

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
тракторів і автомобілів**
(назва кафедри)

_____ Калінін Є.І.
(підпис) (ПІБ)

« _____ » _____ 2025 р.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА

**на тему «Вдосконалення експлуатації гідравлічних рульових підсилювачів
автомобілів у сільському господарстві»**

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

_____ Сівак І.М.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

_____ Калінін Є.І.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав

_____ Оліх Владислав Віталійович
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2025р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тракторів і автомобілів

д.т.н., професор _____ Калінін Є.І.
(науковий ступінь, вчене ваня) (підпис) (ПІБ)
“ ____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту

Оліх Владислав Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Вдосконалення експлуатації гідравлічних рульових підсилювачів автомобілів у сільському господарстві»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «26» листопада 2024 р. №2098 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру 19.05.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до дипломного проєкту бакалавра Нормативно довідкова література. Види та характеристики підсилювачів керма.

Перелік питань які потрібно розробити

Вступ; 1 Електропідсилювач рульового управління на основі вентиляно-індукторного двигуна; 2 Розробка структурної схеми електропідсилювача; 3 Розробка принципової схеми електронного блоку; 4 Розрахунок електричної принципової схеми електронного блоку; 5 Алгоритм роботи системи; Висновки; Список використаних джерел

Перелік графічного матеріалу

1.Структурна схема; 2.Структурна схема процесора; 3.Структурна схема алгоритму роботи основної програми; 4.Структурна схема алгоритму роботи підпрограми «Компенсація»; 5.Структурна схема алгоритму роботи підпрограми обробки події «Зчитування порту»; 6. Структурна схема алгоритму роботи підпрограми обробки події «Кінець перетворення».

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2025 р.

Керівник дипломного проєкту бакалавра _____

(підпис)

Калінін Є.І.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Оліх В.В.

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Основна частина дипломного проекту викладена на 51 сторінках пояснювальної записки і 9 слайдів презентації та ілюстрована 14 рисунком.

Пояснювальна записка складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаної літератури.

Тема дипломного проекту: «Вдосконалення експлуатації гідравлічних рульових підсилювачів автомобілів у сільському господарстві».

Об'єкт розробки: розробка електронного блоку керування електропідсилювачем керма на базі вентиляно-індукторного двигуна.

Мета та завдання роботи. Метою та завданням дипломного проекту є розробка електронного блоку керування електропідсилювачем керма на базі вентиляно-індукторного двигуна, розробити структурну та розраховано принципову схему, скласти докладний алгоритм роботи.

Новизна розробки даного дипломного проекту полягає в застосуванні розробленого електронного блоку керування електропідсилювачем керма на базі вентиляно-індукторного двигуна на легковому автомобілі вітчизняного виробництва.

Ключові слова: автомобіль, алгоритм, вентиляно-індукторний двигун, електропідсилювач керма, електродвигун.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Електропідсилювач рульового керування на основі вентильно-індукторного двигуна	10
2 Розробка структурної схеми електропідсилювача	16
3 Розробка принципової схеми електронного блоку	21
3.1 Опис мікроконтролера.....	21
3.2 Розробка схеми датчика швидкості	27
3.3 Розробка схеми датчика положення ротора	28
3.4 Розробка схеми датчика моменту	29
3.5 Розробка схеми блоку вихідних ключів	29
3.6 Розробка схеми підсилювача сигналу	31
3.7 Розробка схеми блоку сполучення.....	32
3.8 Розробка схеми стабілізатора напруги	33
4 Розрахунок електричної принципової схеми електронного блоку.....	34
4.1 Розрахунок вхідних фільтрів	34
4.2 Розрахунок елементів датчика положення ротора	34
4.3 Розрахунок схеми блоку вихідних ключів	36
4.4 Розрахунок схеми підсилювача сигналу	38
4.5 Розрахунок схеми блоку сполучення	39
4.6 Розрахунок схеми стабілізатор напруги	40
5 Алгоритм роботи системи	41
5.1 Забезпечення пожежної безпеки	46
Висновок	48
Список використаних джерел.....	49
Додатки	51

Вступ

В даний час на легкових та вантажних автомобілях застосовуються підсилювачі рульового керування трьох типів - гідравлічні, електрогідравлічні та суто електричні. Причому перші – з кожним роком дедалі менше і небезпідставно. По-перше, гідронасос даного підсилювача жорстко пов'язаний з двигуном автомобіля і, отже, на малих частотах обертання колінчастого валу, його продуктивність буває недостатньою, на великих – навпаки, надмірною. Це означає, що, наприклад, при паркуванні, коли кермо потрібно повертати на великі кути, чутливість керування виявляється занадто низькою, а на великих швидкостях руху надмірно великий. Щоб уникнути того й іншого, доводиться вбудовувати до системи додаткові автоматичні пристрої, тобто ускладнювати і дорожчати її. По-друге, на привід насоса витрачається до 4-5% потужності двигуна, що збільшує витрату палива. Нарешті, по-третє, насос і обслуговуючий його пристрій, трубопроводи і виконавчий механізм - конструкція громіздка і складна, багато деталей і вузлів якої вимагають прецизійної обробки і складання, що, безсумнівно, не тільки здорожує всю систему, але й робить недостатньо надійною.

У електрогідравлічних підсилювачах привід гідронасоса електричний, причому нерідко – з електронним блоком управління, що дозволяє змінювати продуктивність насоса (означає, і чутливість кермового керування) по будь-якій, у тому числі в залежності від швидкості руху транспортного засобу та кута повороту кермового колеса, програмі. Іншими словами, електропривод позбавляє кермо від одного з головних недоліків, властивого управлінню з гідропідсилювачем. Однак найперспективнішим вважається, і теж не без причин, електричний підсилювач. Він економічний від гідравлічного, і електрогідравлічного, тому що енергія споживається тільки при перекладці керма і, крім того, береться не безпосередньо від двигуна, а від акумуляторної батареї та електрогенератора.

Застосування електроенергії в підсилювачах розширює діапазон оптимізації характеристик кермового керування транспортного засобу з позиції керованості та стійкості пересування та ергономіки. Електропідсилювачі з використанням компактних високооборотних електродвигунів постійного струму, що регулюються, мають високу швидкодію і забезпечують підсилювачу точну слідкуючу дію. Також вони відрізняються великою економічністю, оскільки споживання енергії відбувається лише за включенні підсилювача; малим рівнем шуму, високими демпфуючими характеристиками та швидкодією, легкістю забезпечення змінного реактивного впливу, залежного від швидкості руху та інших факторів. Електропідсилювач керма, як правило, встановлюють двома способами. У першому випадку електродвигун і редуктор знаходяться на рульовій колонці, повний момент виходить з валу рульового колеса. У другому випадку редуктор монтується на саму рейку. Цей спосіб установки робить рульову колонку мобільною і не перевантажує пов'язані з нею деталі.

Головною вадою електропідсилювача на відміну від гідروпідсилювача є перегрів. Навантажений режим роботи, наприклад, тривале пересування сирією ґрунтовій дорозі призводить до того, що електродвигун підсилювача перегрівається. Для того, щоб електродвигун не вийшов з ладу, ЕБК ставить обмеження на максимальний струм. Це призводить до того, що електропідсилювач працює в обмеженому режимі або повністю вимикається. Щоб відновити працездатність підсилювача, доводиться зупинити рух автомобіля на деякий час, з метою охолодження обмоток електродвигуна. Електричні підсилювачі легко поєднуються із електронними системами.

Крім того, електропідсилювач має такі переваги перед звичайним гідропідсилювачем:

1. Технологічність установки – електропідсилювач монтується одним вузлом в автомобіль, не торкаючись моторного відсіку;
2. Час встановлення – менше 2 годин;

3. Надійність – відсутність компонентів у гідروідсилювачах (патрубки, насос, рідини);

4. Екологічність;

5. Економічність – відсутність додаткової витрати палива, тому що електроідсилювач працює тільки при обертанні кермом та в основному під час пересування на низьких оборотах;

6. Інформативність – електроідсилювач збільшує зусилля на рульовому колесі у разі зростання швидкості руху транспортного засобу;

7. Ціна - електроідсилювач набагато дешевше, ніж гідроідсилювач.

1 ЕЛЕКТРОПІДСИЛЮВАЧ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ НА ОСНОВІ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО ДВИГУНА

Електропідсилювач не потребує застосування гідронасосу, шлангів, робочої рідини, а також шківів ремінного приводу на двигуні. Фактично підсилювач повністю незалежний від двигуна і може працювати повністю від акумулятора.

Електропідсилювач використовує інформацію від електронного датчика швидкості автомобіля та датчиків моменту на рульовому колесі. Ці та інші сигнали передаються в електронний модуль, який аналізує інформацію, що надійшла, і відповідно до алгоритму управління визначає напрямок повороту і необхідну величину крутного моменту підсилювача. Блок управління формує відповідну команду виконавчому електродвигуну з регульованою частотою обертання валу, який пов'язаний із механізмом кермового управління. В результаті виходить адаптивна система, яка постійно забезпечує оптимальне значення параметрів підсилювача в залежності від швидкості та умов руху.

Електропідсилювач задовольняє різним вимогам, що пред'являються до кермового керування автомобіля. Якщо в системі порушується електропостачання, автоматично передбачається можливість механічного керування водієм. У традиційних системах кермового керування після повороту та подальшого звільнення кермового колеса водій зазвичай повинен докласти зусилля, що сприяє поверненню кермового колеса в середнє положення. При використанні електропідсилювача система автоматично повертає кермо в середнє положення за допомогою електромотора, забезпечуючи при цьому необхідне демпфування, що запобігає зайвому повороту керма.

Крім покращення паливної економічності застосування електропідсилювача підвищує безпеку руху та екологічність у порівнянні з гідропідсилювачами.

Найважливішим вузлом електропідсилювача є електродвигун, що служить створення механічного моменту. Саме від нього залежать основні характеристики всього пристрою.

Досить довгий час машини постійного струму з колектором мали кращі показники перетворення енергії, регульовальні властивості і були кращими в електропідсилювачах. Бажання виключити щітково-колекторний апарат призвело до виникнення синхронних машин із постійними магнітами на роторі. Комутація фаз статорної обмотки провадиться електронними ключами залежно від положення ротора. В даний час така вентильна машина, у разі використання магнітів із рідкісноземельних сплавів, має кращі питомі енергетичні показники, але має значну вартість та складну технологію виробництва.

Вентильно-індукторні двигуни (ВІД) з кожним роком набуває все більшої популярності та широкого поширення. Вони відрізняються від інших машин наявністю зубців на статорі і роторі, причому число зубців ротора не дорівнює кількості зубців статора; відсутністю будь-якої обмотки на роторі при виконанні обмотки статора у вигляді послідовно з'єднаних котушок, розташованих на діаметрально протилежних зубцях статора; несинусоїдальним струмом і потоком.

До переваг ВІД перед їх аналогами – машинами постійного струму, синхронними та асинхронними двигунами відносяться:

- висока технологічність і як наслідок мала трудомісткість виготовлення двигуна (простий пристрій магнітної системи, відсутність щітково-колекторного апарату, короткозамкнутого ротора, постійних магнітів, автоматичне намотування котушок);

- використання доступних матеріалів (дорогі рідкісноземельні магніти не застосовуються, економія до тридцяти відсотків матеріалів для активних частин машини);

- невелика собівартість двигуна - встановлено, що такий двигун може коштувати вдвічі менше за найдешевший асинхронний двигун;

– більш надійна та проста конструкція комутатора ніж у частотних перетворювачів для асинхронних електродвигунів;

– висока функціональність - ВІД має широкий діапазон регулювання частоти у високих або низьких режимах обертання (у низькочастотному режимі є великі моменти);

– високі енергетичні показники, що не поступаються близьким аналогам;

– сам привід має високу надійність;

Екологічність виробництва (відсутня токсична процедура просочення статора, просочуються тільки обмотки) та утилізації (вільно відокремлюються та сортуються залізні та мідні компоненти двигуна, шкідливі у переробці магніти не використовуються).

