.h"
#include "resolver.h"
#include "ANGLE_SETTING.h"
//функция настройки угла
alt_16 ANGLE_SETTING(alt_16 k)
{
alt_u32 timer;
timer=0;
alt_16 resolver_angle;
alt_u32 perem_cycla;
perem_cycla=0;
if (perem_cycla==0)
{
//задержка 0,5с
while(timer==500000000)timer++;
//проверка SW_5" (ждем удержание клавиши)
if
(SW5_MASK || IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE) == 0x0)
{
Angle_norm++;
}
}
}

```

```

//вывести на ЖКИ значение угла
/* Выводим на ЖКИ-индикатор углы с устройства управления резольверами
* (переведенный из 16-разрядного кода в угол
* (код*100 (с двумя знаками после
запятой)*360/65535, в первую строчку с 10-ой позиции
* с двумя знаками после запятой

*/

//temp = PIO_2_ANGLE_BASE*100*360/65535;
LCD_print_digital_number_on_screen (Angle_norm*100*360/65535,9,2);
} //проверка SW_6" (ждем удержание клавиши)

else if
(SW6_MASK || IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE) == 0x0)
{
Angle_norm = Angle_norm - 1;
LCD_print_digital_number_on_screen
(Angle_norm*100*360/65535,9,2);
}

if
(((SW5_MASK || IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE)) == 0x01) && ((
SW6_MASK || IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE) == 0x01)))
perem_cycla = 1;
else
perem_cycla = 0;
}
return (Angle_norm);
}

//конец функции alt_16 ANGLE_SETTING(alt_16 k)
//функция настройки тока
alt_16 CURRENT_SETTING(alt_16 k)
{
alt_u32 timer;
timer = 0;
alt_u32 perem_cycla;
perem_cycla = 0;
if (perem_cycla == 0)
{
//задержка 0,5с
while(timer == 500000000) timer++;
//проверка SW_5" (ждем удержание клавиши)
if
(SW5_MASK || IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE) == 0x0)

```

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум	Підпис	Да		93

```

{
    Current_norm++;
    //вывести на ЖКИ значение угла
    /* Выводим на ЖКИ-индикатор ток
    * (переведенный из 16-разрядного кода в угол
    * (код*100(с двумя знаками после запятой)*360/65535, в первую строчку с
    10-ой позиции
    * с двумя знаками после запятой */

    //temp = PIO_2_ANGLE_BASE*100*360/65535;
    LCD_print_digital_number_on_screen
(Current_norm*100*360/65535, 9, 2);
    timer=0;
    }//проверка SW_6" (ждем удержание клавиши)

    else if
(SW6_MASK || IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE) == 0x0)
    {
        Current_norm=Current_norm-1;
        LCD_print_digital_number_on_screen
(Current_norm*100*360/65535, 9, 2);
        timer=0;
    }
    if
(((SW5_MASK || (IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE)) == 0x01) && ((
SW6_MASK || IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE) == 0x01)))
        perem_cycla=0;
        else
            perem_cycla=1;
    }
    return (Current_norm);
}

//конец функции alt_16 CURRENT_SETTING(alt_16 k)
//функция настройки режима
alt_u8 MODE_FORMATION(void)
{
    alt_32 timer;
    if (SW2_MASK || IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE) == 0x1)
    {

        if (SW1_MASK || IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE) == 0x0)
        {

```

```

//установить режим работа
setting_mode=1

setting_mode=1;
//включить диод LED1

IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LED2_LED1_BASE,0x1);
//установить начальные значения
while (timer==25000000) //проверка SW_1" (ждем
удержание клавиши)
{
if
(SW1_MASK||IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE)==0x0)
timer=0;
else
timer++;
}
//отображение режима работа на ЖКИ дисплее
Out_WORKING();
}
}
else
{
//установить режим настройка setting_mode=0
setting_mode=0;
//выключить диод LED1 и включить диод LED2

IOWR_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_LED2_LED1_BASE,0x2);
if
(SW3_MASK||IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE)==0x1)
{
if
(SW4_MASK||IORD_ALTERA_AVALON_PIO_DATA(PIO_KEYBOARD_SW6_SW1_BASE)==0x0)
//установить режим "настройка тока"
setting_mode=2;
}
else
//установить режим "настройка угла"
setting_mode=3;
}
return (setting_mode);
}

```

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		95

```
//конец функции alt_u8 MODE_FORMATION(void)
```

### Програма синтезу ШІМ-контролера:

```
`timescale 1 ns/ 10 ps
```

```
/*
```

Модуль формирования общего сброса

```
*/
```

```
module REST_Global
```

```
(
```

```
    input wire    CLK_IN,
```

```
    input wire    PLL_OK,
```

```
    // Описание выходных сигналов схемы
```

```
    output reg    n_RESET
```

```
);
```

```
    // объявление переменных
```

```
    reg [7:0] ST_REST;
```

```
    //начальная установка всех регистров
```

```
    initial
```

```
    begin
```

```
        n_RESET = 0;
```

```
        ST_REST = 0;
```

```
    end
```

```
        // Счетчик задержки
```

```
    always @(posedge CLK_IN or negedge PLL_OK)
```

```
    begin
```

```
        if (!PLL_OK)
```

```
        begin
```

```
            ST_REST <= 8'b0;
```

```
        end
```

```
        else if (!n_RESET)
```

```
        begin
```

```
            ST_REST <= ST_REST;
```

```
        end
```

```
        else
```

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ доквм	Підпис	Да		96

```

begin
    ST_REST <= ST_REST +1 ;
end
end
always @(posedge CLK_IN or negedge PLL_OK)
begin
    if (!PLL_OK)
    begin
        n_RESET <= 0;
    end
    else if (ST_REST > 224)
    begin
        n_RESET <= 1;
    end
    else
    begin
        n_RESET <= 0;
    end
end
end
endmodule //REST_Global

```

### Програма синтезу контролера АЦП:

```

module AD7687
(
//input wire BUSY,
input wire RESET,
input wire CLK,
input wire DATA_IN, //ВХОДЫ АЦП

output reg CNV, //ВХОДА АЦП
output wire SCK,
output reg [4:0] ST,
output reg [15:0] SHIFT_REG_REC,
output reg [15:0] DATA_OUT_ADC

```

);

reg enable;

//reg [1:0] ST\_1;

reg [2:0] state;

wire HOLD\_CLK,HOLD\_CLK2,HOLD\_CLK3,HOLD\_CLK1;

//ss mashine с состоянием S1,S2,S3,S4,S5,S6

parameter S0=3'b000, S1=3'b001, S2=3'b010, S3=3'b011, S4=3'b100, S5=3'b101, S6=3'b110;

//вводим Lcell , чтобы избавиться от гонок в SCK, который переключается по состоянию S5

LCELL HOLD\_1CLK (.in(CLK), .out(HOLD\_CLK));

LCELL HOLD\_2CLK (.in(HOLD\_CLK),.out(HOLD\_CLK1));

LCELL HOLD\_3CLK (.in(HOLD\_CLK1), .out(HOLD\_CLK2));

LCELL HOLD\_4CLK (.in(HOLD\_CLK2),.out(HOLD\_CLK3));

wire wireCLK;

initial

begin

ST <= 0;//присваиваем начальные значения регистрам

//ST\_1 <= 2'b0;

state<=3'b0;

enable<=0;

CNV<=0;

SHIFT\_REG\_REC<=0;

DATA\_OUT\_ADC<=0;

end

//описание счетчика ST для подсчета принятых SPI бит(16)

//счетчик обнуляется по !RESET

always @(posedge CLK or negedge RESET)

begin

if (!RESET)

ST<=1'b0;

else if (enable ==1'b0 || (state==S0))

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум	Підпис	Да		98

```

        ST<=1'b0;
        else if (enable ==1'b1)
            ST<=ST+1'b1;
    end

assign wireCLK = (state==S5) ? (~HOLD_CLK3) : 1'b1;
assign SCK = wireCLK;
//описание сдвигового регистра получателя
always@(negedge SCK)
begin
    if(!RESET)
        SHIFT_REG_REC<=0;
    else if (state==S5)
        begin
            SHIFT_REG_REC[15:0]<= {SHIFT_REG_REC[14:0], DATA_IN};
            //SHIFT_REG_REC[0]<=DATA_IN;
        end
end

always@(posedge CLK)
begin
    if (state==S6)
        begin
            DATA_OUT_ADC=SHIFT_REG_REC[15:0];//сохраняем
померянное значение
        end
end

//описание машины состояния устройства
always@(posedge CLK)
begin
    if(!RESET)//исходное состояние -обнуляем счетчик и сдвиговый
регистр приемника
        state<=S0;
    else
        case(state)

```



```

S0:
    state<=S1;
S1://если DATA_IN=1 переходим в состояние S2, иначе
возвращаемся в S0
begin
    if(!DATA_IN)
        state<=S0;
    else
        state<=S2;
end
S2:
    state<=S3;
S3://если ложное срабатывание DATA_IN(0 после 1)-
сидим в S3, иначе переход в S4
begin
    if(!DATA_IN)
        state<=S3;
    else
        state<=S4;
end
S4:
    state<=S5;
S5:
begin
    if(ST<15)
        state<=S5;//выдача SCK, считывание
D15..D0

    else
        state<=S6;//возврат в состояние S0
end
S6:
begin
    if (ST<30)
        state<=S6;

```

