

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Електротехнічний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Електричні та електронні апарати

(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Розробка та дослідження блоку мікропроцесорного керування  
двигуном постійного струму 12 В/1 А

Виконав: студент(ка) II курсу, група E-412м

Спеціальності 141 Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Електричні та електронні апарати

Совков О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Поляков М.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Електротехнічний  
Кафедра Електричні та електронні апарати  
Ступінь вищої освіти магістр  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
(код і найменування)  
Освітня програма (спеціалізація) Електричні та електронні апарати  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри д.т.н., професор  
Андрієнко П.Д.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

**ЗАВДАННЯ**  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Совкова Олексія Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту(роботи) Розробка та дослідження блоку мікропроцесорного керування двигуном постійного струму 12 В/1 А

Керівник проєкту (роботи) Поляков М.О., д.т.н., професор

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

Затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» листопада 2023 року № 407

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 03.12.2023

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) параметри двигуна 12 В, 1 А, вид-пристрою керування- мікроконтролерна плата; режими роботи: ШІМ, реверсівний. Перетворювач постійного струму 12/5 В, 1А. Дослідження ККД перетворювача

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

1. Аналіз блоків керування ДПС. 2. Розробка електричної схеми та розрахунок блока МП керування ДПС. Розробка програми крування.

3. Розробка та дослідження перетворювача постійного струму

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

1. Блок підсилювача напруги. (ФА1-1 лист); 2. Результати дослідження перетворювача. Плакат. (ФА1 – 1 лист). 3. Схема алгоритма (ФА1 – 1 лист).

4. Перетворювач постійної напруги. Схема електрична принципова. (ФА1 – 1 лист).

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-3	Поляков М.О.		

7. Дата видачі завдання «01» жовтня 2023 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	10.10.2023	
2	Аналіз типових рішень	15.10.2023	
3	Розробка блоку МП керування ДПС	23.10.2023	
4	Проектувальна частина	04.11.2023	
5	Дослідження перетворювача	20.11.2023	
6	Оформлення пояснювальної записки	22.12.2023	
7	Оформлення графічної частини	23.12.2023	

Студент(ка)

\_\_\_\_\_

( підпис )

Совков О.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_

( підпис )

Поляков М.О.

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної кваліфікаційної роботи магістра:

82 с., 4 табл., 38 рис., 11 джерел.

**ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, МІКРОПРОЦЕСОРНЕ КЕРУВАННЯ, ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНА МОДУЛЯЦІЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ПОСТІЙНОЇ НАПРУГИ, КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ**

**Об'єкт дослідження** – процес керування двигуном постійного струму.

**Предмет дослідження** – методи та алгоритми мікроконтролерного керування. **Мета роботи** – розробка та дослідження блоку мікропроцесорного керування двигуном постійного струму. **Матеріали, методи та технічні засоби:** середовища програмування та моделювання Arduino IDE, Proteus система автоматизованого проектування DC-DC Designer,

**Результати.** Розроблена апаратна частина та програма керування блоку мікропроцесорного керування двигуном постійного струму, виконан автоматизований розрахунок перетворювача постійного струму. Досліджено залежність коефіцієнту корисної дії перетворювача від режиму роботи

**Висновки.** Розроблене апаратна частина та програма керування блоку мікропроцесорного керування двигуном постійного струму відповідають технічному завданню. Дослідження визначило високий ККД перетворювача постійної напруги

**Галузь використання** – керування швидкістю та напрямом обертання двигунів постійного струму

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ БЛОКІВ КЕРУВАННЯ ДПС .....	7
1.1 Опис ДПС .....	7
1.2 Аналіз блоків керування .....	22
2 РОЗРОБКА БЛОКА ПМ КЕРУВАННЯ ДПС.....	29
2.1 Структурна схема .....	29
2.2 Електрична схема .....	42
2.3 Автоматизація розрахунку блоку живлення .....	49
2.4 Програми керування.....	53
3 ПРОЕКТУВАЛЬНА ЧАСТИНА.....	71
3.1 Опис перетворювача.....	71
3.2 Порядок проектування .....	73
ВИСНОВОК .....	80
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	81

## ВСТУП

Електродвигуни постійного струму (ДПС) набули широкого поширення завдяки своїм корисним властивостям:

- високим пусковим, гальмівним і перевантажувальним моментам;
- порівняно високій швидкодії, що важливо для реверсування та гальмування;
- можливості широкого та плавного регулювання частоти обертання.

Електродвигуни постійного струму використовуються в регульованих приводах, наприклад, для приводів різних верстатів і механізмів. Потужність цих електродвигунів досягає сотень кіловат. Завдяки автоматизації виробничих процесів та розширенню сфер застосування, зростає потреба в малопотужних двигунах постійного струму загальнопромислового застосування потужністю від одиниць до сотень ват.

У побуті електродвигуни постійного струму використовуються у дитячих іграшках із живленням від звичайних батарей постійним струмом. На виробництві ці електродвигуни приводять у дію різні агрегати та обладнання, що живляться від потужних акумуляторних батарей. В автоматичних системах машини постійного струму широко використовуються як виконавчі приводи стрічкопротяжних самопишучих механізмів, тахогенераторів і електромашинних підсилювачів.

Електродвигуни застосовуються повсюдно, основні сфери застосування:

– Промисловість: насоси, вентилятори, компресори, конвеєри, забезпечення руху інших машин тощо.

– Будівництво: насоси, вентилятори, конвеєри, ліфти, системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

– Споживчі пристрої: холодильники, кондиціонери, персональні комп'ютери та ноутбуки (жорсткі диски, вентилятори), пилососи, пральні машини, міксери та інші.

Основна мета даної кваліфікаційної роботи - розробка системи управління електродвигуном постійного струму, що забезпечує плавний пуск, гальмування та регулювання частоти обертання, яка була б енергоефективною та універсальною з точки зору типів використовуваних електродвигунів постійного струму та алгоритмів управління.

Для управління ДПС перспективно використовувати мікропроцесорні пристрої. Це дозволяє реалізувати програмне керування та підвищити гнучкість, розширити функціональні можливості та коефіцієнт корисної дії пристрою уцілому.

# 1 АНАЛІЗ БЛОКІВ КЕРУВАННЯ ДПС

## 1.1 Опис ДПС

Електродвигун постійного струму перетворює енергію постійного струму на механічну. Закріплений нерухомо статор з головними і додатковими полюсами, що мають обмотки, на валу двигуна, що обертається, закріплений якір має обмотку, і колектор. Щітки встановлені у щіткотримачах у статорі, концентрично колектору.

### 1.1.1 Властивості електродвигунів постійного струму

Властивості електродвигунів постійного струму залежать від способу включення обмотки збудження:

*незалежний* – живлення обмотки здійснюється додатковим джерелом, а обмотка якоря підключена до основного джерела та реостат, що регулює швидкість обертання, реостат пусковий, що обмежує струм якоря;

*паралельний* - в ланцюг обмотки включений реостат регулювальний, а в ланцюг якоря пусковий реостат, підключені до одного джерела, характеристика аналогічна способу незалежного включення;

*послідовний* – обмотки з обмоткою якоря включені послідовно, спосіб м'яка характеристика, але не допускається застосування в пристроях з малими навантаженнями, холостим ходом, двигун необмежено збільшує оберти;

*змішаний* – обмотки попарно включені послідовно та паралельно з обмотками якоря, у способу м'яка характеристика та працює на холостому ході.

Двигуни влаштовані однаково відрізняються лише включенням обмоток.



Швидкість двигуна регулюють, змінюючи напругу якоря, магнітний потік, величину опору якорі. Режим гальмування застосовується нарівні з режимом руху зменшення часу зупинки і реверсу, зниження швидкості обертання, виключення надмірного збільшення швидкості. Режими гальмування: генераторний, електродинамічний та противмикання.

### **1.1.2 Електричні машини за типом живлення**

Електричні машини за типом живлення поділяються на машини змінного та постійного струму. Машини постійного струму підключаються до постійного струму. З точки зору електромагнітних процесів, що відбуваються, прийнято виділяти в електричній машині дві частини: 1) частина, що забезпечує створення магнітного потоку - індуктор, і 2) частина, в якій наводиться ЕДС і протікає струм навантаження, - якір. У машинах постійного струму якір обертається, а індуктор, що має явно виражені полюси полярності, що чергується, - нерухомий (в синхронній машині класичної конструкції якір нерухомий, а індуктор обертається). Необхідними елементами сучасної машини постійного струму є колектор і щітки.

### **1.1.3 Склад електроприводу**

Електропривод включає джерело живлення, сукупність взаємодіючих електричних, електромеханічних перетворювачів і керуючих, інформаційних пристроїв, пристроїв сполучення із зовнішніми, що межують з електроприводом електричними, механічними системами, а також керуючі та інформаційні системи з метою забезпечення руху виконавчого органу машини і контролю цього руху по певного закону.

Електропривод дозволяє здійснювати цілеспрямовану зміну швидкості свого обертання, переміщення виконавчої частини машини в заданих межах регулювання з певним ступенем точності та швидкодії.

#### **1.1.4 Класифікація електроприводів**

Електроприводи технічних систем поділяються на:

- Головні групи за призначенням - для забезпечення головного руху, подачі та допоміжні;
- класи за методом налаштування - з постійною величиною моменту, постійною потужністю, зміною напруги на якірному двигуні постійного струму та зміною струму збудження (дворівневе налаштування);
- типи за родом струму у виконавчому двигуні – постійного та змінного;
- види за схемою силового конвертера - випрямлячі, що управляють (однофазні і багатофазні), широтно-імпульсні конвертери, автономні перетворювачі напруги (струму) по струму;
- структури системи автоматичного управління – одноконтурні та багатоконтурні системи;
- аналогові (аналогові "за датчиком інтенсивності" і датчики основного зворотного зв'язку), і аналогові або цифрові регулятори, засновані на формуванні заданого закону управління швидкості виконавчого двигуна.