Незважаючи на просту конструкцію, яка є основною перевагою ВІД, необхідно «інтелектуальне» керування її роботою для досягнення високих технічних характеристик [6].

Найбільш часто реалізуються конфігурації вентильно-індукторних двигунів з 6 зубцями статора ($N_{ст}$) та 4 зубцями ротора (N_p) або 8 зубцями статора та 6 зубцями ротора. На рисунку 1.1 наведена типова конструкція ВІД, що обертається (типу «6/4»). Число фаз обмотки m зазвичай дорівнює $N_{ст}/2$, при цьому дві котушки однієї фази розташовуються на діаметрально протилежних зубцях. Послідовна перекомутація фаз призводить до виникнення реактивного моменту між зубцями збудженої обмотки статора і найближчими до неї зубцями ротора. Внаслідок цього ротор переміщається у узгоджене положення (збіг осей зубців статора та ротора). Через різницю кількості зубців статора і ротора, одна фаза узгоджена з положенням ротора, а наступна фаза знаходиться в неузгодженому положенні і підготовлена до включення.

Почергова комутація фаз забезпечує безперервне формування крутного моменту, і як наслідок безперервне обертання. При найпростішому способі комутації фаз, у будь-який момент включеної часу виявляється тільки одна фаза. Ускладнення закону комутації за рахунок ділянок одночасного перебігу

струмів у кількох фазах дозволяє усунути пульсації моменту та збільшити середнє значення моменту.

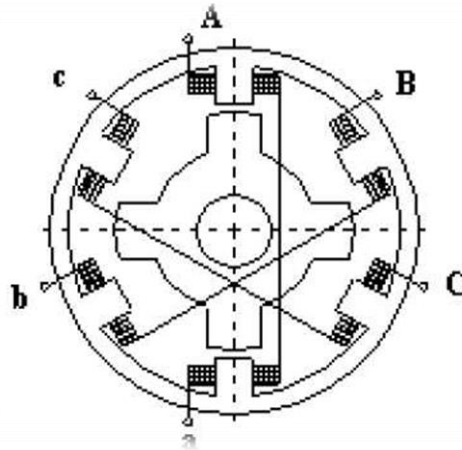


Рисунок 1.1 - Розташування фазних обмоток ВІД типу “6/4”

У будь-якій електричній машині момент обумовлений похідною від магнітної енергії W_M по куту зміщення ротора α :

$$M_e = \frac{dM_M}{d\alpha} \quad (1.1)$$

Загалом для найпростішої машини

$$W_M = \frac{1}{2} i_1^2 L_1 \pm i_1 i_2 M_{12} \quad (1.2)$$

де i_1 та i_2 – струми статорної та роторної обмоток;

M_{12} – коефіцієнт взаємоіндукції з-поміж них.

За відсутності обмотки на роторі момент може бути створений тільки за рахунок складової $\frac{1}{2} i_1^2 L_1$ якщо параметр L_1 змінюється при повороті ротора.

Друга умова створення моменту на валу двигуна полягає в тому, щоб зміна енергії на висхідній ділянці параметра L_1 було більше, ніж на низхідній. В ідеальному випадку струм i_1 повинен бути вимкнений на низхідній ділянці.

У звичайних режимах роботи ВІД включення кожної обмотки відбувається на початок перекриття відповідних зубців статора і ротора при мінімальній провідності повітряного зазору між ними. Вибір моменту початку відключення фазного струму має дуже велике значення в циклі комутації ВІД,

оскільки це поряд з моментом включення значною мірою визначає ефективність перетворення енергії в ньому.

При розгляді комутаційних процесів у ВІД у розрахунок приймається тільки магнітна провідність повітряного зазору $\lambda(\Theta)$, яка функції взаємного кутового зсуву зубців статора і ротора Θ в першому наближенні може бути апроксимована ламаною лінією, як показано на рис.1.6. Реальна крива $\lambda(\Theta)$ немає зламів і змінюється щодо плавно. Мінімальне значення провідності λ_{\min} відповідає неузгодженим положенням зубців, коли зубець ротора збігається з пазом статора. Максимальне значення провідності λ_{\max} відповідає узгодженому положенню зубців, коли зубець статора проти зубців ротора. Кут Θ_1 і Θ_2 відповідають початку та повному перекриттю зубців відповідно.

Для включення обмотки на неї подається позитивний імпульс напруги U до початку перекриття зубців Θ_1 при деякому куті $\Theta_{\text{вмик}}$ та провідності λ_{\min} . Інтервал переміщення $\gamma_{\text{вмик}} = (\Theta_{\text{вмик}} - \Theta_1)$ визначає етап включення фази. При куті Θ_1 починається робочий етап циклу комутації, який триває до моменту відключення фази при куті $\Theta_{\text{ком}}$, коли до неї прикладається імпульс напруження протилежної полярності. З цього моменту починається етап відключення фази [10].

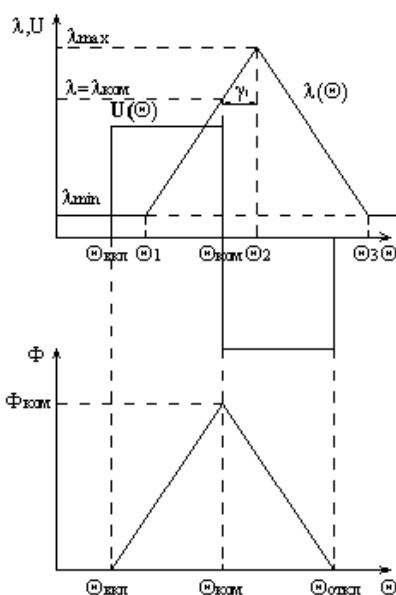


Рисунок 1.2 - Зміна напруги на фазі, провідності повітряного зазору та магнітного потоку між зубцями статора та ротора

Команда на відключення фази обов'язково подається до того, як зубці статора та ротора займуть узгоджене положення. Якщо початок гальмування відбувається не своєчасно, то струм у цій фазі не встигає значно зменшитися до переходу двигуна в зону гальмування та в останній стадії комутаційного циклу формується суттєвий гальмівний момент.

Передчасна комутація призводить до зменшення рушійного моменту, але сприяє більшому зниженню струму, коли двигун входить у зону гальмування і, згодом, до зменшення гальмівного моменту. За певних параметрів комутації середній за цикл момент досягає найбільшого значення. З цього випливає, що одним із найважливіших етапів розробки алгоритму керування приводом є знаходження оптимальних умов відключення [7].

Метою даного дипломного проєкту бакалавра є розробка електронного блоку управління електромеханічним підсилювачем керма з вентиляно-індукторним двигуном.

Для досягнення поставленої мети було вирішено завдання:

- проведено аналіз розробок блоку керування електромеханічним підсилювачем керма з двигуном постійного струму та вентиляно-індукторним двигуном.

- на основі аналізу ВІД був обраний двигун:

 - Напруга живлення номінальна 12 Вольт

 - Частота обертання номінальна 2200 об/хв.

 - Номінальний момент не менше 1,5 Нм

 - Струм максимальний 40 А

- була розроблена структурна та електрична принципова схеми блоку управління на основі потужної однокристальної ЕОМ.

- Проведено розрахунок електричної принципової схеми блоку управління.

- розроблено алгоритм роботи системи.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО БЛОКУ

При створенні структурної схеми враховується два варіанти компонування електропідсилювача керма:

- двигун, встановлений у розріз рульового валу без редуктора та розчіплювача;
- двигун з редуктором та розчіплювачем, встановлений поруч із кермовим валом.

Перший варіант має такі переваги:

- простота та надійність механічної частини електропідсилювача;
- відсутність механічного розчіплювача;

Недоліки:

- використання схеми без редуктора означає застосування високомоментного двигуна, що має на увазі великі робочі струми, що не прийнятно під час роботи двигуна внутрішнього згорання на холостому ходу;
- використання складнішого датчика положення ротора електродвигуна, так як потрібно однозначно і точно визначити положення ротора при подачі на блок управління живлення;
- велика маса - габаритні параметри електродвигуна порівняно з редукторним компонуванням.

У зв'язку з вищесказаним однозначно приймається до проектування редукторне компонування електропідсилювача керма.

Структурна схема САУ представлена на рисунок 2.1.

Система складається з кількох основних частин:

- електропривод;
- система датчиків;
- блок вихідних ключів;
- підсилювач сигналу розчіплювача;
- підсилювач сигналу помилки;
- блок сполучення;

- електронний блок керування;
- стабілізатор напруги.

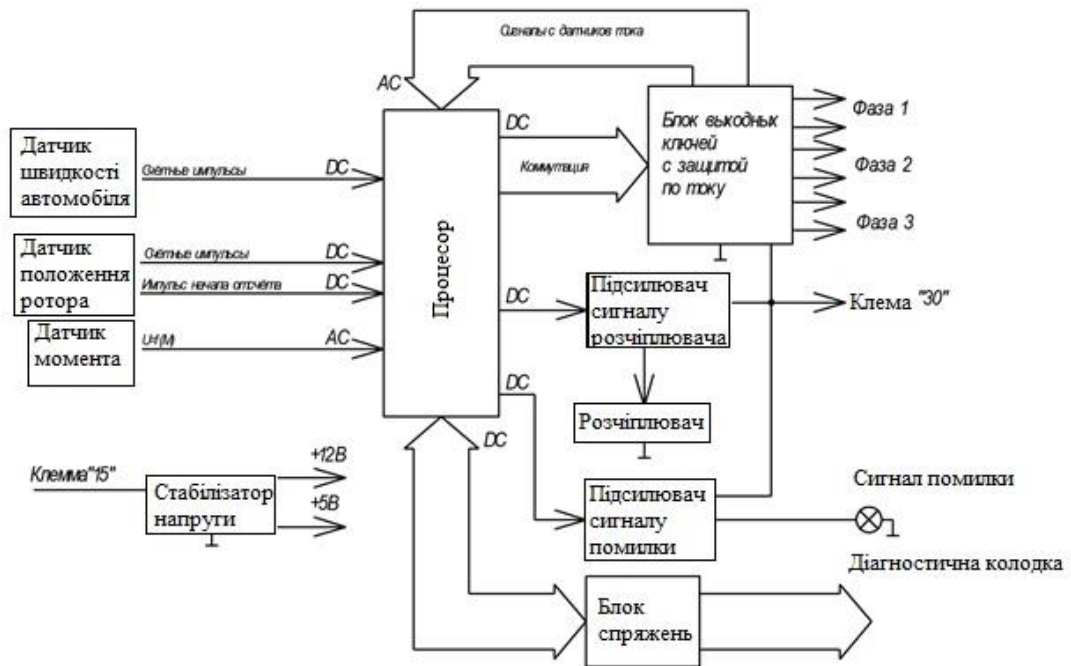


Рисунок 2.1 - Структурна схема

Електропривод призначений для створення компенсуючого моменту на рульовому валу відповідно до сигналів електронного блоку управління.

До складу електроприводу входять:

- електродвигун вентильно-індукторного типу;
- електромеханічний розчіплювач, призначений для механічного відключення двигуна від кермового валу;
- редуктор, призначений для збільшення моменту, що крутить, на виході електропідсилювача.

Система датчиків включає:

1. Датчик моменту, призначений для перетворення моменту доданого водієм до кермового валу електричний сигнал постійного струму. Датчик складається з:

- торсійного валу;
- індукційної котушки;
- блок управління.

Котушка складається з двосекційної первинної та вторинної обмотки, причому напрямок намотування секції первинної обмотки однаковий (згодне включення), а вторинної взаємно протилежне (зустрічне включення). При зміщенні якоря змінюється взаємодука обмоток і змінюється амплітуда вихідної напруги датчика.