```

        else
            state<=S0;
        end
        default: state<=S0; // значение по умолчанию
    endcase
end
always@(posedge CLK) //разрешение на включение шифтового регистра
begin
    if(state==S5 || state==S6)
        enable<=1;
    else
        enable<=0;
    end
//операции CNV в конечном автомате
always@(posedge CLK or negedge RESET)
begin
    if(!RESET)
        CNV<=0;
    else if(state==S6)
        CNV<=0;
    else
        CNV<=1;
    end
endmodule

```

**Додаток В.**

**ХІ МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ  
ВЧЕНИХ «ЕЛЕКТРОНІКА-2018»**

**Белаш Б.О. МОДУЛЬ УПРАВЛЕННЯ СЕРВОДВИГАТЕЛЕМ ПО  
ПОЛОЖЕННЮ**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ «СПІЛКА ЖІНОК-ФАХІВЦІВ У  
ТЕХНІЧНИХ НАУКАХ «ПАНІ НАУКА»»

**ХІ МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА  
КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ  
«ЕЛЕКТРОНІКА-2018»**

Збірник статей

Київ 2018

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		102

новітній підхід до пошуку радіаційних аномалій та його РЕАЛІЗАЦІЯ	
Рекомендація:	
<b>17. Д.В. Солдатов</b>	<b>220</b>
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ VOIP КОДЕКІВ	
Рекомендація:	
<b>18. Б.О.Белаш</b>	<b>224</b>
МОДУЛЬ УПРАВЛІННЯ СЕРВОДВИГАТЕЛЕМ ПО ПОЛОЖЕННЮ	
Рекомендація:	
<b>19. Oleksii Mykhniak</b>	<b>228</b>
ПРОБЛЕМАТИКА ВЕРИФІКАЦІЇ ПРОГРАМ	
Рекомендація:	

#### СЕКЦІЯ №5: «ФІЗИЧНА ТА БІОМЕДИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА»

<b>1. О.О. Москаленко</b>	<b>234</b>
РЕАЛІЗАЦІЯ ВЕКТОРНОГО АНАЛІЗАТОРА МІКРОХВИЛЬОВИХ ПАРАМЕТРІВ КІЛ НА ОСНОВІ ОДНОГО ПРИЙМАЧА	
Рекомендація:	
<b>2. В.О. Кицало, С.С. Коваль</b>	<b>239</b>
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ОБРОБКИ ТА АНАЛІЗУ СЦИНТИГРАФІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ГОЛОВНОГО МОЗКУ	
Рекомендація:	
<b>3. I. Seleznev</b>	<b>243</b>
CLASSIFICATION OF HUMAN EMOTIONAL STATES BASED ON PHYSIOLOGICAL SIGNALS	
Рекомендація:	
<b>4. М.М. Федорчук, Н.В. Нестеренко</b>	<b>249</b>
АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЛИБОКОЇ ЗГОРТКОВОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ	
Рекомендація:	
<b>5. О.С. Павлова</b>	<b>253</b>
АЛГОРИТМ АНАЛІЗУ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ МЕХАНІЧНИХ СКОРОЧЕНЬ КАРДІОМІОЦИТІВ В МІКРОЧІПІ	
Рекомендація:	
<b>6. В. В. Карпенко</b>	<b>257</b>
ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТЕЙ В ЖИВИХ ТКАНИНАХ	
Рекомендація:	

ELCONF-2018, <http://elconf.kpi.ua>

## МОДУЛЬ УПРАВЛЕНИЯ СЕРВОДВИГАТЕЛЕМ ПО ПОЛОЖЕНИЮ

Б.О.Белаш

КПИ им. Игоря Сикорского, Факультет электроники, Киев, Украина, e-mail: [bogdanbelash35@gmail.com](mailto:bogdanbelash35@gmail.com)