#### **1.1.5 Основні параметри електроприводів**

Основними характеристиками електроприводів є:

- номінальний крутний момент на валі електродвигуна  $M_{\text{ном}}$ ;
- номінальна потужність на валу електродвигуна  $P_{\text{ном}}$ ;
- номінальне значення кутової швидкості ( $n$ )  $\Omega_{\text{ном}}$ ;
- максимальне значення кутової швидкості  $\Omega_{\text{max}}(n_{\text{max}})$ ;
- діапазон регулювання - відношення максимальної швидкості до мінімальної ( $\Omega_{\text{max}}/\Omega_{\text{min}}$ ), при якому зберігаються параметри вихідних координат електроприводу при зміні навантаження, напруги мережі, температури навколишнього середовища, напрямки обертання двигуна та нерівномірності його обертання;
- чутливість - мінімальна керуюча дія, що сприймається електроприводом  $U_{\text{emin}}$ ;
- перевантажувальна потужність за потужністю ( $P_{\text{час}}/P_{\text{ном}}$ ) та моментом ( $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$ ) у встановлених та перехідних режимах;
- динамічні характеристики управління - час пуску  $t_n$  та гальмування  $t_r$ ; час реакції на обурення в навантаженні - час стабілізації швидкості  $t_b$  та динамічна зміна швидкості  $\Delta \Omega$ ;
- масогабаритні характеристики .

Механічні та електричні характеристики електроприводу постійного струму взаємопов'язані через відомі співвідношення, які математично виражають різні способи регулювання швидкості:

$$P_{\text{мех}} = M \cdot \Omega; P_{\text{ел}} = U \cdot I; \Omega = (U - IR) / c_m \Phi);$$

$$M = c_m / \Phi; c_m = p_0 N / (2\pi a),$$

де:

$P_{\text{мех}}$  – механічна потужність на валу електродвигуна;

$P_{\text{ел}}$  – електрична потужність двигуна;

$M$  – обертальний момент на валу двигуна;

$\Omega$  - швидкість двигуна;

$U$  – напруга на якорі двигуна;

$I$  – струм двигуна (діюче значення);

$\Phi$  – потік збудження двигуна;

$c_m$  – конструктивна постійна двигуна;

$p_d$  – кількість пар полюсів двигуна;

$N$  – кількість активних провідників обмотки якоря пазу;  $a$  – кількість паралельних віток обмотки якоря.

Регулювання швидкості двигуна постійного струму може бути здійснена шляхом зміни двох електричних параметрів - напруги на якорі ( $U$ ) та магнітного потоку збудження.

### **Узагальнена схема побудови електропривода**

Електропривод технічної системи (ТС) являє собою поєднання електрорухового пристрою, перетворювального пристрою, системи автоматичного контролю (САК), виконавчого механізму та об'єкта контролю. Електропривод призначений для приведення виконавчого органу ТЗ в дію та управління цією дією згідно з заданим алгоритмом. Так як електропривод є основним структурним компонентом будь-якої сучасної автоматизованої виробничої машини, можна стверджувати, що покращення якості та

ефективності технологічного обладнання пов'язане з переважним розвитком та удосконаленням електроприводу та системи його управління.

Властивості електроприводу (рис. 1.1), у свою чергу, є взаємозалежними характеристиками елементів, що утворюють його підсистеми: механічної, електричної та магнітної. Джерело живлення (ДЖ) являє собою систему енергопостачання (СЕР), що забезпечує вироблення, розподіл та передачу електроенергії необхідної кількості та необхідної якості для електроприводу. Система енергопостачання може бути реалізована на постійному змінному струмі або їх комбінації.

Незалежно від використовуваного роду струму, система електропостачання включає такі складові, як безпосередньо джерело електроенергії, регулятори і узгоджувальні пристрої, акумулятори або інші альтернативні джерела енергії. Вибір джерела живлення здійснюється в залежності від функціонального призначення електроприводу в цілому, від розв'язуваних завдань у рамках технологічного процесу автоматизованого виробництва та від техніко-економічного обґрунтування вибору типу джерела живлення на етапі технічної пропозиції при розробці електроприводу.

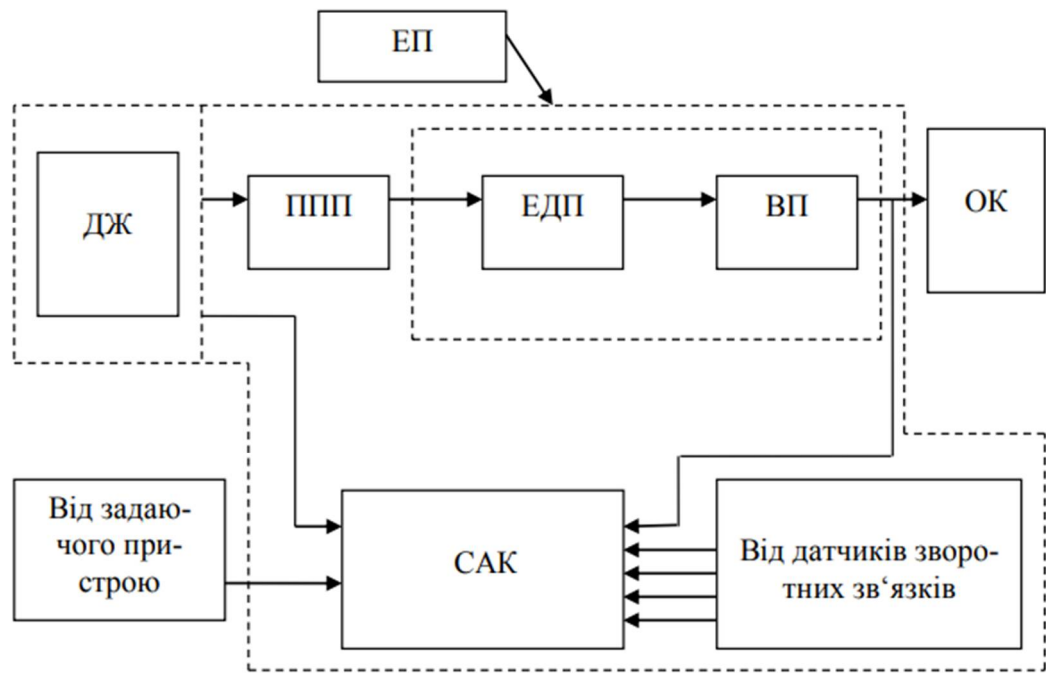


Рисунок 1.1 - Узагальнена функціональна схема побудови електропривода

Підсилювально-перетворююче пристрій (ППП) є важливим компонентом структури будь-якого електроприводу. Ці пристрої створюються на основі сучасних напівпровідникових перетворювачів, таких як транзисторні для електроприводів з двигунами малої та середньої потужності та тиристорні, симісторні для двигунів потужністю до 2 кВт. ППП служить для перетворення електричного струму і напруги, наприклад, змінного струму в постійний і навпаки, а також змінного струму однієї частоти струм іншої частоти і низької постійної напруги у високу постійну напругу.

Електропривод повинен створювати рушійні сили, тобто рушійний момент або механічну силу, що передається двигуну, та виконувати функції виконавчого пристрою (ВП) щодо переміщення робочого органу згідно із заданим законом управління. Сьогодні в якості електроприводу широко застосовуються колекторні та безконтактні двигуни постійного струму, дво- та трифазні асинхронні двигуни, синхронні двигуни з постійними магнітами, реактивні та гістерезисні двигуни, крокові двигуни та різні типи лінійних

двигунів постійного та змінного струму. Автоматизоване виробництво також широко використовує електромагнітні виконавчі механізми: електромагнітні муфти, перетворювачі та ходові електромагніти.

Об'єктом керування (ОК) вважатимуть одиницю технологічного устаткування, функціонування якої призводить до зміни форми вихідного матеріалу, його становища чи фізичних властивостей. У процесі автоматизованого виробництва використовуються складні технологічні комплекси для обробки матеріалу, контролю розмірів, транспортування та зберігання продукту. У цьому процесі можуть брати участь різні верстати, пристрої для автоматичної зміни інструментів та виробів, автоматичні сховища та спеціалізовані маніпуляційні системи (включаючи промислові роботи).

Кожен об'єкт керування, у свою чергу, є конструктивним модулем, що забезпечує можливість необхідного координатного руху (наприклад, різака) щодо продукту, що обробляється в пружній системі об'єкта управління. Пружна система об'єкта управління включає всі вузли і механізми, що складають нерухому корпусну частину (несуча система) і виконавчі механізми приводів. Виконавчі механізми забезпечують прямі переміщення робочих органів, та його динамічні характеристики істотно впливають на початкові характеристики електропривода.

### **1.1.6 Електромеханічні властивості двигунів постійного струму**

Електродвигуни постійного струму з незалежним та паралельним збудженням. Ці двигуни є основними в системах профільних та трубчастих прокатних станів, металообробних верстатів та допоміжних механізмів. Електромеханічні властивості цих електродвигунів постійного струму,

включаючи їх характеристики, переважно ідентичні. Схеми підключення генераторів із незалежним збудженням представлені на рис. 1.2.