Максимальний момент, що передається валом трохи більше +10 Нм. Максимальний кут скручування, що відповідає максимально допустимому моменту, що передається торсіонним валом не більше +3,50. Вихідна напруга, що інформує про величину моменту, змінюється лінійно в залежності від прикладеного моменту. Нульовий момент на кермі відповідає напрузі +2,5 В. Моменту 9 Нм на рульовому валу відповідає напруга +4,5 В, при напрямку прикладеного моменту за годинниковою стрілкою, і +0,5 В, при напрямку прикладеного моменту проти годинникової стрілки. (див. рисунок 2.2) У датчику передбачено механізм обмеження кута повороту торсійного валу більше +3,50.

Датчик встановлюється у складі редуктора електромеханічного підсилювача кермового управління [18].

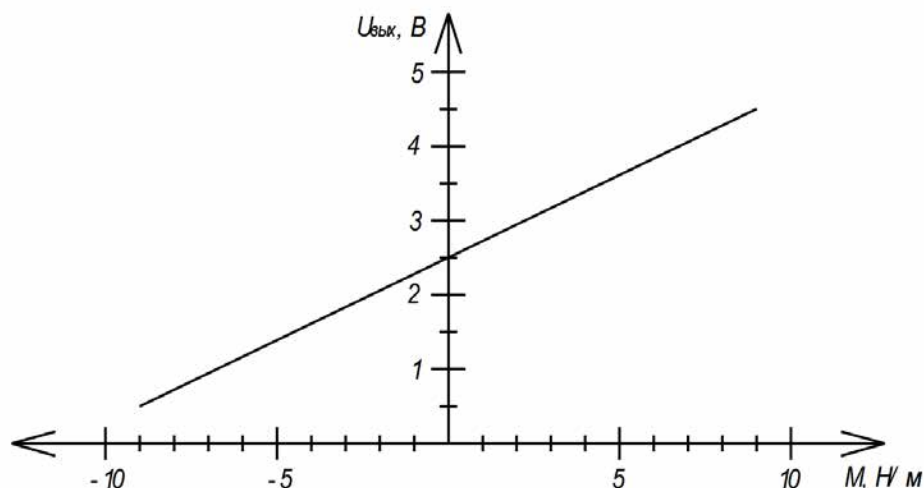


Рисунок 2.2 - Залежність вихідної напруги датчика від моменту

2. Датчик швидкості автомобіля, який служить для параметричного зміни величини моменту, що компенсує, і завдання діапазону роботи системи

підсилювача. Використовується стандартний датчик швидкості автомобіля ЗАЗ - SENS (на основі ефекту Холла) -3843010, який встановлюється відповідно до наявної документації та ТУ 4228-001-00225331-95.

3. Датчик положення ротора, призначений визначення моменту комутації фаз двигуна. Датчик є дві оптопари, із задатчиком у вигляді диска з отворами. Перша оптопара видає імпульси комутації залежно від кутового положення ротора, друга видає сигнал початку відліку, що відповідає узгодженому положенню ротора і фази двигуна 1.

Блок вихідних ключів призначений для параметричної комутації фаз двигуна залежно від струму кожної фази. У блоці використовуються потужні керовані ключі – транзистори MOSFET.

Підсилювач сигналу помилки призначений для комутації розчіплювача сигналів з електронного блоку управління.

Підсилювач помилки сигналу помилки призначений для комутації сигнальної лампи за сигналами з електронного блоку керування.

Блок сполучення відповідає за перетворення сигналів з пристроїв ТТЛ-логіки сигнали шини RS-232, за якою до електронного блоку може бути підключене спеціальне діагностичне обладнання.

Електронний блок управління (контролер) призначений для:

- перетворення сигналів від датчиків системи електромеханічного підсилювача в керуючий сигнал для електроприводу;
- перетворення керуючого сигналу струм електричного двигуна;
- діагностування виробів та елементів системи;
- формування сигналу відмови системи;
- формування сигналу керування розчеплювачем;
- організації стабілізованих джерел живлення;
- захисту електродвигуна від навантаження;
- завдання часових інтервалів для нормального функціонування електроприводу.

Як індикатор відмови системи використовується сигнальна лампа із відповідною символікою, яка винесена на панель приладів.

3 РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО БЛОКУ

Як операційні підсилювачі застосуємо К1401УД2, для логічних елементів вибираємо серію мікросхем К155, що має $U_{живл} = 5В$, $f_{макс} = 20МГц$. Як процесор використовуємо Intel D87C196MH20, що має такі характеристики [16]:

- 32 КБайта ПЗУ;
- 744 байта ОЗУ;
- $f_{макс} = 20МГц$;
- $U_{живл} = 5В$;
- $U_{вих}^1 = 0,7В$;
- $I_{вих} = 70мкА$.

3.1 Опис мікроконтролера

Мікроконтролер Intel D87C196MH20, виготовлений за CMOS технологією, розроблений для високошвидкісного виконання обчислень та операцій введення-виведення та сумісний з більш ранніми версіями мікроконтролерів сімейства MCS 196.

Найбільш широке застосування мікроконтролери сімейства MCS 96 отримали в системах керування та цифрової обробки сигналів. Модеми, системи управління двигунами, принтери, копіювальні апарати, медичні прилади, всі ці та багато інших пристроїв використовують у своєму складі мікроконтролери сімейства MCS 196 [9].

3.1.1 Архітектура

Структурну схему Intel D87C196MH20 наведено на рис. 3.1. Мікроконтролер включає 16-бітний CPU, з'єднаний по 16-бітній шині з контролерами переривання і пам'яті. Крім того, 8-біт шини CPU служать передачі команд від пам'яті до командного RALU.

3.1.2 Управління CPU

CPU керується генератором мікрокоду, що задає команду RALU для виконання операцій, які застосовують байти, слова, подвійні слова або з 256-байтного молодшого регістрового файлу, або через вікно, яке прямо адресує старший регістровий файл. Команди CPU надходять до регістру команд RALU з 4-байтного магазину. Генератор коду розшифровує команди та генерує набір подій, що виконують бажані функції.

3.1.3 Реєстровий файл (REGISTER FILE)

Реєстровий файл складається зі старшого та молодшого файлів. Регістри загального призначення RAM знаходяться у верхньому. Звернення до регістрової RAM здійснюється байтами, словами, подвійними словами. Нижній включає 24 байти SFRs (реєстри спеціальних функцій) і регістрову RAM на 232 байти.

RALU по-різному адресується до цих двох файлів. Молодший регістровий файл має прямий доступ у режимі прямо-реєстрової адреси. Той самий режим для старшого файлу доступний при дозволеному відображенні через вікно. Відображення через вікно - це техніка, яка дозволяє показувати блоки старшого регістрового файлу у вікно в нижньому регістровому файлі.

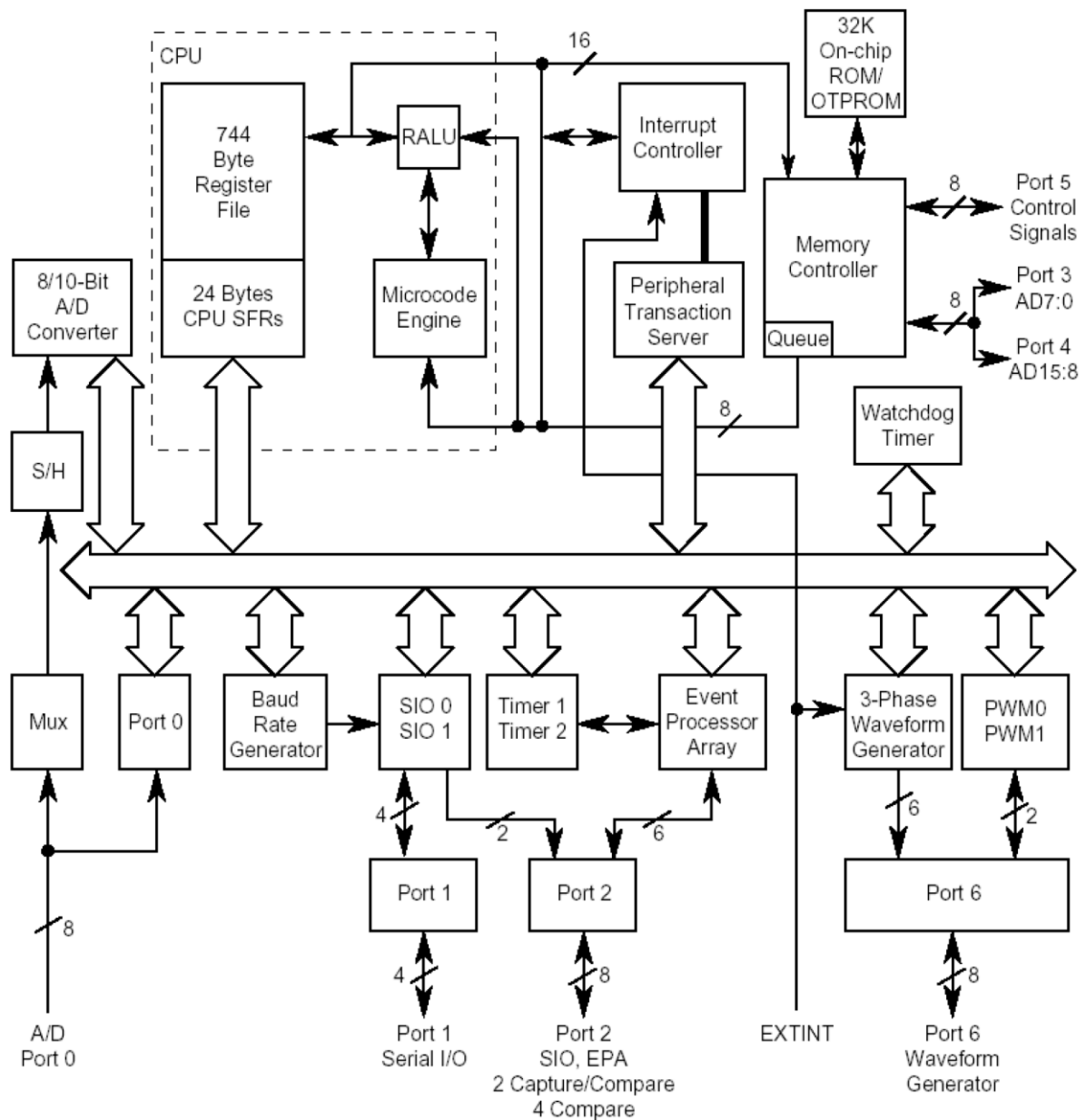


Рисунок 3.1 – Структурна схема процесора

3.1.4 Реєстровий арифметико-логічний пристрій (RALU)

RALU містить 16-бітовий арифметико-логічний пристрій. Слово стану програми (PSW) має два біти та прапори. Перший біт (PSW.1) дозволяє або забороняє обслуговування всіх переривань, що маскуються.

Другий біт (PSW.2) дозволяє або забороняє периферійний сервер вхідних повідомлень (PTS). Шість булевих прапорів показують стан програми.

Лічильник програми (PC) включає адресу чергової команди і інтегрований пристрій інкрементування. Цей пристрій автоматично розподіляє адреси. Але при цьому виклики, що провокують переривання, змінюють послідовність адрес, і ALU завантажує необхідну адресу в PC.

Усі регістри, крім 3-бітного регістру вибору біта і 6-бітного лічильника циклів, є або 16-бітними, або 17-бітними (16 біт і знак розширення). Навантаження на ALU може бути знижено через те, що певні регістри виконують прості операції. Введення слів в ALU здійснюється через входи A та B; слова можна доповнити до введення через вхід B.