Рассмотрена структура и принцип работы модуля управления. Модуль используется для лабораторных исследований работы серводвигателя в разных режимах и положениях. Модуль должен принимать все входные аналоговые сигналы с двигателя – обрабатывать их и формировать управляющие сигналы. Возможность переключения режимов осуществляется оператором с помощью клавиатуры. Информация о состоянии работы двигателя, режимах работы отображается на экране индикатора.

The structure and operating principle of the control module are considered. The module is used for laboratory studies of servo motor operation in different modes and positions. The module must receive all input analog signals from the motor - process them and generate control signals. The ability to switch modes is performed by the operator using the keyboard. Information about the status of the engine, modes of operation is displayed on the indicator screen.

**Ключевые слова:** пульт, серводвигатель, FPGA, датчик, АЦП, ШИМ

**Key words:** remote controller, servomotor, FPGA, sensor, ADC, PWM

### Вступление

Для корректной работы высокотехнологичных узлов и агрегатов каждому механизму требуется электронный блок управления. Для испытания конкретного серводвигателя необходимо разработать модуль, который должен обеспечивать измерение и контроль следующих величин в лабораторных условиях:

- мгновенное и среднее значение тока, протекающего в обмотках двигателя, его форму.
- угловое положения ротора двигателя.
- угловую скорость ротора.
- момент, развиваемый двигателем при вращении ротора с заданной скоростью.
- пусковой момент двигателя.
- переходные процессы разгона / торможения двигателя без инерционной массы и с ней.
- форма и величина генерируемого обмотками двигателя напряжения при вращении с заданной скоростью.

### Структура устройства

В состав модуля управления входит цифровой контроллер. Он реализован на FPGA с применением встроенного процессорного ядра Nios II. Дополнительно, к процессорному ядру подключаются необходимые для формирования управляющих сигналов контроллер АЦП и ШИМ контроллер. Эти устройства описаны на языке HDL и синтезируются в FPGA архитектуре. Кроме цифрового контроллера, в состав модуля входят драйвер датчика угла, АЦП, индикатор и кнопки управления (клавиатура). Сигналы управления с контроллеров АЦП и ШИМ передаются дифференциальными парами для повышения помехоустойчивости.

Модуль управления взаимодействует с серводвигателем по каналу RS-422.

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докum	Підпис	Да		104

Испытуемая конструкция состоит из серводвигателя, датчика угла, датчика крутящего момента. Базовым элементом системы измерения крутящего момента является датчик крутящего момента T20WN.

Структура модуля управления представлена на Рис. 1. Блок серводвигателя, модуль

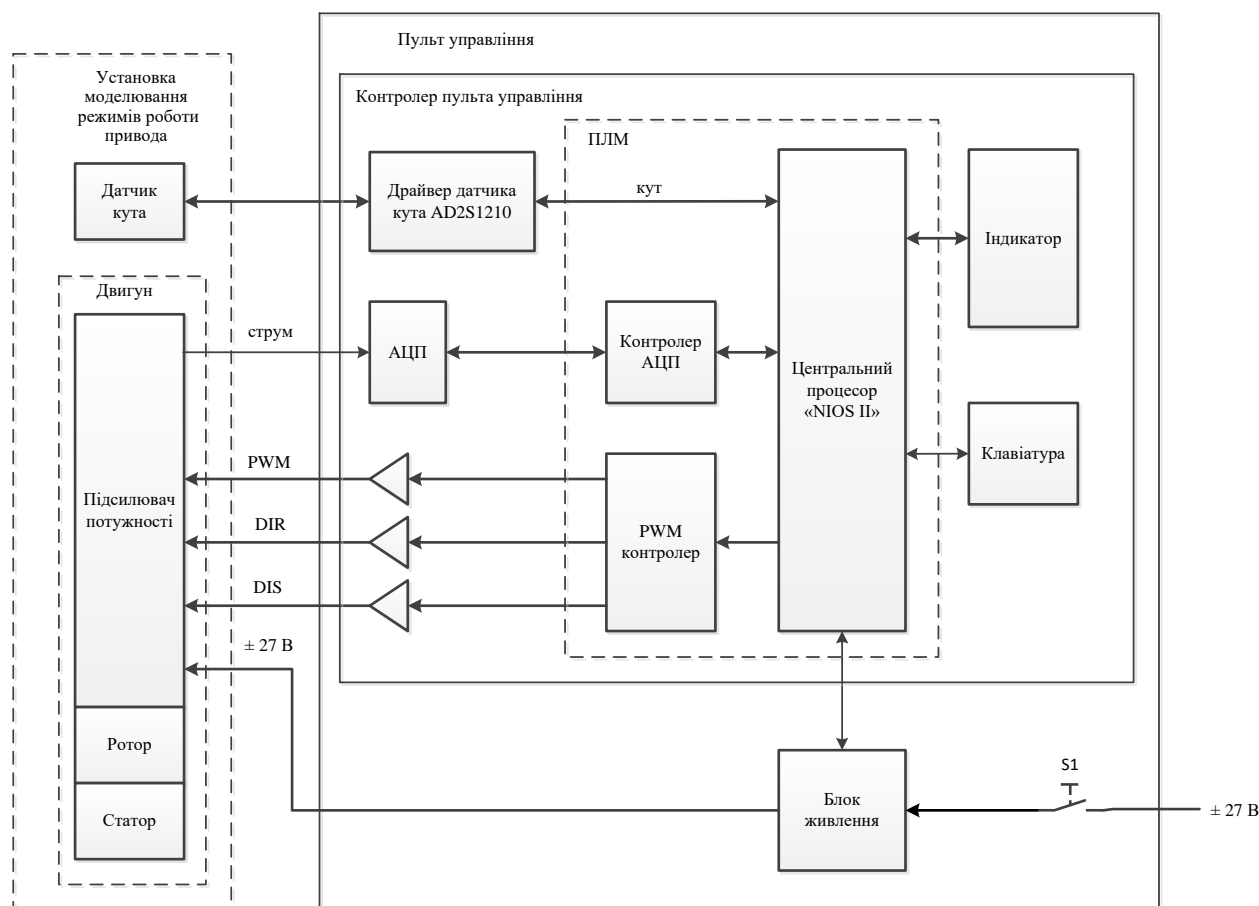


Рис. 1 Структура модуля управления

### Принцип работы устройства

Модуль предназначен для формирования управляющих сигналов для испытуемого двигателя, измерения углового положения ротора и тока двигателя.