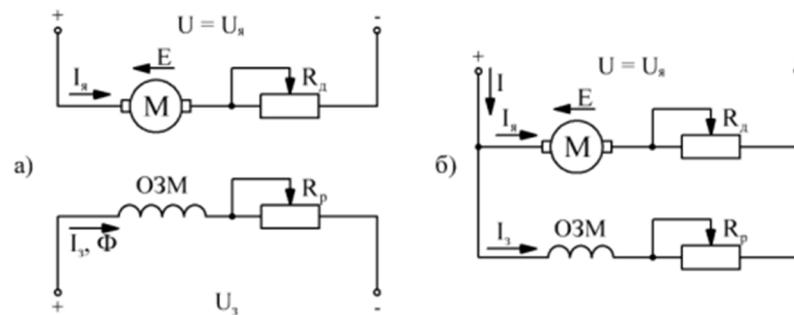


Рис.1.2. Схеми вмикання ДПС з незалежним (а) та паралельним (б) збудженням

Для визначення характеристик електродвигунів постійного струму в режимі, що встановився, використовуються наступні рівняння:

а) рівняння балансу напруг за колом якоря ДПС

$$U = E + I_{я} \cdot R;$$

б) вираз для ЕРС якоря

$$E = k \cdot \Phi \cdot \omega;$$

в) вираз для електромеханічного обертового моменту ДПС

$$M = k \cdot \Phi \cdot I_{я};$$

г) рівняння механічної рівноваги або моментів

$$M = M_c \pm J \frac{d\omega}{dt}, \quad \text{для усталеного режиму } M = M_c,$$

де  $R_{я}$  – опір кола якоря;

$R_{д}$  та  $R_{р}$  – відповідно додаткові опори кіл обмоток якоря та збудження машини (ОЗМ);

та  $I_{я}$  – загальний струм ДПС та обмотки якоря;



$R = R_{\text{я}} + R_{\text{д}}$  – повний опір кола якоря;

$\Phi$  магнітний потік ОЗМ;

$M_{\text{с}}$  – статичний момент опору, який створюється робочим механізмом або машиною (РМ), зведений до вала двигуна;

$J$  момент інерції двигуна або привода у цілому;

$\omega$  – механічна кутова швидкість ДПС;

$k$  – конструктивний коефіцієнт машини, який визначається за формулою

$$k = p \cdot N / (2 \cdot \pi \cdot a),$$

де  $p$  – кількість пар полюсів;

$a$  – кількість активних провідників та паралельних гілок обмотки якоря.

На основі цих рівнянь після деяких перетворень, виразу або рівняння для електромеханічної (швидкісної) характеристики можуть бути представлені у вигляді

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - I_{\text{я}} \cdot \frac{R}{k \cdot \Phi},$$

і механічної характеристики з урахуванням виразу

$$I_{\text{я}} = M / k \cdot \Phi:$$

$$\omega = \frac{U}{k \cdot \Phi} - M \cdot \frac{R}{(k \cdot \Phi)^2}.$$

Ці Рівняння у правій частині мають дві складові: перша не залежить від струму якоря та моменту та являє собою кутову швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = U / (k \cdot \Phi) \text{ або } \omega_0 = \omega_{\text{н}} \cdot U_{\text{н}} / (U_{\text{н}} - I_{\text{ян}} \cdot R_{\text{н}}),$$

де індекс «н» номінальне значення параметра. Друга складова рівнянь визначає нахил характеристик до осі абсцис, який характеризується коефіцієнтом жорсткості. Наприклад, для механічної характеристики величина цього коефіцієнта дорівнює

$$\beta = -\frac{k^2 \cdot \Phi^2}{R_{я} + R_{д}}$$

Тоді рівняння буде мати вигляд:

$$\omega = \omega_0 - M/\beta.$$

При зміні опору  $R_d$  змінюється нахил механічних характеристик штучних характеристик реостатного типу. Зі збільшенням опору  $R_d$  збільшується нахил характеристик, тобто зменшується їхня жорсткість. Для заданих значень опору  $R_d$  та моменту  $M_c$  кутова швидкість визначається наступним виразом:

$$\omega_R = \omega_0 \left[ 1 - I(R_{я} + R_{д})/U_{я.н} \right].$$

Точка перетину властивості з віссю ординат (віссю кутової швидкості) відповідає холостому ходу, і з віссю абсцис - короткому замиканню. Останнє характеризується струмом короткого замикання:

$$I_{кз} = \frac{U}{R_{я} + R_{д}},$$

та моментом короткого замикання:

$$M_{кз} = k \cdot \Phi \cdot U / (R_{я} + R_{д}),$$

який залежить від опору та магнітного потоку  $\Phi$ .

Для побудови графіка механічної характеристики, яка є лінійною, необхідно мати координати двох точок, що відповідають режимам холостого ходу

( $\omega = \omega_0$  ;  $I = 0$ ) і номінальному ( $\omega = \omega_n$  ;  $M = M_n$ ).

Для визначення орієнтованої величини номінального опору кола якоря використовується вираз:

$$R_{я} = 0,5 \cdot (1 - \eta_n) \cdot U_{я,n} / I_{я,n},$$

де  $\eta_n$  – номінальне значення ККД, яке визначається за формулою

$$\eta_n = P_n / (U_n \cdot I_n),$$

де  $P_n$  – номінальна (паспортна) потужність ДПС. Як відомо, енергетичний режим роботи електричної машини (ЕМ) визначається напрямом або знаком двох пар змінних: ЕРС  $E$  та струмом  $I_a$ , моментом  $M$  та швидкістю згідно з виразом для механічної потужності машини:

$$\pm P = (\pm M) \cdot (\pm \omega).$$

Якщо  $P < 0$ , то ЕМ працює у режимі генератора; якщо  $P > 0$ , то ЕМ працює у режимі двигуна. Генераторному режиму відповідають II і IV квадранти, а двигунному - I і III квадранти механічної характеристики. До основних енергетичних режимів роботи ДПС відносяться:

- 1) холостого ходу;
- 2) короткого замикання;
- 3) двигунний;
- 4) генераторний ДПС паралельно з мережею або режим рекуперативного гальмування;
- 5) генераторний ДПС незалежно від мережі або режим динамічного гальмування;
- 6) генераторний ДПС послідовно з мережею або режим гальмування противмиканням.

### 1.1.8. Гальмівні режими ДПС з незалежним та паралельним збудженням

Гальмівні режими ДПС із незалежним та паралельним збудженням. До основних способів гальмування цих двигунів відносяться: рекуперативне гальмування з віддачею енергії в мережу, динамічне гальмування та гальмування протиключенням

Рекуперативне гальмування можливе, якщо швидкість двигуна  $\omega > \omega_0$ . Тому ЕРС обмотки якоря стане більш напругою живлення, тобто  $|E| > |U_{\text{я}}|$ . Під впливом ЕРС струм якоря змінює напрямок:

$$I_{\text{я,р}} = -(U - E)/R < 0.$$

Відповідно змінює напрям (знак) і момент двигуна, який тепер буде гальмівним. Рівняння механічної характеристики приймає вигляд

$$\omega = U/(k \cdot \Phi) + M_{\text{тор.}} \cdot R/(k \cdot \Phi)^2.$$

Механічна характеристика в цьому режимі починається в точці холостого ходу ( $\omega_0$ ) і є продовженням відповідної характеристики рухового режиму координатних квадрантах II і IV. Електрична енергія, що виробляється двигуном постійного струму, повертається до електричної мережі. Рекуперативне гальмування активно використовується в електроприводах постійного струму (наприклад, у прокатних станах, допоміжних механізмах), забезпечуючи високу плавність і ефективність гальмування.

Динамічне гальмування виконується шляхом від'єднання ланцюга якоря двигуна від електричної мережі та підключення його до динамічного резистора гальмування ( $R_{\text{динам}}$ ). В результаті струм якоря в даному режимі визначається

ЕРС:

$$I_{\text{я.дин}} = -E / (R_{\text{я}} + R_{\text{дин}}).$$

Механічна енергія рухомих елементів механізму і якоря перетворюється на електричну енергію, яка, своєю чергою, розсіюється як теплової енергії на елементах якірної ланцюга. Зі зменшенням швидкості двигуна зменшується струм якоря і, відповідно, гальмівний момент двигуна до його повної зупинки. Механічні характеристики двигуна в цьому режимі проходять через початок координат в координатних квадрантах II або IV. Цей спосіб гальмування забезпечує високу плавність та точність дозування гальмівного моменту.

### 1.1.9. Гальмування противмиканням

Гальмування противмиканням здійснюється двома способами

1. Введення в якірний ланцюг двигуна резистора з високим опором дозволяє знизити крутний момент двигуна і зробити його меншим за статичний момент навантаження, тобто  $M < M_c$ . В результаті двигун гальмується та зупиняється. Потім, під впливом моменту  $M_c$ , він починає обертатися у зворотний бік і розвиває крутний момент протилежного знака (тобто двигун змінює напрямок обертання).

2. Зміна полярності напруги на обмотці якоря при включенні в якірний ланцюг додаткового резистора противмикання  $R_p$  викликає зміну напрямку струму якоря на протилежне, і його значення стає рівним:

$$I_{\text{я.п}} = - \frac{U + E}{R_{\text{я}} + R_{\text{п}}}.$$

Таким чином, момент двигуна також змінюється протилежний, стаючи гальмівним, і двигун зупиняється. Щоб запобігти реверсуванню двигуна, його відключають від джерела живлення.

Цей метод гальмування є найефективнішим, але й найскладнішим з погляду температурного режиму (він викликає різке збільшення струму якоря та моменту двигуна). Такий метод гальмування, наприклад, використовується в електроприводах підйомно-транспортних пристроїв і приводах у разі аварійної зупинки механізму.

У двигунах постійного струму з послідовним і змішаним збудженням обмотки збудження машини включаються послідовно по відношенню до обмотки якоря, внаслідок чого струм збудження дорівнює струму якоря і залежить від навантаження на двигун. При збільшенні навантаження на двигун швидкість знижуватиметься, оскільки при цьому зростає потік збудження. Математичний вираз механічної характеристики має такий вигляд:

$$\omega = C_1' \cdot U / \sqrt{M} - C_2(R).$$

При навантаженнях на 15 – 20 % нижче номінального швидкість двигуна неприпустимо зростає, а при навантаженні  $M_c \approx 0$ , швидкість  $\omega \rightarrow \infty$ , що може привести до аварії (до механічного руйнування двигуна). Тому ДПС з послідовним збудженням неможливо пускати вхолосту.