RALU використовує регістри слів одночасно для 32 бітних команд і як регістр тимчасового зберігання багатьох інших команд. Ці регістри мають власну логіку бітового зсуву і використовуються в операціях, що вимагають цього, таких як нормалізації, множення, поділу. 6-бітний лічильник циклів веде підрахунок повторюваних зрушень. Регістр другого операнда зберігає другий операнд для двох-операндних команд, включаючи множник дії множення і дільник операції розподілу. Під час виконання операції віднімання вміст цього регістру доповнюється перед передачею його на вхід B ALU.

RALU збільшує швидкість виконання обчислень, зберігаючи константи (зокрема, 0, 1 і 2) у регістрі таким чином, що вони знаходяться у швидкому доступі при доповненні, інкрементуванні або декрементуванні байт або слів. З іншого боку, регістр констант генерує одnobітні маски, обрані регістром вибору біта, для команд перевірки біт I [24].

3.1.5 Контролер пам'яті (MEMORY CONTROLLER)

RALU з'єднується з усією пам'яттю, крім реєстрового файлу, за допомогою контролера пам'яті. (RALU з'єднується зі старшим регістровим файлом, якщо відображення не використовується). Контролер пам'яті включає регістри адреси та даних, 4-байтний магазин і контролер шини.

Контролер шини управляє шиною пам'яті, яка складається з внутрішньої шини RAM та зовнішньої шини адреси/даних. Контролер шини приймає запит

доступу до пам'яті від RALU чи 4-байтного магазину; запит, що надійшов від магазину, має пріоритет. Магазин доступний як для RALU, так і для користувача.

У той час, як контролер шини приймає запит від магазину, він викликає програму відповідно до адреси, що міститься в РС. РС генерує 8 старших біт адреси та виводить їх на розширений адресний порт (EPORT). Оскільки тільки чотири лінії EPORT виведені з корпусу, доступними є 4 молодших біт адреси.

Якщо для налагодження програми використовується логічний аналізатор, слід пам'ятати, що команди попередньо завантажуються в 4-байтний магазин і не обов'язково виконуються безпосередньо після їхнього виклику.

Контролер пам'яті включає пристрій вибору кристала з шістьма виходами вибору кристала, для вибору зовнішнього пристрою під час циклу зовнішньої шини. Під час доступу до зовнішньої пам'яті встановлюється вихід вибору кристала, якщо адреса стає меншою за адресний простір цього вибору кристала. Ширина шини, кількість станів очікування та мультиплексовані або демультиплексовані лінії адреси/даних програмуються незалежно для шести виборів кристала. Адресний простір вибору кристала може мати будь-яке призначення: 256 байт, 512 байт, ... Основною адресою може бути будь-яка адреса, що є парно поділеними на обраному адресному просторі [24].

3.1.6 Порти I/O (PORT I/O)

Виводи портів мультиплексуються для виконання стандартних функцій I/O або передачі спеціальних сигналів пов'язаних з внутрішньою периферією або зовнішніми компонентами. Якщо спеціальні сигнали не використовуються, порти можуть бути індивідуально налаштовані як стандартні порти I/O.

Порти 1-4 є 8-бітними, двонаправленими, стандартними портами I/O. Порт 1 забезпечує введення/виведення для блоку ERA та двох таймерів.

Порт 2 застосовується для послідовного I/O (SIO), двох зовнішніх переривань та програми блокування шини. Порт 3 використовується для функції вибору кристала та двох зовнішніх переривань. Порт 4 забезпечує вхід/вихід, з'єднаний з трьома вбудованими PWM модуляторами.

3.1.7 Пристрій послідовного I/O (SIO)

Послідовний I/O порт є асинхронним/синхронним. Він має універсальний асинхронний приймач-передавач (UART). UART має синхронний режим (режим 0) та три асинхронні режими (режими 1, 2 і 3), які є дуплексними. Приймач буферується таким чином, що прийом другого байта може початися до першого прочитання. Передавач також буферується, що дозволяє продовжувати передачу.

3.1.8 Широтно-імпульсний модулятор (PWM)

D87C196MH20 має 3 ШІМ канали. Вихідна форма сигналу кожного з них є послідовністю імпульсів змінної шпаруватості, які зустрічаються кожні 256 або 512 станів в залежності від програми. Якщо застосовується фільтрація, форма сигналу PWM є постійним рівнем, який може змінюватися в 256 кроках при зміні шпаруватості.

3.1.9 Процесор обробки подій (ЕРА) та таймери/лічильники (TIMER)

Процесор обробки подій (ЕРА) забезпечує функцію високошвидкісного введення та виведення об'єднану з таймерами/лічильниками. У режимі ЕРА контролює вхід для зміни сигналу. Коли подія має місце, ЕРА записує відповідний час за таймером. Це стан збору даних. У режимі виведення ЕРА контролює таймер доти, доки його значення не досягне потрібної величини. Коли значення досягнуто, ЕРА фіксує вихідний стан, який може бути очищенням або перемиканням з одного стану в інший на вихідному виведенні. Це стан порівняння. Обидва стани можуть організовувати переривання, які можуть обслуговуватись контролером переривань та PTS.

Таймер 1 та таймер 2 є 16-бітними реверсивними таймерами/лічильниками, які можуть тактуватися або зовні, або внутрішньо. Вони називаються таймерами, якщо тактуються внутрішньо та лічильниками, якщо зовні.

3.1.10 Спеціальні режими роботи

На додаток до звичайних режимів роботи D87C196MH20 працює у деяких спеціальних режимах. Режим холостого ходу та зменшеного енергоспоживання зберігають енергію, коли мікроконтролер не є активним.

Режим ONCE електрично ізолює D87C196MH20 від системи.

У режимі холостого ходу CPU зупиняє виконання програми, але периферійні пристрої, що тактують, залишаються активними. Споживання енергії скорочується на 40%. Апаратне скидання або дозволене джерело переривань виводять пристрій із цього режиму.

У режимі зниженого енергоспоживання всі внутрішні тактуючі пристрої фіксуються у стані логічного нуля та осцилятор зупиняється. Регістровий файл, внутрішнє RAM, більшість периферій зберігають дані, якщо підтримується Vcc. Споживання енергії опускається в мікроватний діапазон.

Режим ONCE електрично ізолює 8XC196NP від системи. При виклику режиму ONCE є можливість перевірити друковану плату, в той час як на ній встановлений процесор [16].

3.2 Розробка схеми датчика швидкості

Так як використовується стандартний датчик на основі ефекту Холла, що видає прямокутні імпульси, схема обробки вхідного сигналу буде складатися лише з інтегруючого ланцюжка. (див. рисунок 3.2) Цей ланцюг захистить систему від помилкових спрацьовування при наведеннях у сигнальному дроті.

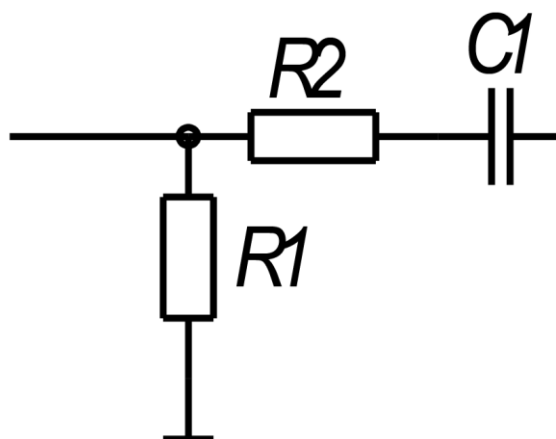


Рисунок 3.2 – Схема фільтрації сигналу датчика

3.3 Розробка схеми датчика положення ротора

Давач є диском з рядом отворів по першому радіусу і одним отвором по другому радіусу. Отвори по першому радіусу задає момент комутації фаз двигуна, а отвір за другим радіусом задає сигнал початку відліку, який відповідає такому положенню ротора, при якому ротор знаходиться в узгодженому положенні з фазою 1.

На рисунку 3.3 показано схему формувача імпульсів першого оптодатчика, схема другого – аналогічна. Так як вхідний струм процесора $I_{\text{вхід}}=70\text{мкА}$, то оптичні датчики, побудовані на основі фотодіодів потрібно включити на вхід логіки з попереднім посиленням сигналу. Як підсилювач сигналу використовуємо операційний підсилювач DA1, включений за схемою повторювача напруги. Резистор R2 необхідний для обмеження зворотного струму фотодіода відповідно до його технічних характеристик. Резистор R3 необхідний обмеження вихідного струму операційного підсилювача.

Електронна частина датчика побудована на DD1.1, DD1.2 та резисторі позитивного зворотного зв'язку R4 необхідного для прискорення процесу перемикання схеми.

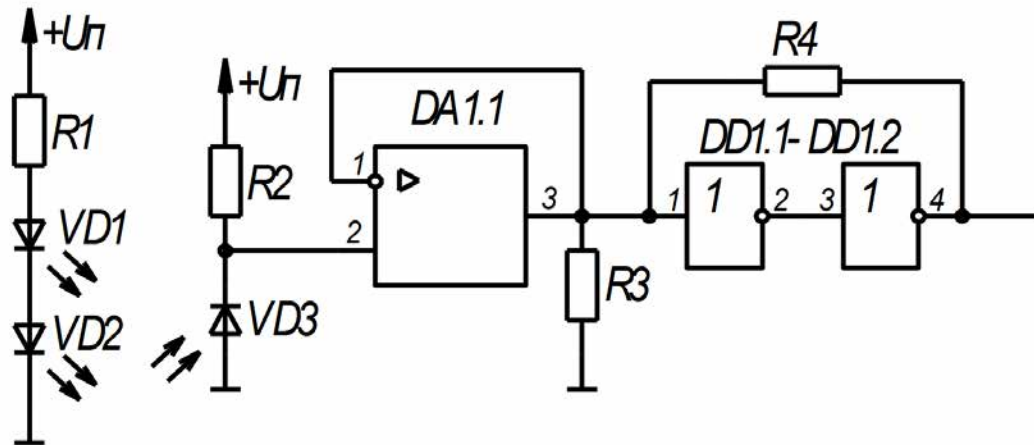


Рисунок 3.3 - Формувач імпульсів оптодатчика

3.4 Розробка схеми датчика моменту

Так як датчик використовується як покупний пристрій, то на вході в процесор потрібно встановити навантажувальний резистор і фільтр високих частот (див. рис. 3.2). З'єднання датчика та схеми повинно здійснюватися екранованим дротом.

3.5 Розробка схеми блоку вихідних ключів

Як схема управління вихідними ключем застосуємо драйвер IR2125 (див. рис. 3.4).

Драйвер призначений для керування MOSFET чи IGBT транзисторами. Драйвер має інтегрований струмовий захист. За цю функцію відповідає вхід CS. Для стеження станом перевантаження використовується напруга насичення транзистора. 28

Такий метод практичний у порівнянні з методом введення в ланцюг навантаження послідовного опору, тому що необхідно мати потужний, низькоомний опір, який має низьку індуктивність.

У цьому вся методі вивчення ситуації перевантаження розглядається залежність $V_{нас}=f(I_c)$. Транзистори MOSFET мають майже лінійну залежність,

тому що струм стоку практично не залежить від опору відкритого каналу. Транзистори IGBT мають нелінійний графік, втім, він має необхідну точність для визначення напруги, яка підходить для потрібного струму захисту.