В схеме измерения угла поворота ротора применяется датчик TS2640N691E125, расположенный непосредственно на оси испытуемого двигателя и микросхема преобразователя угол / код AD2S1210 в модуле управления. Измеренное значение угла поворота оси ротора двигателя поступает по параллельной 16-ти разрядной шине на цифровой контроллер. Это значение отображается на индикаторе и используется в алгоритме формирования управляющих сигналов на серводвигатель (при выборе соответствующего режима работы). Конструктивно, в двигателе применяется датчик тока, выходной сигнал которого поступает на схему измерения, представляющую собой 16-ти разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП).

Схема АЦП изображена на Рис. 2.

Для управления серводвигателем цифровой контроллер формирует и выдает следующие сигналы управления: PWM, DIR, DIS. PWM – это широтноимпульсный модулированный сигнал,

управляющий скоростью вращения двигателя. DIR – сигнал выбора направления вращения. DIS – сигнал разрешения работы двигателя.

Функционально, модуль управления двигателем имитирует работу бортового контроллера платформы, замыкая обратную связь по положению от датчика угла поворота ротора в соответствии с заданным режимом работы. Информация о токе и угле положения двигателя выводится на индикатор модуля. Дополнительно, обеспечивается режим ограничения тока и угла поворота.

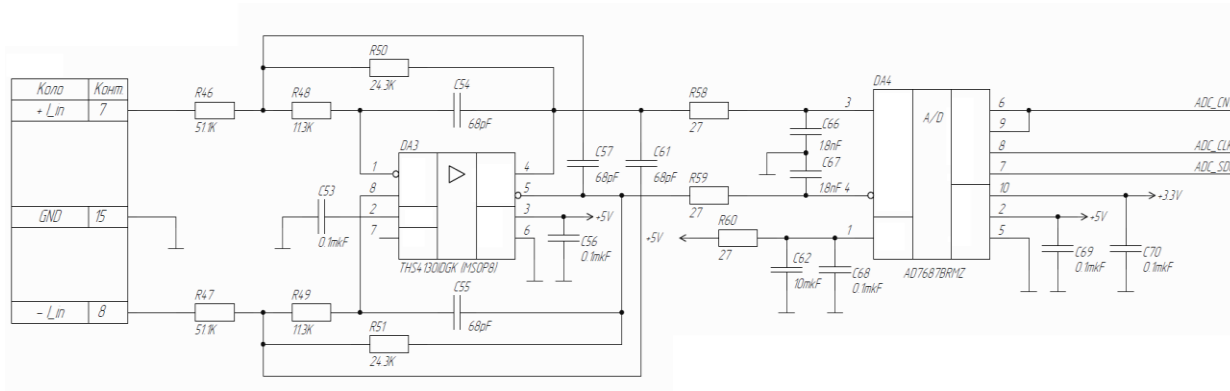


Рис. 2 Схема аналого-цифрового преобразователя

Схема индикации обеспечивает визуализацию заданного режима работы и значение следующих параметров:

- максимально допустимого угла поворота ротора;
- максимально допустимого значения величины тока двигателя;
- номинального значения тока двигателя;
- текущего значения угла поворота ротора;
- текущего значения тока двигателя.

Алгоритм обработки сигналов обратной связи и формирования сигналов управления двигателем реализован на языке С.

### Выводы

Целью данной работы было создание модуля управления серводвигателем по положению. В результате было спроектировано устройство, которое принимает и обрабатывает аналоговые сигналы с датчиков двигателя и формирует управляющие сигналы. Основным вычислительным элементом модуля является встроенный процессор Nios II, который обрабатывает только цифровые сигналы. Для обработки аналоговых сигналов в структуру модуля были добавлены драйвер датчика угла и АЦП. Таким образом, в зависимости от текущих значений угла поворота, центральный процессор формирует цифровые управляющие сигналы. ШИМ контроллер, получая эти сигналы, генерирует соответствующие управляющие аналоговые сигналы. Для повышения помехоустойчивости, было принято решение использовать для передачи выходных аналоговых сигналов дифференциальные пары. Проведенная работа и спроектированное устройство подтверждают оптимальность принятых схемотехнических и конструкторских решений, а также перспективность для дальнейших исследований.