Двигуни постійного струму з послідовним збудженням мають два способи електричного гальмування: гальмування опором, аналогічне двигунам з паралельним або незалежним збудженням, та гальмування шляхом зміни полярності струму в якорі.

Двигуни постійного струму зі змішаним збудженням мають дві обмотки збудження: послідовну і паралельну, які спільно створюють загальний магнітний потік. Механічна характеристика двигуна зі змішаним збудженням має точку зі швидкістю обертання, рівної швидкості холостого

ходу, при моменті навантаження МС, рівному нулю, а властивості двигуна визначаються співвідношенням між магніторушійними силами обмоток збудження.

У двигунах зі змішаним збудженням можливі всі три основні способи електричного гальмування: рекуперативне, гальмування динамічним опором та гальмування при зміні полярності. Механічні характеристики цих двигунів у режимах гальмування мають практично лінійний характер та аналогічні характеристикам двигуна з паралельним збудженням.

## **1.2 Аналіз блоків керування**

Сучасний автоматизований електропривод є складною системою автоматичного управління, яка може бути частиною ще більш складної системи. Ці системи призначені для збору інформації про протікання технологічного процесу, її обробки на основі заданого алгоритму, вироблення впливів, що управляють, і передачі їх на пристрій, що забезпечує оптимальне протікання технологічного процесу.

Інтенсифікація технологічних процесів у різних галузях промисловості обумовлена ускладненням виробничих технологій з підвищенням вимог до якості продукції та ускладненням процесів технічного виконання, що призводить до появи великої кількості різних систем управління електроприводами. Це зумовлює необхідність їхньої класифікації, яка дозволить вивчати їх більш раціонально.

### **1.2.1 Класифікація систем керування**

Системи управління можна класифікувати за їх призначенням: системи підтримки постійного значення регульованої величини, системи програмного управління та системи стеження. Ця класифікація застосовна тільки до

замкнених систем і не включає найпростіші системи, а також системи, що забезпечують оптимізацію, автоматичне налаштування і комплексну автоматизацію.

Системи управління можна класифікувати за типом використовуваної апаратури: релейні, контакторні, з електромашинними підсилювачами, з магнітними підсилювачами, електронні та напівпровідникові. Однак це не завжди зручно, тому що сучасні системи з апаратурою одного типу можуть будуватися на однакових принципах і змінюватись при переході до іншого типу систем.

Більш доцільно групувати системи керування електроприводом (СУЕП) за основними функціями, які вони виконують у процесі виробництва. Вимоги до СУЕП із боку виробництва може бути різними: від найпростіших окремих простих технологічних механізмів до складних технологічних комплексів, здійснюють різні операції з обробці матеріалів і деталей.

Властивості будь-якої системи визначаються її зв'язками із зовнішнім середовищем, її структурою (елементами системи та їх взаємодією) та її функціонуванням.

### **1.2.2 Методи керування**

Ручне керування виконується за допомогою найпростішої комутаційної апаратури безпосередньо оператором (людиною). Автоматичне керування здійснюється без безпосередньої участі людини, яка може подавати лише перший командний сигнал для виконання певного режиму роботи приводу та контролювати його. Однак, перший командний сигнал може подаватися для окремого пристрою автоматичними засобами.



Автоматичне керування електроприводом (ЕП) - це виконання системою керування без прямої участі оператора заданого робочого режиму у статичному та динамічному режимах відповідно до вимог технологічного процесу.

### 1.2.3 Склад автоматичного керуючого пристрою

Сукупність технічних засобів, що забезпечують автоматичне керування, утворюють автоматичний керуючий пристрій (АКП).

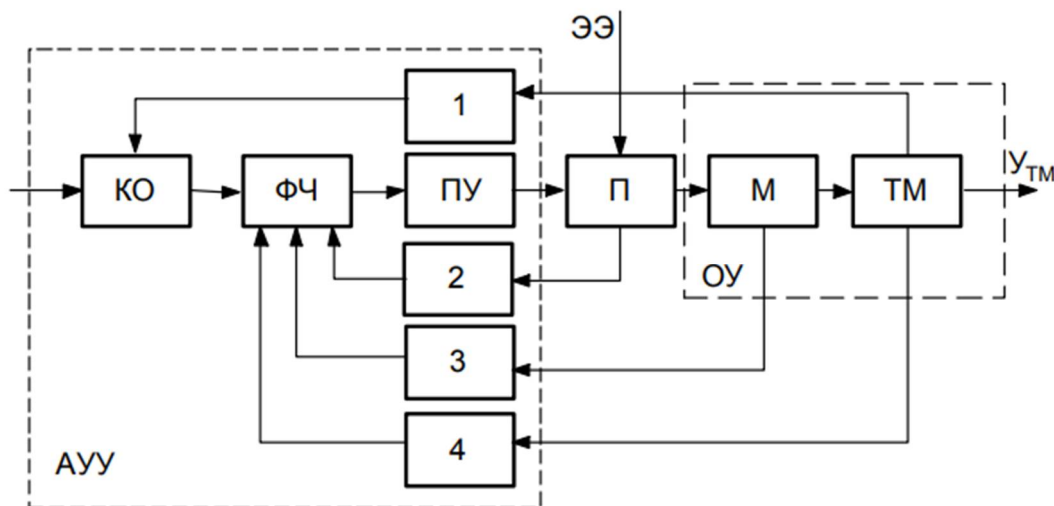


Рисунок 1.1 – Схема електромеханічної системи керування

В основній прямій частині системи маємо: КО – командний орган; ФЧ - функціональна частина (може включати електронний блок, в якому йде обробка та перетворення зворотних зв'язків); ПУ – проміжний підсилювач; М-електрична машина; П – перетворювач; ТМ – технологічний механізм; 1 - головний зворотний зв'язок (ОС), жорсткий; 2-4 - допоміжні ОС, (гнучкі); ЕЕ-електрична енергія; ОУ – об'єкт управління.

АКП складається з КП, що подає керуючі сигнали на завдання або зміна режиму роботи, ФУ, яке перетворює керуючі сигнали, формуючи необхідний закон управління і виконує основну функцію АСУ, ПУ, що підсилює керуючий сигнал до необхідного значення для керування

перетворювачем П. Перетворені сигнали в силовому перетворювачі надходять на електродвигун М і потім у вигляді механічної енергії передаються через кінематичні зв'язки на технологічну машину ТМ. Компоненти структури охоплені зворотні зв'язки 1–4 для підтримки або зміни режимів роботи ТМ.

#### 1.2.4 Види автоматичного керування

Кожну систему контролю та управління електроприводом (СКЕП) можна розглядати як систему, яка приймає та обробляє інформацію. Залежно від кількості використовуваних каналів інформації та їх організації у СКЕП, розрізняють три типи автоматичного управління: розімкнене, замкнуте та комбіноване.

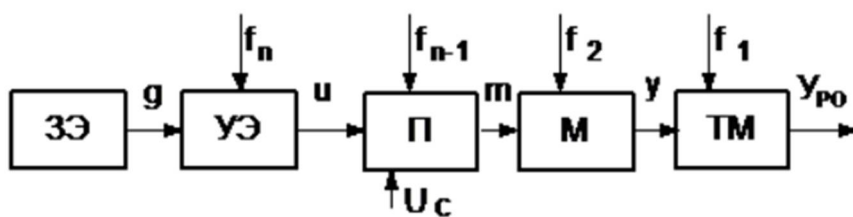


Рисунок 1.2 – Система, що працює за розімкненим циклом

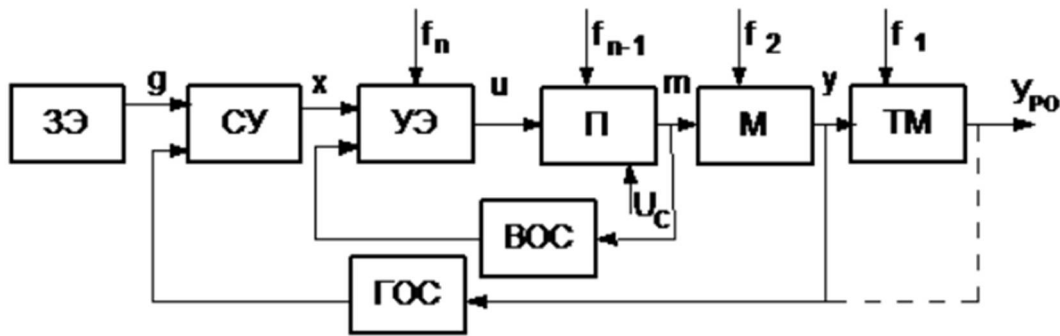


Рисунок 1.3 – Система, що працює за замкненим циклом

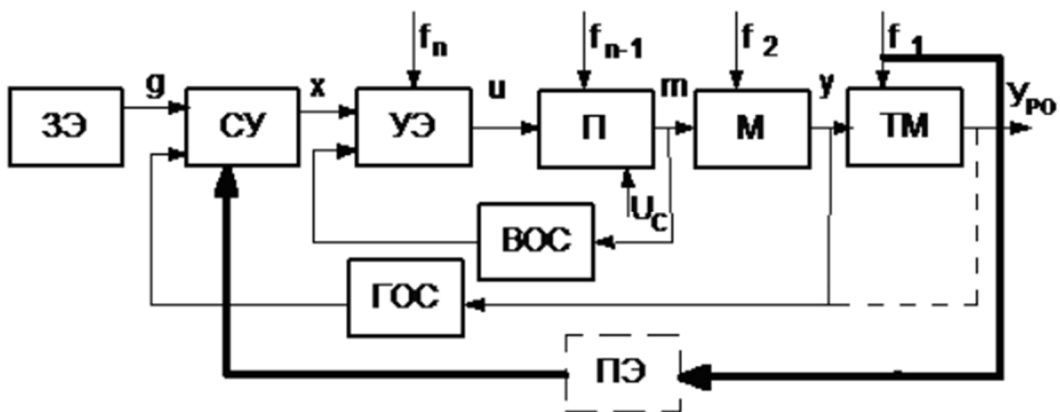


Рисунок 1.4 – Система, що працює за комбінованим циклом

На схемах (рис. 1.2-1.4) введено такі позначення:

ПЕ – перетворювальний елемент;  $U_C$  - напруга мережі живлення;  $U$  – регульована величина;  $m$  - регулюючий вплив;  $g$  - сигнал інформації, що задає;  $f_1$ - $f_n$  – обурення; ЗЕ - елемент, що задає; СУ - підсумовуючий пристрій; УЕ – керуючий елемент; П – силовий перетворювач; М – електрична машина; ДЕРЖ – головна ОС; ВОС – допоміжна ОС.