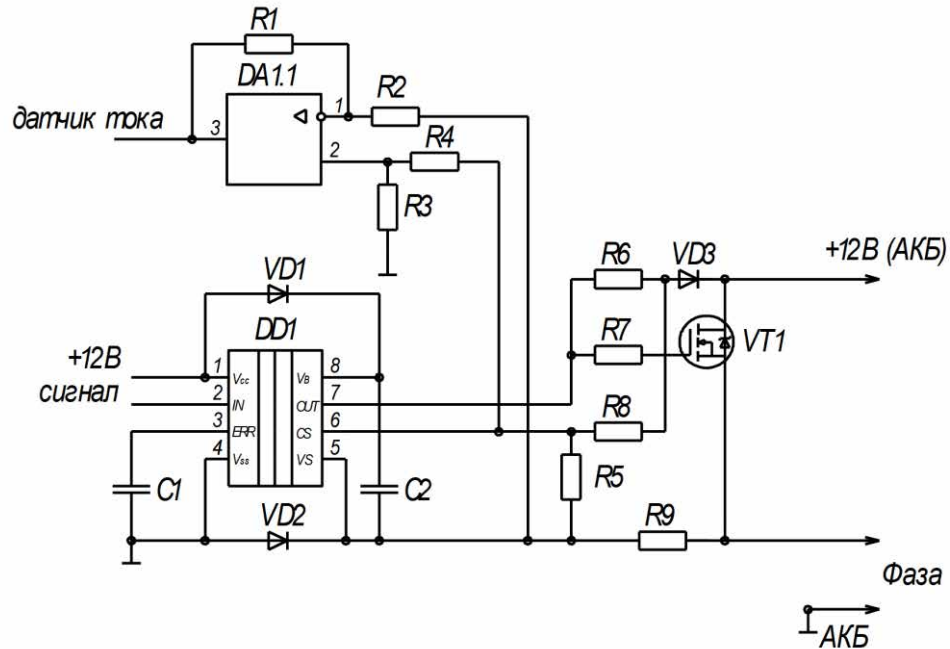


Рисунок 3.4 – Схема драйвера фази

Коли регулюючий сигнал підводиться на затвор, на вході драйвера CS з'являється напруга, яка залежить від суми падіння напруги на VD3, на VT1 і ділянки R5, R8 (вони задають струм спрацьовування). Падіння напруги на діоді майже постійне і знаходиться в межах 0,5 В. Вольтаж відкритого транзистора при заданому струмі I_C виявляється із графіка залежності $V_{нас}=f(I_C)$. VD4 і VD1, повинні бути швидкодіючими і високовольтними.

Крім струмового захисту драйвер IR2125, що застосовується, простежує напругу живлення входу VCC і вихідного каскаду VB, вимикаючи транзистор при падінні VB менше 9 В. Це обов'язкова міра, щоб транзистор не працював в лінійному режимі [1]. Датчик струму є диференціюючим підсилювач, який обробляє сигнал на вході CS і видає сигнал в діапазоні 0 ... 5В пропорційно силі струму, що протікає у фазі.

3.6 Розробка схеми підсилювача сигналу

Підсилювач є схемою транзисторного ключа. Оскільки вихідний струм процесора дорівнює $I_{ex}=70\mu A$, то використовуємо каскад із двох транзисторів (див. рис. 3.5).

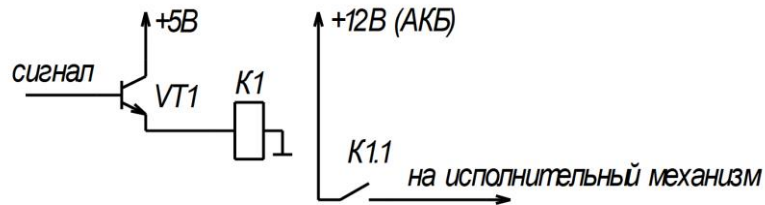


Рисунок 3.5 - Підсилювач сигналу

Для керування розчіпувачем застосуємо малогабаритне плоске реле для встановлення на друкованих платах.

3.7 Розробка схеми блоку сполучення

Діагностика системи здійснюється по стандартному діагностичному каналу за протоколом Keyword Protocol 2000 через шину RS-232 (див. рис. 3.6).

Приєм і передачі даних ведеться через мікросхему DD1 марки MAX232A фірми MAXIM [18].

Ця мікросхема є так званим перетворювачем інтерфейсів. Вона займається перетворенням сигналів з пристроїв TTL-логіки сигнали шини RS-232, за якою до електронного блоку може бути підключене спеціальне діагностичне обладнання. Напруга живлення мікросхеми лежить у діапазоні від +4,5 до +5,5 В, а температурний діапазон, що залежить перш за все від типу корпусу мікросхеми, становить від -55 до +125 градусів.

Час затримки передачі TTL – RS232 – до 3,5 мс, час затримки прийому K8232-TTL лежить у межі від 0,5 до 1 мс.

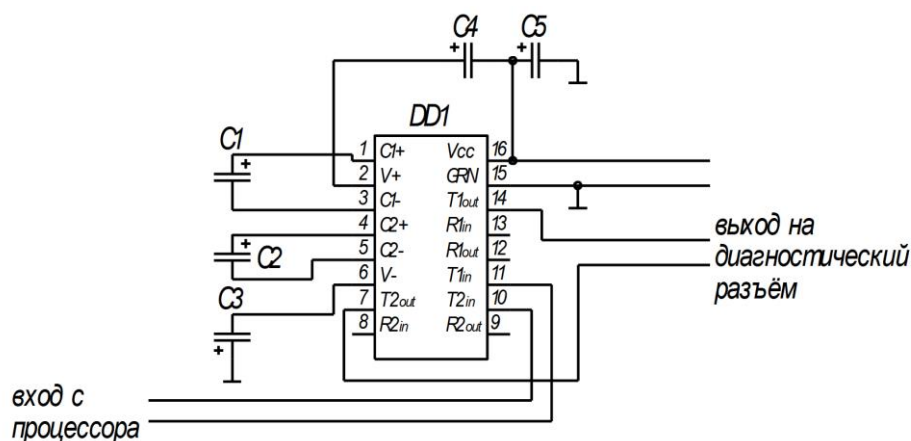


Рисунок 3.6 – Блок сполучення

3.8 Розробка схеми стабілізатора напруги

Схема являє собою стабілізатор напруги з гасінням імпульсних перенапруг, що складається з динамічного стабілізатора-фільтра, що служить для згладжування імпульсів перенапруги великої амплітуди, компенсаційного стабілізатора послідовного типу з заданим вихідним напругою +12В і інтегрального стабілізатора напруги по зібраному. Таким чином, отримуємо стабілізатор з вихідними напругами +5В та +12В.

Мікросхема DA1 разом з елементами обв'язки C1-C4 являють собою стабілізатор напруги +5В.

VD1, R1, VT1 є компенсаційним стабілізатором, а L1, VD2, C5 – динамічним стабілізатором-фільтром. Діод VD3 захищає схему від переполюсування напруги живлення [18].

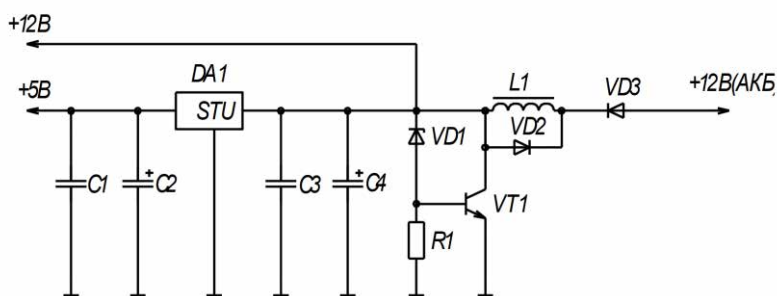


Рисунок 3.7 – Стабілізатор напруги 12В

4 Розрахунок електричної принципової схеми електронного блоку

4.1 Розрахунок вхідних фільтрів

Так як виходи фільтруючих ланцюгів підключаються до входів процесора, виконаного за КМОП технології, максимальний час зчитування сигналу якого дорівнює 100нс, для правильного функціонування схеми необхідно забезпечити тривалість сформованого ланцюгом імпульсу не менше:

$$T_{i.l.} \geq T_3 = 2 \cdot \frac{1}{f_{\max}} = 0.1 \mu\text{с} \quad (4.1)$$

Враховуючи, що перемикання мікросхем відбувається при напрузі на вході, що дорівнює половині напруги живлення, то дана напруга на резисторі досягається за час $t = 0.78RC$.

Опір резистора вибирається так, щоб не навантажувати входи мікросхеми. Для процесора $I_{ex} = 70 \mu\text{А}$.

Зовнішній опір навантаження:

$$R_{ex} = \frac{U_{ex}}{I_{ex}} = \frac{5}{70 \cdot 10^{-6}} = 71,5 \text{кОм} \quad (4.2)$$

Як резистора вибираємо опір номіналом 7,5 кОм.

Потужність, що розсіюється на резисторі:

$$P_R = \frac{U_{ex}^2}{R_{ex}} = \frac{5^2}{7500} = 0,7 \cdot 10^{-3} \text{Вт} \quad (4.3)$$

З низки номінальних значень E24 як резистора вибираємо P1 – 46 – 0,025 – 7.5 кОм $\pm 10\%$.

Розрахуємо ємність фільтруючого ланцюга:

$$C = \frac{1,25 \cdot T_{i.l.}}{R_{ex}} = \frac{1,25 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6}}{7500} = 16,7 \text{нФ} \quad (4.4)$$

З ряду номінальних значень E12 як ємність диференціюючого ланцюга вибираємо K10-17 -25В - 18 пФ $\pm 10\%$.

З низки номінальних значень E24 як резистора $R_{вх}$ вибираємо P1 – 46 – 0,025 – 75 кОм $\pm 10\%$.

Усі вхідні фільтри розраховуються аналогічно.

Оскільки датчик Холла має $I_{вих}=70 \text{ мкА}$ та $U_{вих}=12\text{В}$, то для переходу на 5В потрібно використовувати дільник напруги R6-R7. Знайдемо загальний опір дільника:

$$R_{\partial} = \frac{U_{вих}}{I_{вх}} = \frac{12}{70 \cdot 10^{-6}} = 171,4 \text{ кОм} \quad (4.5)$$

Тоді R7 розраховується так:

$$R7 = \frac{R_{\partial} \cdot U_{жив.е.}}{U_{вих}} = \frac{171,4 \cdot 10^3 \cdot 5}{12} = 71,4 \text{ кОм} \quad (4.6)$$

Тоді R6 розраховується:

$$R7 = R_{\partial} - R6 = 171,4 \cdot 10^3 - 71,4 \cdot 10^3 = 100 \text{ кОм} \quad (4.7)$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R7:

$$P_{R7} = I_{вх}^2 \cdot R7 = 70 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^3 = 0,5 \text{ мВт} \quad (4.8)$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R6:

$$P_{R8} = I_{вх}^2 \cdot R6 = 70 \cdot 10^{-6} \cdot 71,4 \cdot 10^3 = 0,4 \text{ мВт} \quad (4.9)$$

З ряду номінальних значень E24 як резистора R7 вибираємо P1 – 46 – 0,125 – 100 кОм $\pm 10\%$.

З ряду номінальних значень E24 як резистора R6 вибираємо P1 – 46 – 0,05 – 75 кОм $\pm 10\%$.

4.2 Розрахунок елементів датчика положення ротора

Використовуючи [17], вибираємо як VD1...VD2 (див. рисунок 3.3) фотодіод марки АЛ307ЛМ, який працює у видимому діапазоні випромінювання і має

$$U_{пр.мах} = 2\text{В} \quad I_{пр.мах} = 10 \text{ мА} \quad (4.10)$$

Задаючись струмом через фотодіод $I_{\phi, д.} = 5 \text{ мА}$, розрахуємо опір резистора R1, що обмежує струм фотодіодів.

$$R2 = \frac{U_n}{I_{\phi д}} = \frac{5}{5 \cdot 10^{-3}} = 1000 \text{ кОм} \quad (4.11)$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R1:

$$P_{R2} = \frac{U_n^2}{R1} = \frac{5^2}{1 \cdot 10^3} = 0,025 \text{ Вт} \quad (4.12)$$

Як резистор R1 вибираємо з ряду номінальних значень E24 резистор R1 – 46 – 0,125 – 1 ком $\pm 10\%$.