### Литература

1. Гусев Н.В., Букреев В.Г. Системы цифрового управления многокоординатными следящими электроприводами: учебное пособие – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. - 213с.
2. Бабаков Н.А., Воронов А.А., Воронова А.А., Теория автоматического управления: Учебник для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2 ч. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1986. – 367с.
3. Бабаков Н.А., Воронов А.А., Воронова А.А., Теория автоматического управления: Учебник для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2 ч. Ч.2. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1986. – 504с.
4. Управление электродвигателями [электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.symmetron.ua/files/d\\_3\\_Motor-Control\\_ru.pdf](http://www.symmetron.ua/files/d_3_Motor-Control_ru.pdf)

**Рекомендовано к публикации:** ст. преподаватель Антонюк А.И.

КПИ им. Игоря Сикорского, Факультет электроники, кафедра КЭВА, Киев, Украина

					<b>ДК41.468224.001 ПЗ</b>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум	Підпис	Да		107



## Додаток Г

### IntelFPGA: Innovate FPGA 2018

**Bogdan Belash. Motor control module by position.**

<http://www.innovatefpga.com/cgi-bin/innovate/teams.pl?Id=EM087>

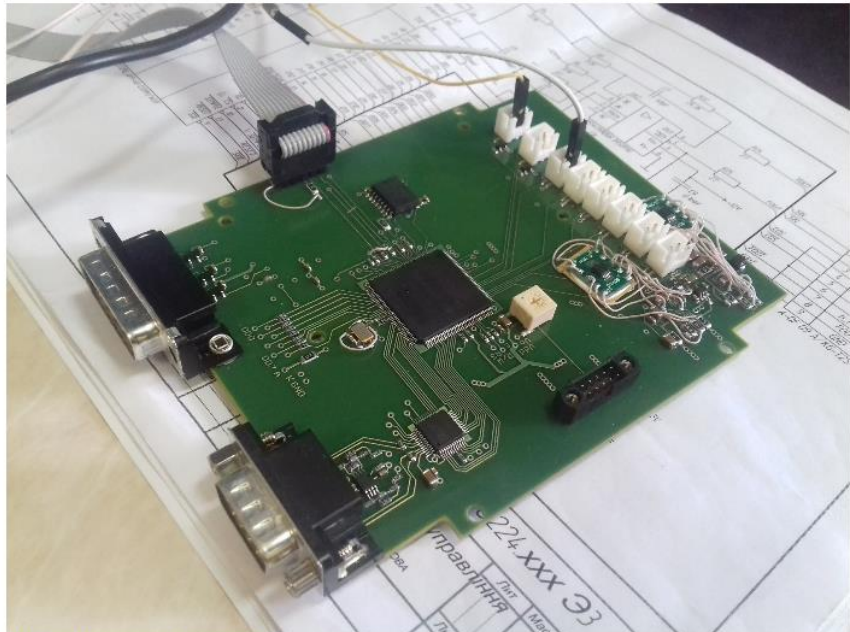


EM087 »  
Motor control module by position  
Digital Design  
Bogdan Belash  
(Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute)  
May 31, 2018

**SEMIFINAL**

**Judge Comments**

54076 19



EM087 » Motor control module by position

Motor control module by position. This module is designed to control the DC motor by position. The field of application is high-precision electric drives. The task is to provide precise control and stopping of the engine at a given position of the motor rotor. The field of application is automotive (in particular electric vehicles), precise positioning systems.

The motor control circuit provides the PWM control signal (speed control of the signal), the signal that determines the direction of rotation of the DID. Additional signals used in the engine control process are the motor winding current, the power voltage, and the temperature of the motor windings.

The purpose of this work is the development of an engine control algorithm implemented on FPGAs in order to provide sufficient accuracy and speed of working out the given engine position.

Додаток Д.

ХVII ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ УЧЕНИХ ТА  
СТУДЕНТІВ

*«Наукові розробки молоді на сучасному етапі»*

Білаш Б.О. - Способи керування серводвигуном

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет технологій та дизайну  