Для систем, що працюють за розімкненим циклом (Рисунок 1.2) характерна відсутність будь-якого вимірювання та контролю кінцевого значення регульованої величини.

У системах регулювання із розімкненим контуром вплив від регульованої величини не враховується. У таких системах є лише один інформаційний канал - канал завдання, і точність виконання заданого режиму

невисока. Такі системи використовуються для запуску та зупинки двигунів, а також для регулювання швидкості в обмеженому діапазоні.

У системах управління із замкнутого циклу (Рисунок 1.3) спільно використовується два канали інформації

Канал інформації, що задає  $g(t)$ ;

Канал інформації про фактичне значення регульованої величини  $y(t)$  – зворотний зв'язок

Завдання порівнюється з інформацією зворотного зв'язку, визначається помилка управління

$$x(t) = g(t) - y(t)$$

$i$  в залежності від величини  $i$  знака цієї помилки через канал управління подається керуючий вплив  $m(t)$  на електропривод таким чином, щоб помилка звелася до нуля (або до допустимого значення), тобто забезпечити зміну регульованої величини відповідно до необхідного закону.

У цьому випадку жодна з впливів, що обурюють, не вимірюється, і їх вплив на регульовану величину сприймає система управління через канал зворотного зв'язку. Таке управління називається управлінням помилково, а зворотний зв'язок за регульованою величиною - головний негативний жорсткий зворотний зв'язок. Крім головного зворотного зв'язку, у таких системах використовуються додаткові (допоміжні) зворотні зв'язки (ВОС). Дія гнучких зворотних зв'язків проявляється лише у перехідних процесах. Керуючі та допоміжні елементи системи керування електроприводом (СУЕП) служать для покращення якості процесу керування. Жорсткі негативні ВОС зменшують вплив факторів, що обурюють, на елементи, охоплені ними. Якщо система має один головний зворотний зв'язок - одноконтурний, і, крім

головного зворотного зв'язку, один або кілька локальних зворотних зв'язків, то така система є багатоконтурною.

Якість роботи системи з ОС значно вища, ніж у розімкнутій системі та їх застосовують:

- У глибоко регульованих ЕП;
- При складних змінах впливає  $g(t)$ ;
- У приводах, що узгоджено працюють органів одного механізму або декількох різних механізмів;
- Коли потрібне формування оптимальних процесів пуску, гальмування, реверсу.

Найбільш досконалими є системи управління за комбінованим контуром (рисунок 1.4). Вони поєднують розімкнуті та замкнуті системи. До основної замкнутої схеми додається розімкнений контур інформаційного каналу основного впливу  $f_1(t)$ . У впливі  $m(t)$ , що управляє, завжди присутня складова, що компенсує вплив обурення  $f_1(t)$ , що забезпечує незалежність (інваріантність) керованої величини  $y(t)$  щодо обурюючого основного фактора.

Розімкнений контур реалізує принцип управління з обурення. Основне обурення усувається основною замкнутою структурою. Система управління електроприводом (СУЕП), що має головний зворотний зв'язок за керованою величиною, називається замкненою. У деяких випадках керованою величиною електроприводу є вихідна координата технологічного механізму  $T_M - Y_{ро}$  (кутове переміщення виконавчого органу, температура тощо). В цьому випадку вхідний контур головного зворотного зв'язку переноситься на вихід  $T_M$  (відповідно до пунктирних ліній на малюнках 1.3 і 1.4).

На кшталт інформаційних і управляючих сигналів системи управління електроприводами (СУЕП) поділяються на безперервні (аналогові) і

дискретні (імпульсні, цифрові, релейні). Системи можуть бути статичними ( $\Delta X \neq 0$ ) і астатичними ( $\Delta X = 0$ ) щодо впливу, що задає або обурює. Залежно від характеру рівнянь, що описують процеси, що управляють, всі системи умовно діляться на лінійні (лінеаризовані) і нелінійні.

## **2 РОЗРОБКА БЛОКА МП КЕРУВАННЯ ДПС.**

### **2.1 Структурна схема**

Робочу модель пристрою керування двигуном постійного струму показано на рисунку 2.1.

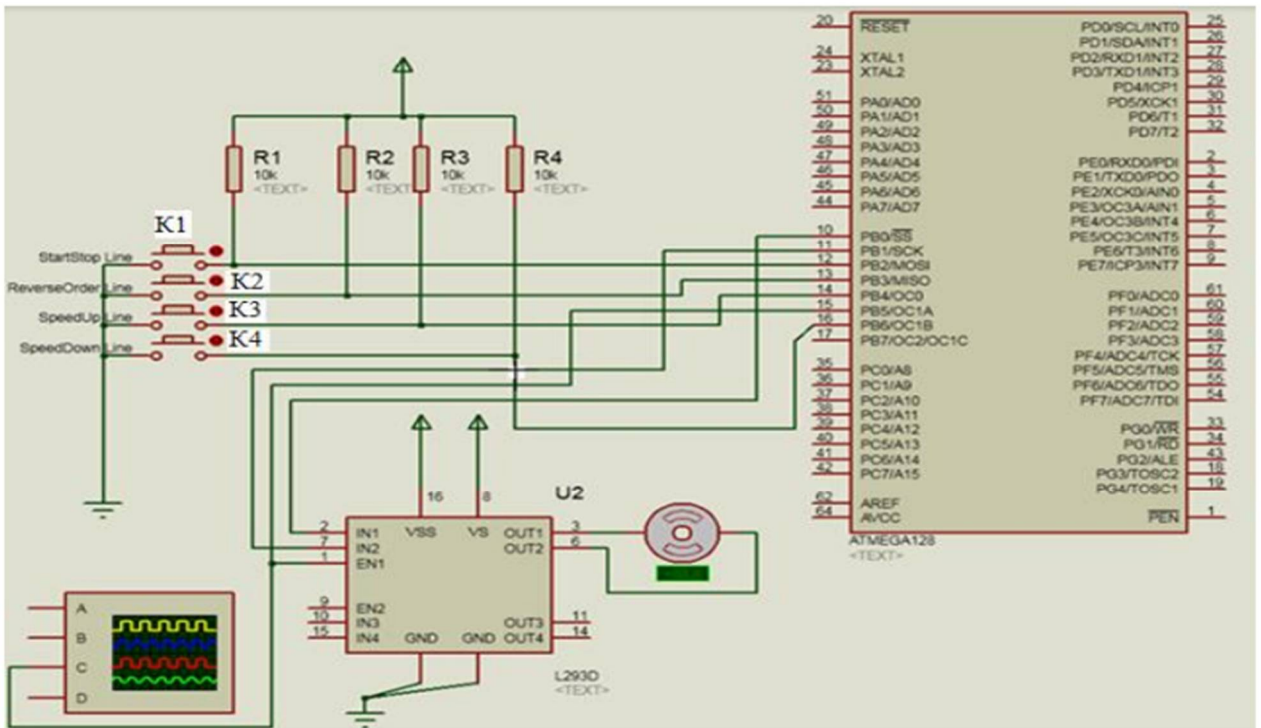
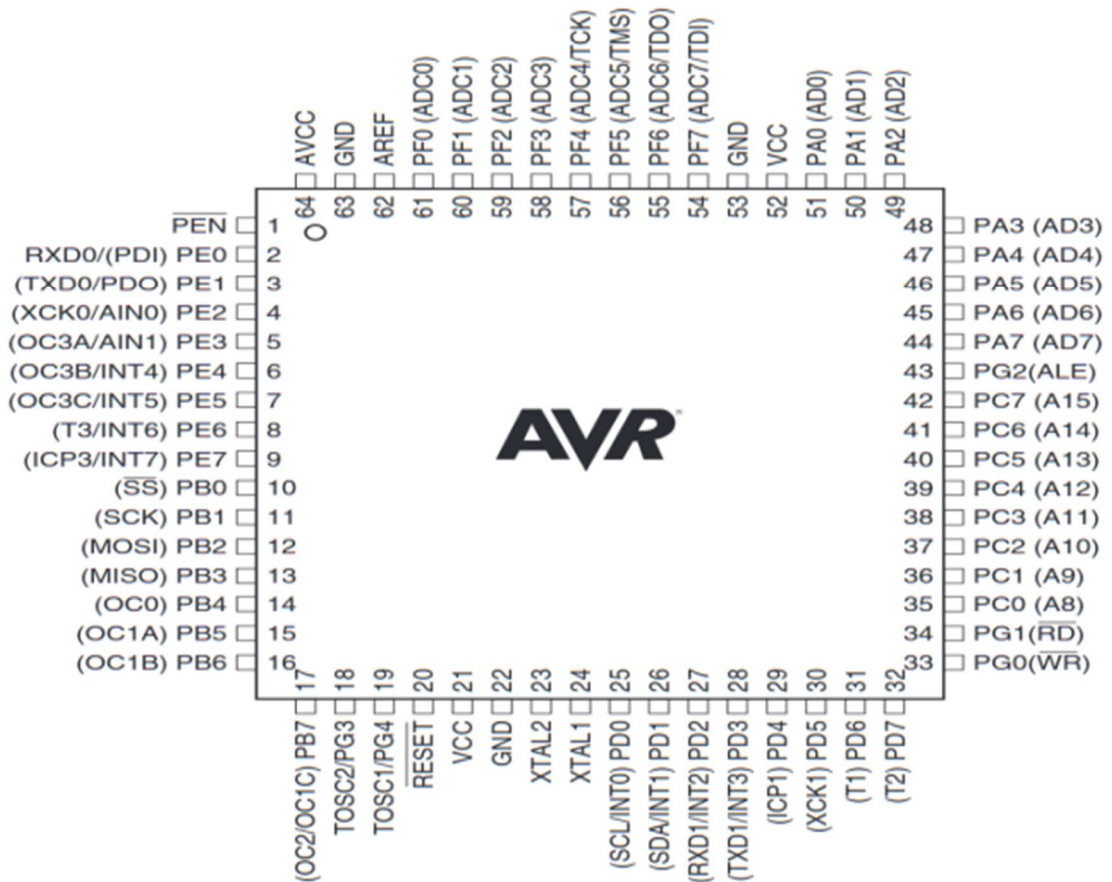