Використовуючи [17], вибираємо як VD3...VD4 (див. рисунок 3.3) фотодіод марки ФД-27, що працює у видимому діапазоні випромінювання і має:

$$U_{обр. max} = 40 \text{ В} \quad I_{обр. max} = 50 \text{ мА} \quad (4.13)$$

Задаючись струмом через фотодіод $I_{\phi, д.} = 20 \text{ мкА}$, розрахуємо опір резистора R2, що обмежує струм фотодіода.

$$R2 = \frac{U_n}{I_{\phi д}} = \frac{5}{20 \cdot 10^{-6}} = 250 \text{ кОм} \quad (4.14)$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R2:

$$P_{R2} = \frac{U_n^2}{R1} = \frac{5^2}{240 \cdot 10^3} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ Вт} \quad (4.15)$$

Як резистор R2 вибираємо з ряду номінальних значень E24 резистор R1 – 46 – 0,125 – 240 Ом $\pm 10\%$.

Резистор R3 захищає операційний підсилювач DA1.1 від навантаження виходу струму.

$$R3 = \frac{U_{вих. DA1 max}}{I_{вих. DA1 max}} = \frac{3.5}{10 \cdot 10^{-3}} = 350 \text{ кОм} \quad (4.16)$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R3:

$$P_{R3} = \frac{U_{\text{вих}DA1\text{max}}^2}{R1} = \frac{3,5^2}{360} = 0,034\text{Вт} \quad (4.17)$$

Як резистор R3 вибираємо з ряду номінальних значень E24 резистор P1 - 46 - 0,125 - 360 Ом ± 10%.

Резистор R4 забезпечує позитивний зворотний зв'язок формувача, збільшуючи його швидкодію для отримання крутіших фронтів при перемиканні логіки. Опір R12 повинен бути вибраний таким чином, щоб забезпечити співвідношення струмів:

$$I_{R4} = (5...10) \cdot I_{\text{вх.л.е.}} \quad (I_{\text{вх.л.е.}} = 1,6\text{мА}) \quad (4.18)$$

Задаючись струмом рівним 10 мА, розрахуємо значення R4:

$$R4 = \frac{U_{\text{вих}}^1}{I_{R4}} = \frac{5^2}{10 \cdot 10^{-3}} = 500\text{Ом} \quad (4.19)$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R4:

$$P_{R4} = \frac{U_{\text{вих}}^2}{R4} = \frac{5^2}{500} = 0,05\text{Вт} \quad (4.20)$$

Використовуючи ряд номінальних значень E24 вибираємо як резистори R4 P1 – 46 – 0,125 – 510 Ом ± 10%.

Як операційні підсилювачі – К1401УД2, що має:

$$I_{\text{вих}} = 10\text{мА}, I_{\text{вх}} = 100\text{нА}, K_U = 5000, U_{\text{жив}} = 3...40\text{В} \quad (4.21)$$

4.3 Розрахунок схеми блоку вихідних ключів

Як операційні підсилювачі – К1401УД2 (див. рис. 3.4), має $I_{\text{вих}} = 10\text{мА}, I_{\text{вх}} = 100\text{нА}, K_U = 5000, U_{\text{жив}} = 3...40\text{В}$

Приймаємо R1=R3 та R2=R4, тоді

$$U_{\text{вих}} = \frac{R_2}{R_1} \cdot U_2 - U_1 \quad (4.22)$$

Тоді виходячи з умови $U_2 - U_1 = 0.24\text{В}$, а $U_{\text{вих}} = 5\text{В}$, отримаємо

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{U_2 - U_1}{U_{вих}} = \frac{0,24}{5} = 0,048 \quad (4.23)$$

Приймаючи $R_1=100$ кОм розрахуємо R_2 : $R_2 0.048 R_1 4,8$ кОм.

Як R_1 вибираємо з ряду E24 P1 – 46 – 0,125 – 100 кОм $\pm 10\%$. Як R_2 вибираємо з ряду E24 P1 - 46 - 0,125 - 4,7 ком $\pm 10\%$.

Як конденсатор C_1 виходячи з рекомендацій [16] вибираємо з ряду E24 K10-17 -25В - 330 пФ $\pm 10\%$ [17].

Як діоди VD1-VD3 виходячи з рекомендацій [17] вибираємо КД927А, що має $I_{пр.мах} = 0,1A$, $f = 150кГц$, $U_{обр} = 100В$, $U_{пр} = 0,23В$ [4].

Виходячи з максимального комутованого струму, що дорівнює 40 А, в якості транзисторів VT1 вибираємо транзистор IRF1010Е, що має $U_{ке} = 60В$, $I_c = 59A$, $R_{ic} = 0,012Ом$, $f = 25кГц$, $U_{нап} = 0,5В$ (при $I_{ci} = 40A$) [17].

Знаючи напругу насичення при максимальному струмі, розрахуємо ланцюг захисту транзистора VT1 по струму. При включенні транзистора сума прямого падіння напруги на діоді VD3 і відкритому транзисторі VT1 через дільник R5-R8 надходить на вхід захисту CS. Якщо ця напруга перевищує поріг спрацьовування 0.24В транзистор відключається.

Прийmemo $R_5+R_8=270$ Ом, тоді, що протікає через них, струм буде дорівнювати:

$$I_{R_5...R_8} = \frac{U_{насVT1} - U_{прVD3}}{R_5 + R_8} = \frac{0.5 - 0.23}{270} = 1 \cdot 10^{-3} A \quad (4.24)$$

Тоді R5:

$$R_5 = \frac{U_{CScp}}{I_{R_5...R_8}} = \frac{0.24}{1 \cdot 10^{-3}} = 240 \text{ Ом} \quad (4.25)$$

Звідси R8:

$$R_8 = (R_5 + R_8) - R_5 = 270 - 240 = 30 \text{ Ом} \quad (4.26)$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R8:

$$P_{R_8} = I_{R_5...R_8} \cdot R_8 = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 30 = 0,03 \text{ Вт} \quad (4.27)$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R8:

$$P_{R5} = I_{R5...R8}^2 \cdot R5 = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 240 = 0,24 \text{ мВт} \quad (4.28)$$

Як R5 вибираємо з ряду E192 P1 - 46 - 0,05 - 240 Ом $\pm 10\%$.

Як R8 вибираємо з ряду E192 P1 - 46 - 0,05 - 30,1 Ом $\pm 10\%$.

R6, R7, R9, виходячи з рекомендацій [17] приймаємо рівними 1 кОм, тоді розсіювана потужність дорівнюватиме:

$$P_{R7} = I_{3VT \max}^2 \cdot R7 = 250^{-3} \cdot 1 = 250^{-3} \text{ Вт} \quad (4.29)$$

Як R24 R6, R7, R9 вибираємо з ряду E24 P1 - 46 - 0,5 - 1 ком $\pm 10\%$.

Розрахуємо C2:

$$C_2 = \frac{15 \cdot 2 \left(2 \cdot Q_g + \frac{I_{bgs}}{f} + I_{off} + I_{on} \cdot \frac{Q_g}{I_{on}} \right)}{U_{cc} - U_f} = \quad (4.30)$$

$$= \frac{15 \cdot 2 \left(2 \cdot 116 \cdot 10^{-9} + \frac{60 \cdot 10^{-3}}{110} + 20 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{116 \cdot 10^{-9}}{20 \cdot 10^{-3}} \right)}{12 - 0,24} = 108,64 \text{ мкФ}$$

де Q_g – заряд затвора, К;

I_{bgs} – струм затвора в статичному режимі, А;

f – частота проходження імпульсів, Гц;

I_{off} , I_{on} – струми включення та вимкнення затвора, А;

U_{cc} – напруга живлення, В;

U_f – пряме падіння напруги на діоді зарядового насоса VD3, В.

Вибираємо з ряду E24 як C2 K10-17 -25В - 110 мкФ $\pm 10\%$.

4.4 Розрахунок схеми підсилювача сигналу

Як реле К1 (див. рисунок 3.5) вибираємо реле Finder 36.51.7.0050.010, що має наступні параметри: $U_{ном \text{ перек}} = 250\text{В}$, $I_{ном.перек} = 6\text{А}$, $U_{обмотки} = 5\text{В}$, $I_{спрацьовування} = 34\text{мА}$, $U_{падіння \text{ у відкритому сост}} = 2\text{В}$ [7]:

Використовуючи [3], як VT1 вибираємо КТ530А з параметрами:

$$U_{KEVT1} = 25\text{В}, I_{KVT1 \max} = 150\text{мА}, \beta_{VT1} = 40...120$$

4.5 Розрахунок схеми блоку сполучення

Як ємність $C1...C5$ (див. малюнок 3.6) виходячи з рекомендацій [18], вибираємо з ряду E24 конденсатор типу K50-6 -25В - 1 мкФ $\pm 10\%$.

4.6 Розрахунок схеми стабілізатор напруги

Як DA1 (див. рисунок 3.7) вибираємо мікросхему KP142EH12[18], що має $U_{вх}=5...45В$, $U_{вих.мах}=37$, $I_{вих}=1А$.

Виходячи з рекомендацій [18] вибираємо з ряду E24 $C1, C3$ K10-17 -25В - 2 мкФ $\pm 10\%$, як $C2, C4$ вибираємо з ряду E24 K50-6 -25В - 100 мкФ $\pm 10\%$.

Як транзистор VT1 виходячи з умов $I_{к\ max}>I_{н}$, $U_{ке\ max}>U_{вх}$ вибираємо КТ845А, що має $I_{к\ max}=5А$, $U_{ке\ max}=400В$, $\beta=90$.

Тоді струм бази:

$$I_B = \frac{I_H}{\beta} = \frac{2,5}{90} = 27\text{мА} \quad (4.31)$$

Для обмеження перенапруги на рівні $U_{имп}$ як VD1 вибирається імпульсний стабілітрон КС528Б з наступними параметрами: $U_{ст.ном}=12В$, $I_{ст.мин}=1мА$, $I_{ст.мах}=30мА$.

Виходячи з умови, що $I_{R1}=(0.2...0.3)I_{BVT1}$. Для переведення транзистора в активний стан необхідно забезпечити усунення $U_{BE}>0.7В$, тоді

$$R_1 \geq \frac{U_{BE}}{I_{R1}} = \frac{0,7}{7 \cdot 10^{-3}} = 100\ \text{Ом} \quad (4.32)$$

Потужність, що розсіюється на резисторі R_1 дорівнює:

$$P_{R1} = I_{R1}^2 \cdot R1 = 7 \cdot 10^{-3}^2 \cdot 100 = 4,9\text{мВт} \quad (4.33)$$

З низки номінальних значень E24 як резистора $R1$ вибираємо $R1 - 46 - 0,125 - 100\ \text{Ом} \pm 10\%$.

Перевіряємо значення резистора $R1$ при $U_{вх}<U_{имп}$. У цьому випадку струм через стабілітрон VD2 буде меншим за $I_{ст.мин}$. Тоді

$$U_{BEVT1} = R_1 \cdot I_{cm.min} = 100 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,1B \quad (4.33)$$

U_{BEVT1} повинен бути менше U , тоді транзистор залишиться в закритому стані, отже резистор підходить.

Виходячи з рекомендацій [16] як L1 вибираємо $BE0$ з ряду E24 дросель ДПМ-0,1-47мкГ $\pm 5\%$.

Діоди VD2-VD3 вибирається з умови максимального струму, що протікає через нього, рівного I_n . Як VD2-VD3 вибираємо КД280Г, що має $I_{nрmax}=3A$, $U_{обmax}=400B$.

5 Алгоритм работы системы

Структурная схема алгоритма основной программы работы системы представлена на рисунок 5.1.