Асоціація підприємств легкої промисловості



**ПРОГРАМА**  
ХVII ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ  
НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ  
МОЛОДИХ УЧЕНИХ ТА СТУДЕНТІВ

*«Наукові розробки молоді  
на сучасному етапі»*

26 – 27 квітня



2018

					ДК41.468224.001 ПЗ	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум	Підпис	Да		109

- студ. Чупира В. О., гр. МгМЕ-17  
наук. керівник доц. Кравченко О.П.
3. Напівмостовий інвертор із самозбудженням  
студ. Роговий М. П., гр. МгМЕ-17  
наук. керівник доц. Смолянinov В.Г.
4. Однофазний перетворювальний агрегат комбінованої системи електроживлення для фотоелектричної батареї  
студ. Підгайний М. О., гр. МгМЕ-17  
наук. керівник доц. Кравченко О.П.
5. Відстеження точки максимуму потужності в системах з фотоелектричною батареєю  
студ. Бушинський А.В., гр. БЕЕ-14  
наук. керівник доц. Кравченко О.П.
6. Розробка системи енергоменеджменту сучасного підприємства  
студ. Бушинський А.В., гр. БЕЕ-14  
наук. керівник проф. Шведчикова І.О.
7. Конструктивні різновиди електромеханічних пристроїв для студ. нітної очистки.  
студ. Масляник І.В., гр. БЕЕ-14  
наук. керівник проф. Шведчикова І.О.
8. Порядок проведення енергетичного обстеження виробничого об'єкту університету  
студ. Романовський С.О., гр. БЕЕ-14  
наук. керівник проф. Шведчикова І.О.
9. Способи керування серводвигуном  
студ. Білаш Б.О.  
наук. керівник ст. викл. Антошок О.І.  
(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)
10. Багатоканальний генератор для імітації сигналів датчиків  
студ. Кисель М.О.  
наук. керівник ст. викл. Антошок О.І.  
(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)
11. Розумне освітлення  
студ. Халченко О.В.  
наук. керівник Губар В.Г.  
(Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»)
12. Система автоматизованого поливу

## МЕТОДИ КЕРУВАННЯ СЕРВОДВИГУНАМИ.

Студ. Б.О. Білаш, гр. ДК-41  
 Науковий керівник ст. викладач Антонюк О.І  
 НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»

**Мета і завдання.** Мета: дослідження методів керування серводвигуном. Серводвигун, в першу чергу, призначений не для відтворення корисної механічної роботи, а для відтворення заданого закону руху виконавчих органів механізму. Завдання: дослідити склад та особливості роботи серводвигуна та розробити пристрій, який буде керувати серводвигуном за сформованим в процесі аналізу алгоритмом.

**Об'єкт та предмет дослідження.** Об'єкт: серводвигун, який обертається з певною швидкістю та напрямком завдяки величині струму в обмотках резольвера. Предмет: пристрій, який формує величину струму для керування серводвигуном за обраним методом.

**Методи та засоби дослідження.** За допомогою датчиків положення і моменту обертання, які знаходяться на роторі, визначається стан серводвигуна. За цими даними формуються відповідні керуючі сигнали, що повертаються до серводвигуна.

**Наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.** Запропоновано використовувати FPGA технологію з застосуванням вбудованого процесору. Сигнали з датчиків положення і моменту обертання перетворюються у цифровий код за допомогою зовнішніх АЦП. Керуючі сигнали генеруються у FPGA у вигляді ШИМ-сигналів. Наукова новизна полягає в можливості швидко змінювати методи керування серводвигуном (без зміни апаратної частини) та застосування більш складних комбінованих методів керування.

**Результати дослідження.** В результаті розроблено універсальний модуль керування серводвигуном. Модуль приймає і обробляє аналогові сигнали з датчиків двигуна і формує відповідні керуючі сигнали. Основним обчислювальним елементом модуля є вбудований процесор Nios II, який обробляє тільки цифрові сигнали. Для обробки аналогових сигналів в структуру модуля були додані драйвер датчика кута і АЦП. Таким чином, в залежності від поточних значень кута повороту, центральний процесор формує цифрові сигнали. ШИМ контролер, отримуючи ці сигнали, генерує відповідні керуючі аналогові сигнали. Для підвищення завадостійкості, було прийнято рішення використовувати для передачі вихідних аналогових сигналів диференціальні пари. Проведена робота і спроектований пристрій підтверджують оптимальність прийнятих схемотехнічних і конструкторських рішень, а також перспективність для подальших досліджень. Структурна схема модулю представлена на Рисунку 1.

**Висновки.** Розглянуто структуру та принцип роботи модуля управління. Модуль приймає всі вхідні аналогові сигнали з двигуна, обробляє їх і формує керуючі сигнали. Можливість перемикавання режимів здійснюється оператором за допомогою клавіатури. Інформація про стан роботи двигуна, режимах роботи відображається на екрані індикатора.

**Ключові слова.** серводвигун, модуль, керуючі сигнали, FPGA, датчик

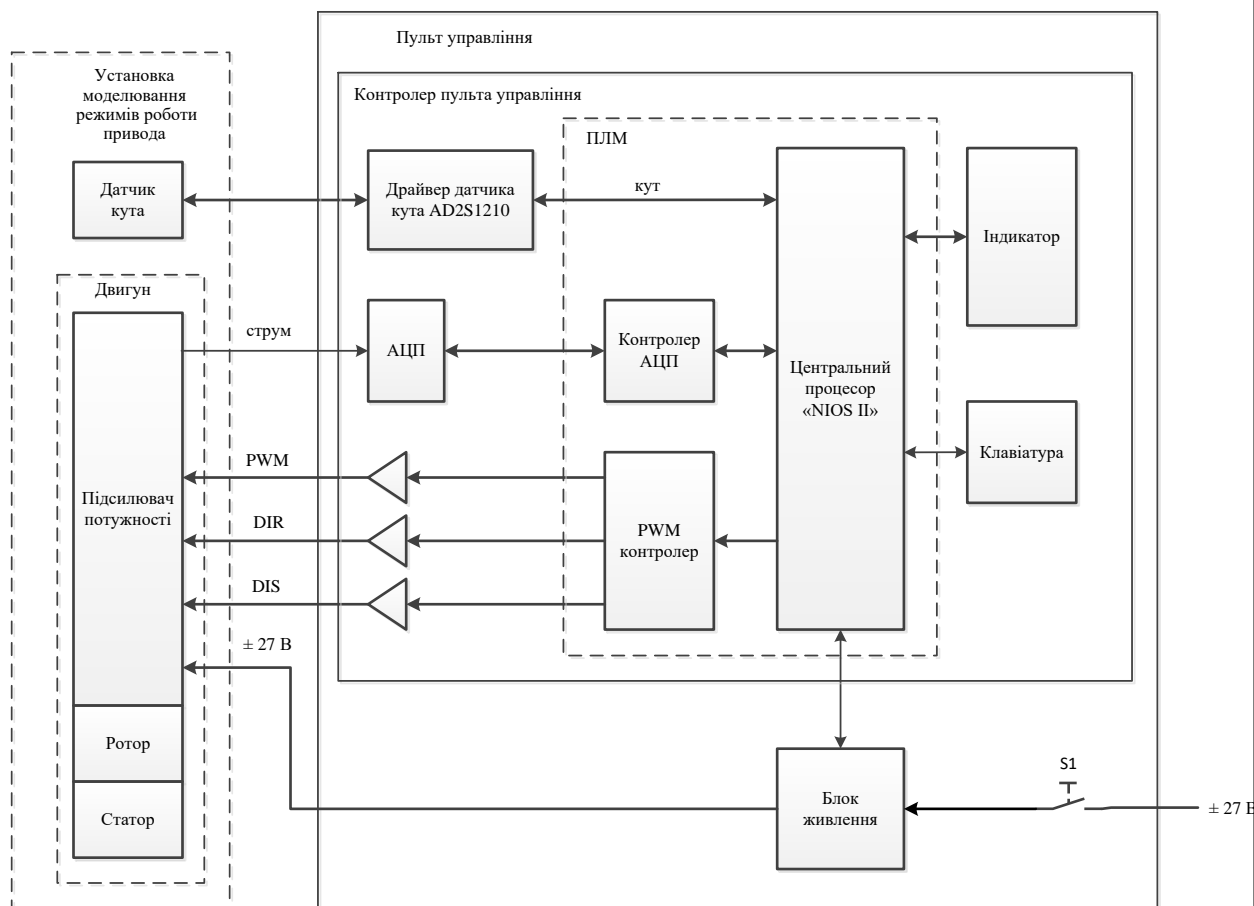


Рисунок 1. Структурна схема модулю.

## ЛІТЕРАТУРА

- Гусев Н.В., Букреев В.Г. Системы цифрового управления многокоординатными следящими электроприводами: учебное пособие – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. - 213с.
- Бабаков Н.А., Воронов А.А., Воронова А.А., Теория автоматического управления: Учебник для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2 ч. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1986. – 367с.
- Бабаков Н.А., Воронов А.А., Воронова А.А., Теория автоматического управления: Учебник для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2 ч. Ч.2. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. – М.: Высшая школа, 1986. – 504с.
- Управление электродвигателями [електронний ресурс] – Режим доступу: [http://www.symmetron.ua/files/d\\_3\\_Motor-Control\\_ru.pdf](http://www.symmetron.ua/files/d_3_Motor-Control_ru.pdf)