Рисунок 2.1– Схема моделі пристрою керування двигуном постійного струму



## Рисунок 2.2 – Виводи мікроконтролера ATmega128

Розберемо цю модель докладніше. З лівого боку рисунку 2.1 ми бачимо кнопки керування: K1, K2, K3, K4 на які, через резистори R1, R2, R3, R4 відповідно, подається напруга. У правому нижньому куті ми бачимо двигун постійного струму DC Motor, а трохи лівіше мікросхему L293D, через яку мікроконтролер і керує двигуном за допомогою ШІМ – сигналу.

Мікроконтролер ATmega128 розташований у верхньому правому кутку. Ми використовуємо зовнішні резистори, оскільки не використовуємо вбудовані резистори, що підтягують, для входних ліній мікроконтролера. Малюнок 2.2 показує позначення висновків мікроконтролера. Далі ми докладно пояснимо, що і до чого підключається до моделі.

Почнемо з кнопок, за допомогою яких ми управлятимемо електродвигуном постійного струму (DC Motor) на моделі. На збільшеному зображенні (малюнок 2.3) видно, що кнопки мають нормально розімкнені контакти і не фіксуються, тобто при знятті зусилля вони повертаються в початковий стан. Це означає, що у вихідному положенні входи мікроконтролера ATmega128 через опір R1...R4 надходить високий рівень напруги (логічна 1). Коли натискаються кнопки, на вході мікроконтролера реєструється низький рівень напруги (логічний 0).



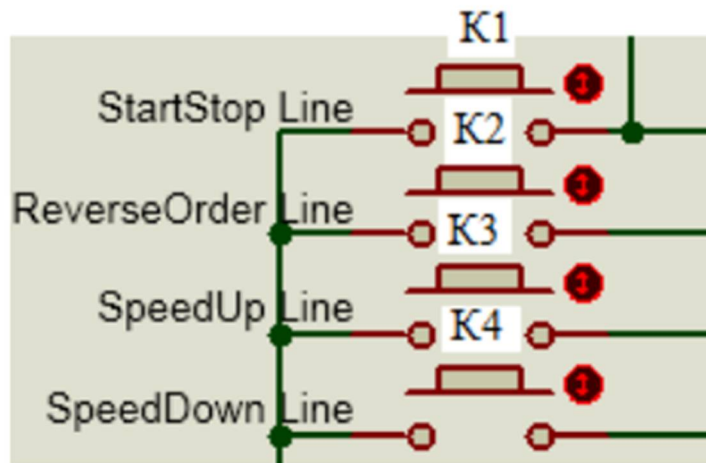


Рисунок 2.3 – Порядок розташування елементів керування

Кнопка K1 (StartStop Line) призначена для включення та вимикання електродвигуна постійного струму (DC Motor). Тобто, якщо двигун вимкнений, вона його увімкне, а якщо двигун увімкнений і працює, вона його вимкне. Кнопка K1 приєднана до висновку 12 мікроконтролера - PB2, який необхідно запрограмувати як вхід.

Кнопка K2 (ReverseOrder Line) відповідає за зміну напрямку обертання двигуна постійного струму DC Motor. Одне натискання – одна зміна напрямку. Проте потрібно мати на увазі, що двигун DC Motor інерційний, і він не зупиняється миттєво і одразу починає обертатися в інший бік. Після зміни напрямку програмно, у нього витрачається певний період часу, щоб фізично зупинитись, та почати обертатись у іншу сторону. Кнопку K2 підключено до 13-го виводу ATmega128, а саме до PB3, який попередньо запрограмовано як вхід.

Кнопка K3 (SpeedUp Line) відповідає за фізичне збільшення швидкості обертання нашого двигуна постійного струму DC Motor шляхом поступового збільшення постійної еквівалентної напруги імпульсного ШІМ – сигналу до максимуму, який дорівнює повному значенню напруги живлення на виводі VS мікросхеми L293D (рисунок 2.4). Знову ж таки, через інерцію двигуна

збільшення швидкості обертання відбувається не стрибкоподібно, а поступово, і потрібен певний період часу для виходу на новий, програмно заданий рівень.

Кнопку К3 підключаємо до 14-го виводу (PB4) нашого мікроконтролера. Перед цим цей вивід також потрібно запрограмувати як вхід.

Кнопка К4 (SpeedDown Line) відповідає за зменшення швидкості обертання двигуна постійного струму DC Motor, для чого вона поступово зменшує значення постійної еквівалентної напруги імпульсного ШІМ – сигналу.

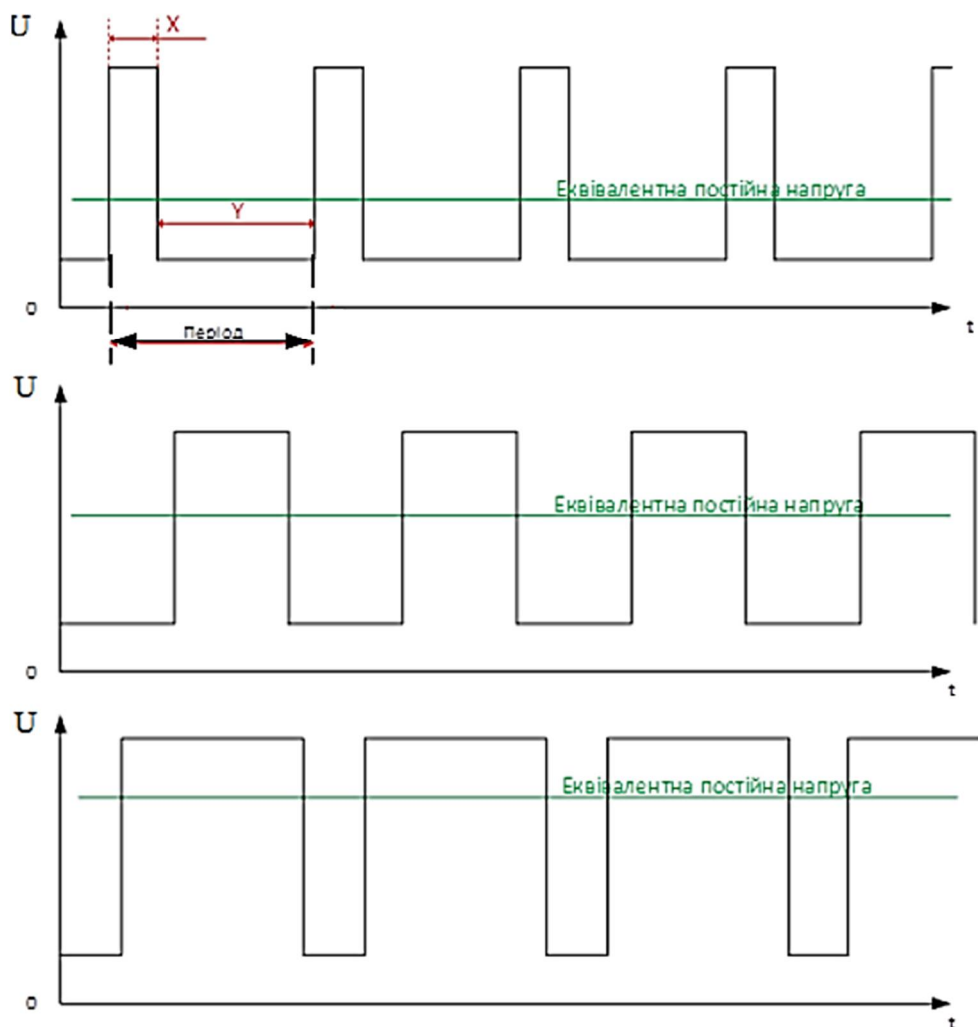


Рисунок 2.4 – Еквівалентна постійна напруга при ШІМ– сигналі

Через інерцію двигуна зниження швидкості обертання відбувається не стрибкоподібно, а поступово, і вимагає для свого зниження певного періоду часу. Кнопку К4 підключаємо до 16-го виводу АТmega128 (PB6), перед цим запрограмувавши його на вхід.

Тепер розглянемо детальніше підключення мікросхеми L293D до мікроконтролера (рисунок 2.5).