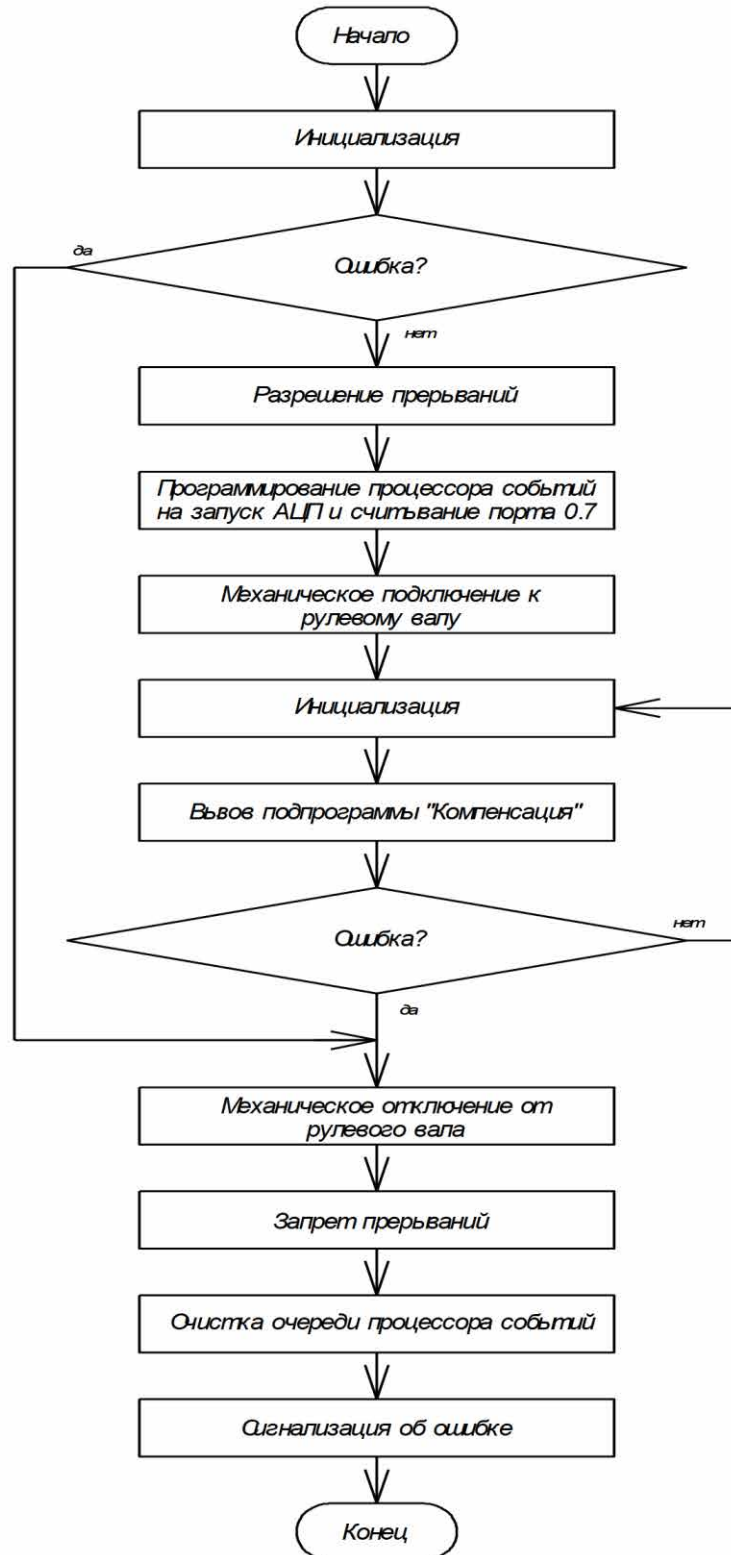


Рисунок 5.1 – Структурна схема алгоритму роботи основної програми

У структурному блоці "Ініціалізація" здійснюються такі дії:
перевіряється напруга бортової мережі +12 В;

- перевіряється напруга стабілізованих джерел живлення +12, +5;
- перевіряється сигнали датчика швидкості автомобіля;
- перевіряється справність датчика моменту;
- перевіряється справність ланцюга живлення електродвигуна;
- перевіряється справність ланцюга живлення розчіплювача.

У структурному блоці «Роздільна здатність переривань» здійснюються дозвіл переривань:

- «Кінець перетворення»;
- «Зчитування порту».

У структурному блоці «Програмування процесора подій на запуск АЦП та зчитування порту 0.7» здійснюються такі дії:

- програмування процесора подій на початковий запуск АЦП;
- програмування процесора подій на початкове зчитування порту.

У структурному блоці «Механічне підключення до кермового валу» здійснюються такі дії:

– механічне підключення електропідсилювача до кермового валу за допомогою розчіплювача.

У структурному блоці "Механічне відключення від рульового валу" здійснюються такі дії:

– механічне відключення електропідсилювача від рульового валу за допомогою розчіплювача.

У структурному блоці «Заборона переривань» здійснюється заборона переривань:

- «Кінець перетворення»;
- «Зчитування порту».

У структурному блоці «Очищення черги процесора подій» здійснюються очищення черги процесора подій від усіх запланованих подій.

У структурному блоці «Сигналізація про помилку» здійснюються сповіщення водія про несправність.

Структурну схему алгоритму підпрограми «Компенсація» представлено на рисунку 5.2.

У структурному блоці «Зчитування з пам'яті значень моменту та швидкості автомобіля» здійснюються зчитування з пам'яті значень моменту прикладеного до кермового валу та швидкості автомобіля.

У структурному блоці «Установка прапора «Швидкість більше 90 км/год» здійснюється установка в одиницю прапора відповідального за запам'ятовування події про перевищення швидкості понад 90 км/год.

У структурному блоці «Зняття прапора «Швидкість більше 90 км/год» здійснюються обнулення прапора, відповідального за запам'ятовування події про перевищення швидкості більше 90 км/год.

У структурному блоці "Зчитування з пам'яті значення струму у фазі двигуна" здійснюються зчитування з пам'яті значення струму у фазі двигуна.

У структурному блоці «Обчислення параметрів ШІМ імпульсу» здійснюються розрахунок тривалості імпульсу та паузи в ШІМ імпульсі.

У структурному блоці "Програмування процесора подій для формування ШІМ імпульсу" здійснюються програмування процесора подій для генерації на виході процесора ШІМ імпульс з розрахованими параметрами.

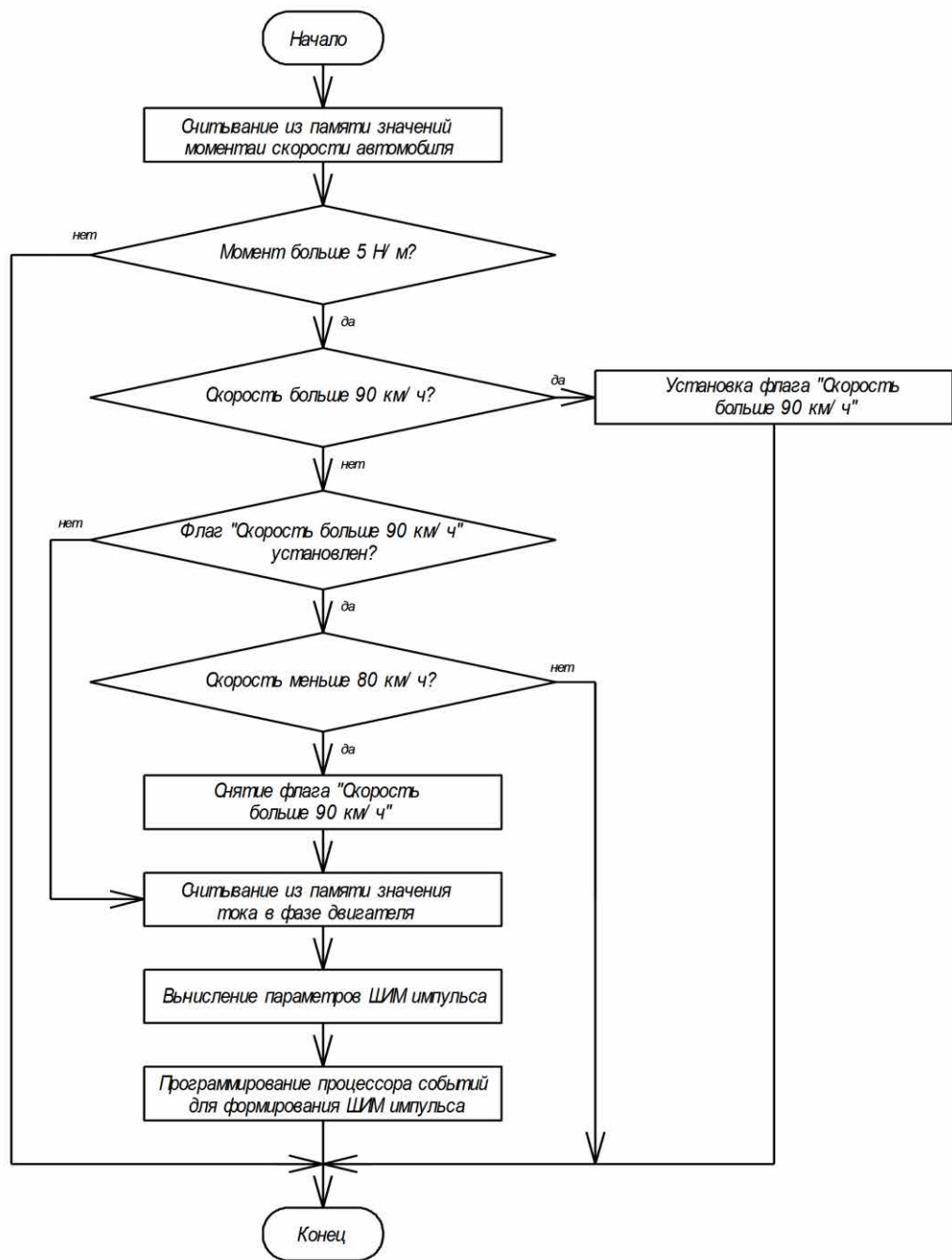


Рисунок 5.2 – Структурна схема алгоритму роботи підпрограми «Компенсація»

Структурну схему алгоритму підпрограми «Обработка події «Зчитування порту»» наведено на рисунку 5.3.

У структурному блоці «Зчитування пам'яті значення часу попереднього виникнення події» здійснюється зчитування пам'яті значення системного часу виникнення попередньої події зчитування даних з порту.