Виводи 10 та 11 мікроконтролера, тобто PB0 та PB1 запрограмовані як виходи і підключені, відповідно, до входів IN1 та IN2 мікросхеми L293D (U2).

Залежно від керуючого сигналу на виходах PB0 і PB1 встановлюється високий або низький рівень напруги. Відповідно до цього відповідний ключ на бруківці мікросхеми або замикається, або розмикається. Це дозволяє змінювати напрямок обертання двигуна постійного струму (ДПС).

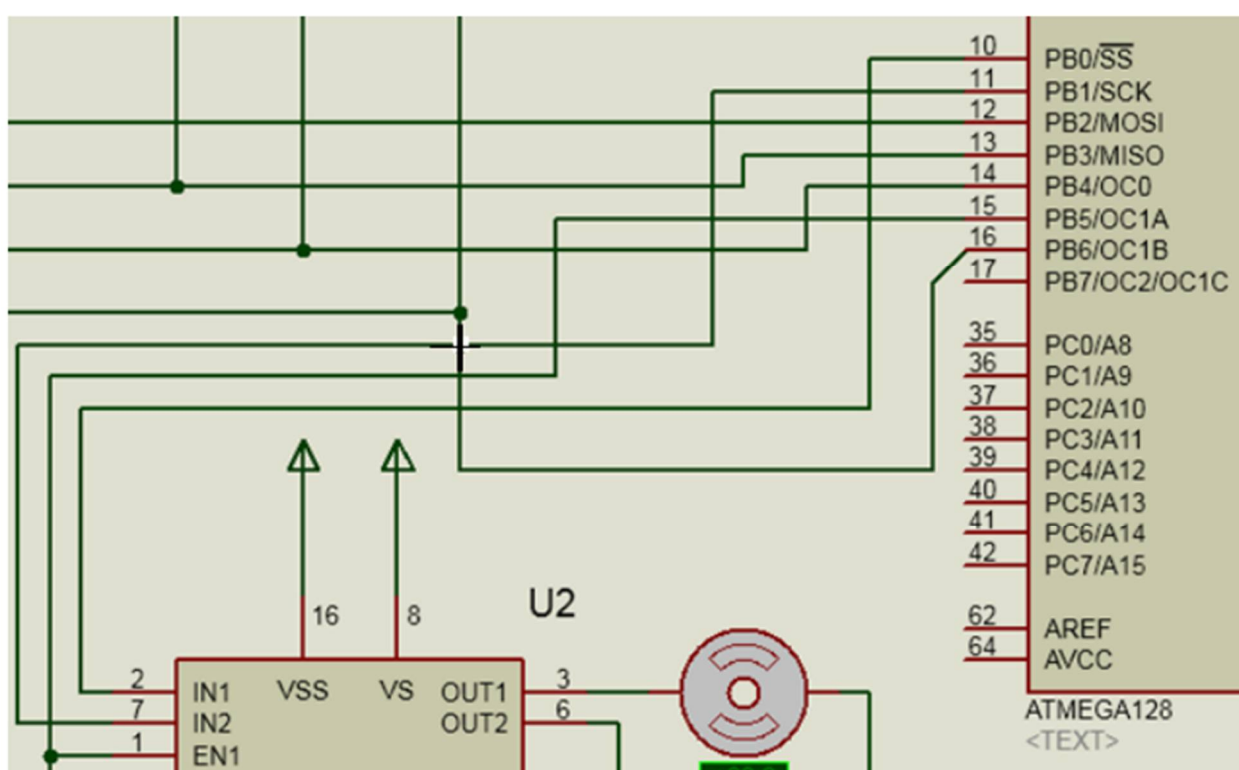


Рисунок 2.5 – Підключення мікросхеми L293D та мікроконтролера АТmega128

15-й вивід мікроконтролера, PB5, запрограмовано як вихід і підключено до входу EN1 мікросхеми L293D. З цього висновку мікроконтролера знімається ШИМ сигнал. У свою чергу, вхід EN1 використовується для керування першим мостом мікросхеми (див. рисунок 2.4). Якщо на ньому високий рівень, міст подається живлення через висновок VS мікросхеми L293D. Якщо на вході EN1 низький рівень, живлення міст не подається. Саме завдяки цьому входу, який надходить ШИМ-сигнал, ми можемо контролювати електродвигун постійного струму.

Розглянемо використання інших висновків мікросхеми L293D (див. рис. 2.1). Два виходи GND приєднуються до землі. На вхід VSS подається напруга живлення мікросхеми L293D. До входу VS підключається напруга живлення електродвигуна постійного струму (DC Motor).

Тепер залишилося розібратися із підключенням електродвигуна постійного струму та мікросхеми L293D.

Ця схема показана малюнку 2.6.

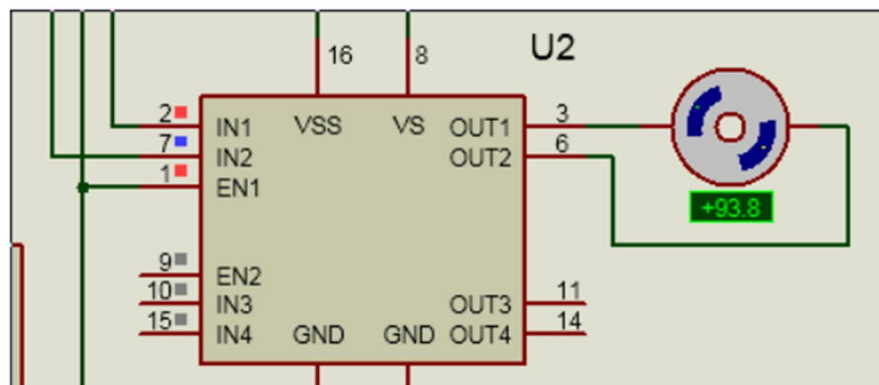


Рисунок 2.6 – Підключення двигуна постійного струму до мікросхеми L293D

Як ми бачимо з рисунку 2.6, наш двигун постійного струму DC Motor підключено до 3 та 6 виходів мікросхеми L293D, а саме OUT1 та OUT2.

На ці виходи подається або напруга живлення, якщо включена перша бруківка, керована входом EN1, і якщо ключі в цій бруківці, що управляють входами IN1 і IN2, замкнуті, або не подається напруга.

Якщо на один із виходів, OUT1 або OUT2, подано напругу, а на іншому його немає, виникає різниця потенціалів, яка змушує струм текти по обмотці електродвигуна постійного струму DC Motor, в результаті чого він починає обертатися.

Деякі фрагменти, які демонструють роботу системи, наведено на рисунках 2.7 – 2.11.

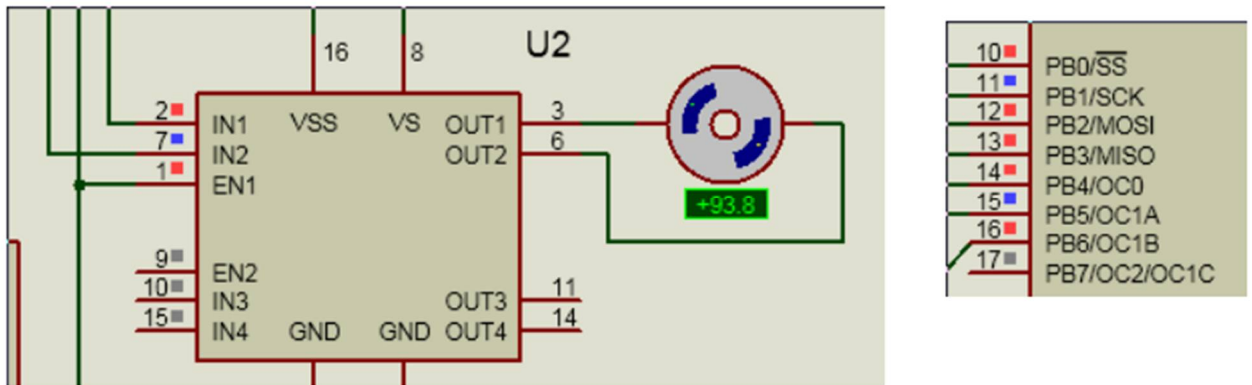


Рисунок 2.7 – Стан моделі після натискання кнопки «старт/стоп»