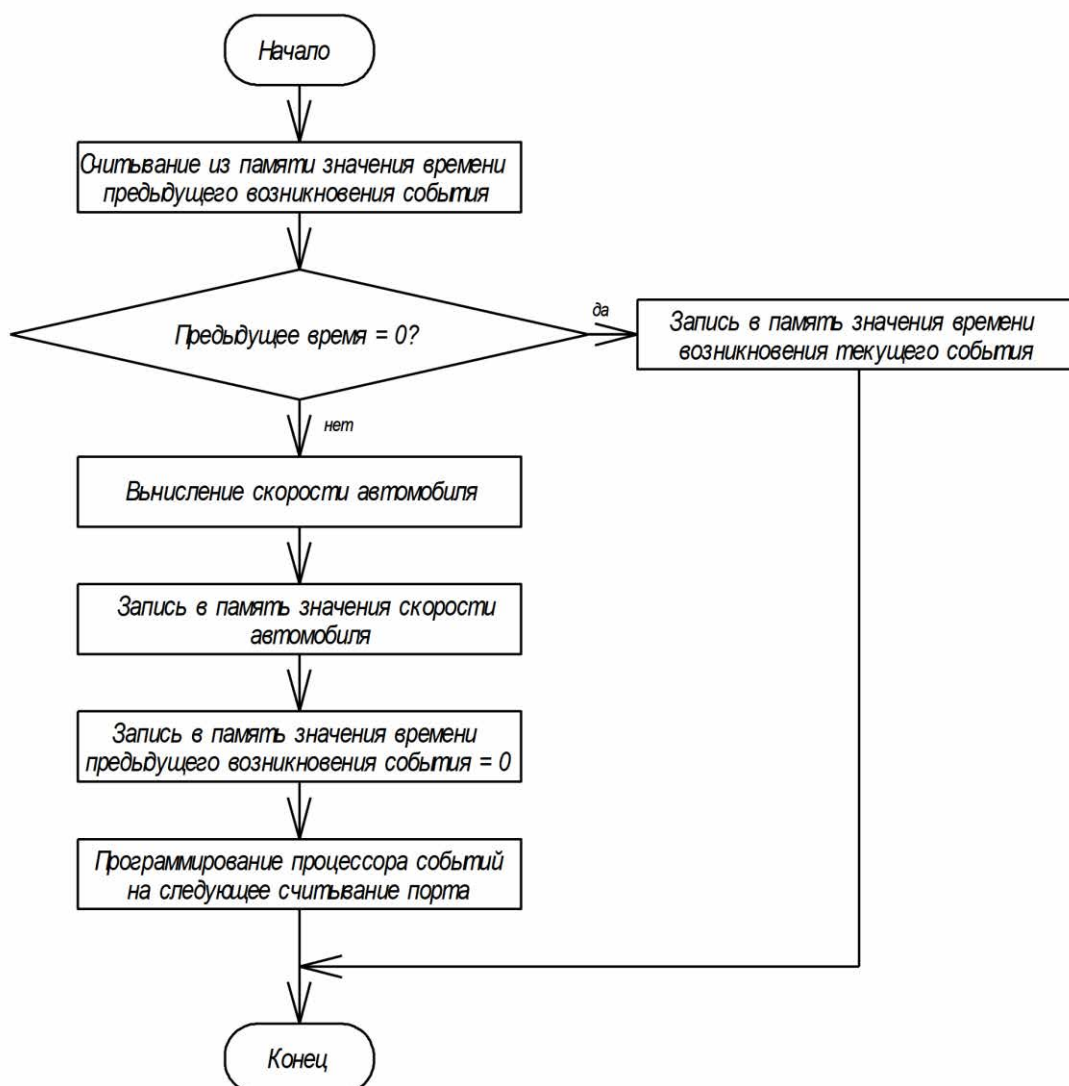


Рисунок 5.3 – Структурна схема алгоритму роботи підпрограми обробки події «Зчитування порту»

У структурному блоці "Обчислення швидкості автомобіля" здійснюються обчислення швидкості автомобіля.

У структурному блоці «Запис на згадку про значення швидкості автомобіля» здійснюються запис на згадку про обчислене значення швидкості автомобіля.

У структурному блоці «Програмування процесора подій наступне зчитування порту» здійснюються програмування процесора подій наступне переривання для зчитування порту.

Структурну схему алгоритму підпрограми «Обробка події «Кінець перетворення» представлено рисунку 5.4.

У структурному блоці «Вибір осередку запам'ятовування результату» здійснюється вибір осередку пам'яті для запам'ятовування результату перетворення.

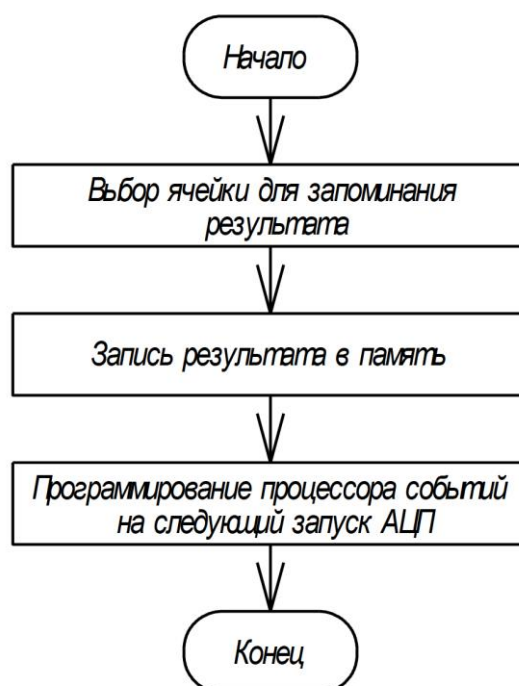


Рисунок 5.4 – Структурна схема алгоритму роботи підпрограми обробки події «Кінець перетворення»

У структурному блоці «Запис результату на згадку» здійснюється запис результату перетворення на пам'ять. У структурному блоці «Програмування процесора подій наступного запуску АЦП» здійснюється програмування процесора подій наступного запуску АЦП.

5.1 Забезпечення пожежної безпеки

Залежно від пожежо- та вибухонебезпечних властивостей застосовуваних речовин радіомонтажна ділянка відповідає категорії В –

пожежонебезпечні виробництва, пов'язані із застосуванням рідин з температурою пари понад 61°C; горючих; речовин, здатних займатися при контакті з водою, киснем повітря; твердих згоряють речовин та матеріалів (з виробництва обробки пластмас та гуми).

З метою захисту електромережі від перевантажень застосуємо теплові вимикачі, запобіжники. Зменшення контактного опору досягається збільшенням площі контактів, застосуванням нероз'ємних з'єднань проводів - паянням, зварюванням.

Основи пожежного захисту підприємства визначено ГОСТ 12.1.004 – 91.

До первинних засобів пожежогасіння відносяться: вогнегасники, ящики з піском, багри, сокири, азбестове полотно.

Первинні засоби пожежогасіння розташовані на спеціальних щитах, які видно і доступні. На щитах знаходяться таблички із зазначенням номера пожежної частини та телефону, а також відповідальної особи.

На ділянці застосовуються порошкові вогнегасники типу ОППС-100 (пересувний з $V = 100\text{л}$). Принцип роботи цього вогнегасника відрізняється тим, що порошок виштовхується стисненим газом під великим тиском (газ знаходиться у невеликому балончику).

Для того щоб звести до мінімуму матеріальні втрати та завдати, якнайменше шкоди здоров'ю, встановлена електрична система, яка складається з наступних елементів:

- сповіщувачів приладів, що встановлюються на робочих об'єктах;
- приймальної станції, що приймає сигнали від сповіщувачів та передає їх у приміщення пожежних команд;
- системи проводів, що з'єднують прилади-повідомники з приймальною станцією.

Відповідальним за протипожежний стан лабораторії збирання друкованих плат призначається начальник підрозділу [8].

Висновок

У цьому дипломному проєкті розроблено блок автоматичного управління електропідсилювачем керма на базі вентиляно-індукторного двигуна, спроектовано структурну та розраховано принципову схему, обґрунтовано вибір електронних елементів. Складено алгоритм роботи системи з докладним описом.

Система реалізована на процесорі Intel D87C196MH20 та високошвидкісних силових MOSFET транзисторах. Для визначення моменту комутації використовують оптичні датчики положення ротора.

Система здійснює регулювання сигналу зворотний зв'язок – струму у фазі двигуна.

У дипломному проєкті розроблено структурну та розраховано принципову схему, складено докладний алгоритм роботи.

Даний дипломний проєкт бакалавра має соціальну значущість, оскільки підвищує безпеку автомобіля та комфорт керування.

Подальший розвиток теми дипломного проєкту бакалавра слід вести у напрямі вдосконалення алгоритмів і схем управління вентиляно-індукторним двигуном, оскільки сам двигун має високі питомі показники і натомість найближчих аналогів, але порівняно складніший у управлінні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Єрмаков В.В. Проектування джерела стабілізованої напруги: навч. посібник / В.В.Єрмаков, В.В. Корольов. 2006. - 33с.
2. Юдін Е.Я. Охорона праці машинобудуванні: навч. посібник / Юдін Є.Я., Белов С.В. - М.: Машинобудування, 2009. - 34с.
3. Голомедов А.В. Напівпровідникові пристрої. Транзистори середньої та великої потужності: Довідник/А.В. Голомедов. - Радіо і зв'язок, 2009. - 42с.
4. Глазов Г.І. Електропідсилювачі кермового управління / Глазов Г.І., Дюков К.В.// Автомобільна промисловість. - №3. - 2006. - 8с.
5. Іллінський Н.Ф. Перспективи застосування вентильно-індукторного електроприводу у сучасних технологіях / Н.Ф. Іллінський // Електротехніка. - № 2. - 2007. - 12с.
6. Смирнов Ю.В., Електромагнітний вентильно-індукторний двигун / Ю.В. Смирнов // Електротехніка. - № 3. - 2009. - 16с.
7. Зімін Є.М. Автоматичне керування електроприводами. Навч. посібник для студ. ВНЗ/ Зімін Є.Н., Яковлєв В.І.. - К.: Вищ. Шк., 2009. - 49с.
8. Гребнєв В.В. Однокристалні мікроЕОМ (мікроконтролери) сімейства MCS-96/В.В. Гребнєв - М.: Псковська комерційна палата, 2006.-246 с.
9. Зімін Є.М. Електроприводи постійного струму з вентильними перетворювачами/О.М. Зімін, В.Л. Кацкевич, С.К. Козирєв. - К.: Вища школа, 2011. - 192с.
10. Майоров С.А. Введення в мікроЕОМ/С.А. Майоров, В.В.Кирилов, А.А. Приблуда. - М: Машинобудування, 2008. - 220 с.
11. Предко М.М. Посібник з мікроконтролерів. Том II/ М.М. Предко – Постмаркет, 2011. – 363 с.
12. Іллінський Н.Ф. Перспективи застосування вентильно-індукторного електроприводу у сучасних технологіях/Н.Ф. Іллінський // Електротехніка. - № 2. - 2007. - 3с.

13. Каган Б.М. Електронні обчислювальні машини та системи / Б.М. Каган. - К.: Вища школа, 2011. - 420 с.
14. Буг Д.А. Безконтактні електричні машини/Д.А. Буг.- К.: Вищ. шк., 2011.- 286 з
15. cscsd8XC196MH Industrial motor control CHMOS microcontroller. Datasheet.-Intel Corporation, 1995, pages.
16. IR2125 Current limiting single channel driver. Datasheet. International Rectifier, 2003, 37pages.
17. MAXIM 232. Datasheet, MAXIM, 2000, 35pages.
18. W Stallings, Computer Organization and Architecture: Designing odds performances, Person Prentice Hall, 2006. ISBN 0-13-185644-8.
19. E. Hwang, Digital Logic та Microprocessor Design with VHDL. Thomson, 2006. ISBN 0-534-46593-5.
20. Єршова Н. Ю. Проектування мікропроцесорних систем [Електронний ресурс] / Н.Ю. Єршова. Режим доступу: <http://dfe.petrstu.ua/koi/posob/projimps/index.html>.
21. Єршова Н.Ю., Івашенков О.М., Курсков С.Ю. Мікропроцесори [Електронний ресурс]/Н.Ю. Єршова, О.М. Івашенко, С.Ю. Режим доступу: <http://dfe3300.karelia.com/koi/posob/microcpu/vved.htm>
22. Пристрій та принцип роботи електропідсилювача керма: Пристрій автомобіля [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://znanieavto.com/rulim/elektrosilitel-rulya.html>
23. Єршова Н.Ю. Проектування мікропроцесорних систем: Реєстровий арифметико-логічний пристрій [Електронний ресурс]/Н.Ю.Єршова Режим доступу: <http://dfe.petrstu.com/koi/posob/projimps/strk2.html>
24. Безщіткові двигуни постійного струму: Електромонтажні роботи [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://electric-220.com/news/bessshhetochnye_dvigateli_postojannogo_toka/2014-11-21-750

ДОДАТКИ