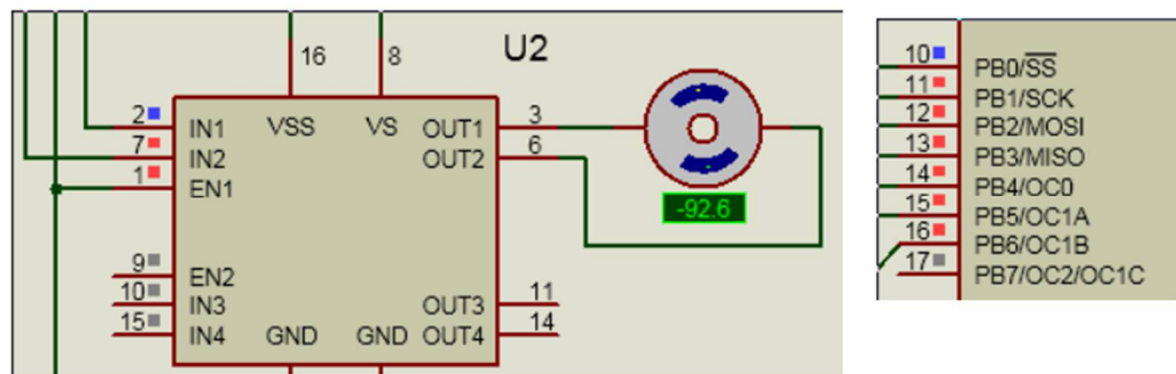


Рисунок 2.8 – Стан моделі після активації режиму реверсу

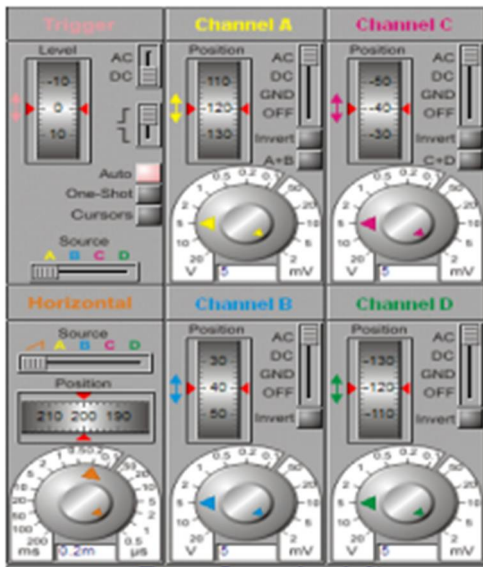


Рисунок 2.9 – Налаштування осцилографа

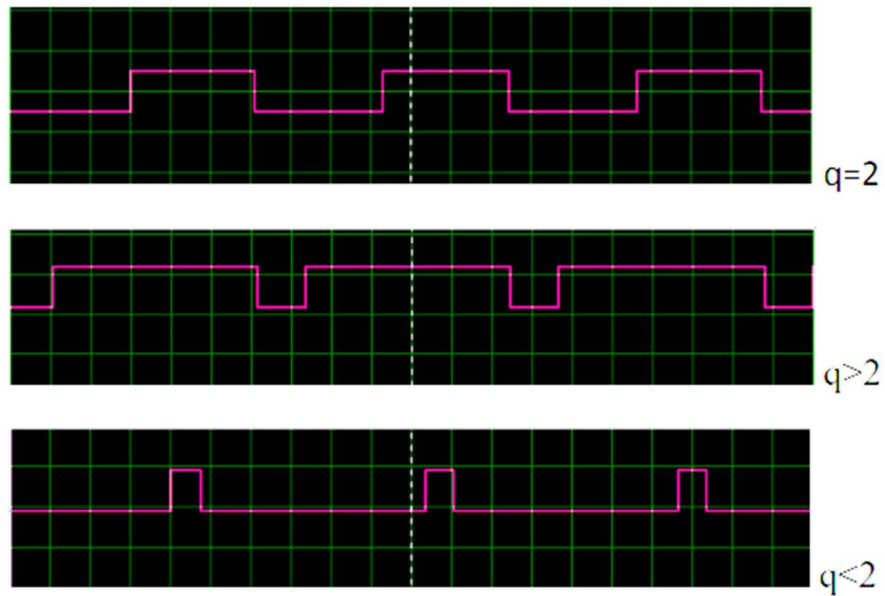


Рисунок 2.10 – ШІМ– сигнал, що подається на двигун (шпаруватість  $q=2$ ,  $q > 2$ ,  $q < 2$ )

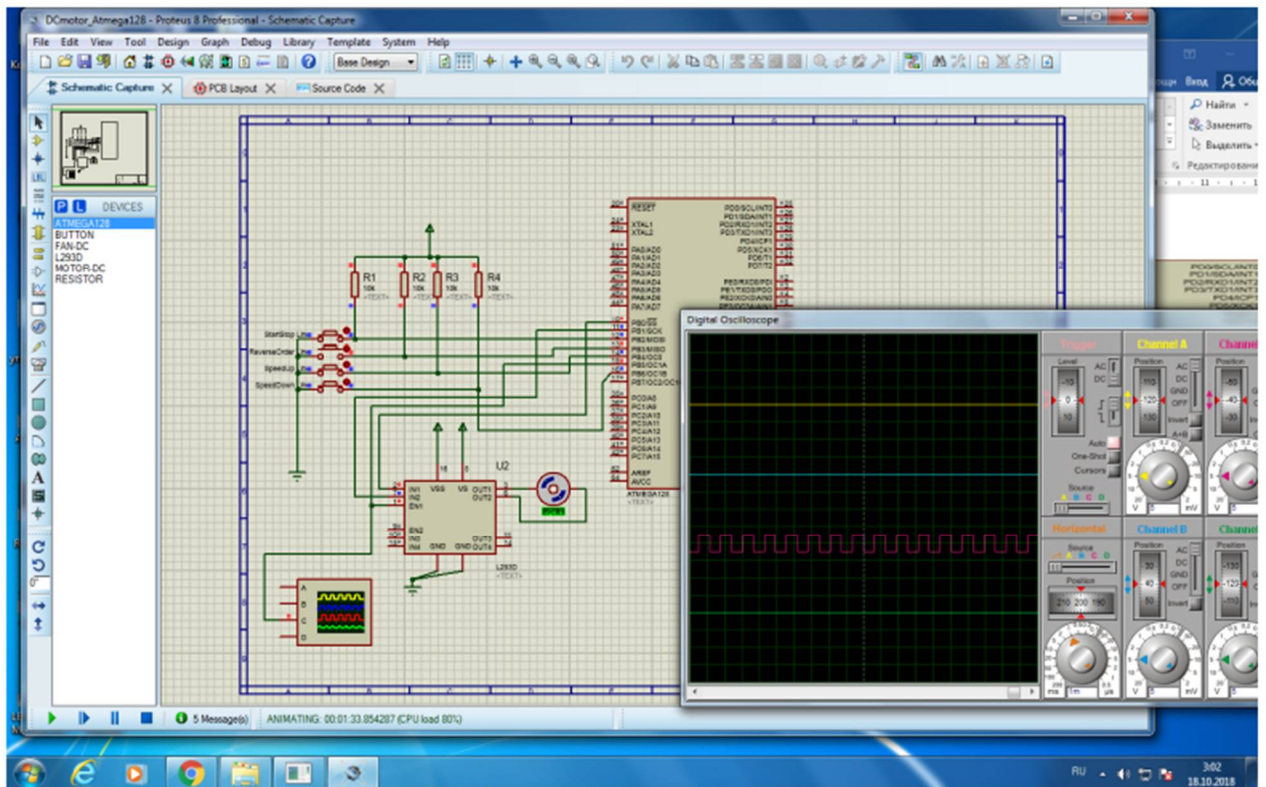


Рисунок 2.11 – Стан усієї системи після запуску сценарію

Мікроконтролер. Для контролю та виконання всіх функцій, які були покладені на систему потрібен мікроконтролер. Для цієї цілі був вибраний AVR – ATmega 128.

ATmega128 – малопотужний 8 – розрядний КМОН – мікроконтролер, який оснований на розширеній AVR RISC архітектурі. ATmega128 досягає 1 млн. операцій в секунду, оскільки більшість команд виконується за один машинний такт.

AVR ATmega 128 має 64 виводи типу вхід – вихід. В мікроконтролер вмонтовано FLASH – пам'ять, яку є можливість програмувати та перепрограмувати.

Основні характеристики контролера:

- 1) Високопродуктивний, споживає мало енергії;
- 2) Розвинена RISC архітектура:

- а) 131 команда, більшість виконується за один машинний такт;
- б) 32 робочих реєстри загального призначення;
- в) повністю статичний режим роботи;
- 3) Енергонезалежна пам'ять програм и даних;
- 4) 128 КБ внутрішньо системної самопрограмуваної FLASH пам'яті з кількістю циклів перепрограмування до 10 000;
- 5) 4096 байт EEPROM із припустимою кількістю циклів стирання та запису до 100 000;
- 6) 64 виводи типу вхід – вихід;
- 7) JTAG (IEEE1149.1 сумісний) інтерфейс;
- 8) Сканування пам'яті відповідно до JTAG стандарту;
- 9) Периферійні функції:
  - а) два 8– бітних таймери/лічильники із програмованим режимом порівняння;
  - б) один 16– бітний таймер/лічильник із програмованим режимом порівняння й захоплення;
  - в) лічильник реального часу із програмованим генератором;
  - г) чотири ШІМ– генератори;
  - д) 8 вхідних каналів 10 – бітного АЦП;
- 10) SPI та I 2C синхронні послідовні інтерфейси;
- 11) Вбудований аналоговий компаратор;
- 12) Спеціальні функції:
  - а) функція Reset для включення живлення і функція вимикання для зниження напруги живлення;



- б) внутрішній калібрований RC – генератор;
- в) зовнішні й внутрішні джерела переривання;
- 13) 40 вивідний корпус PDIP, 44 вивідний корпус TQFP, і 44 контактний MLF;
- 14) Напруга живлення – від 4.5 В до 5.5 В;
- 15) Тактова частота – від 0 до 16 МГц.

Опис виводів мікроконтролера:

- VCC – напруга живлення;
- GND – спільна земля;
- порт А (РА7..РА0) – 8 – двонаправлений порт вводу-виводу з внутрішніми резисторами, що підтягують, вибираються окремо для кожного біта. При введенні рядка порту А будуть діяти як джерела струму, якщо зовнішній сигнал має низький рівень і резистори, що підтягують, включені;
- порт В (РВ7..РВ0) – 8 – розрядний порт двонаправленого введення – виведення з індивідуальними підтягуючими резисторами, які вибираються окремо для кожного розряду;
- порт С (РС7..РС0) – 8 – розрядний порт двонаправленого введення– виведення із внутрішніми підтягуючими резисторами, які вибираються окремо для кожного розряду;
- порт D (РD7..РD0) – 8 – розрядний порт двонаправленого введення – виведення із внутрішніми підтягуючими резисторами, які вибираються окремо для кожного розряду;
- порт Е (РЕ7..РЕ0) – 8 – розрядний порт двонаправленого введення – виведення із внутрішніми підтягуючими резисторами, які вибираються окремо для кожного розряду;

- порт F (PF7..PF0) – 8 – розрядний порт двонаправленого введення – виведення із внутрішніми підтягуючими резисторами, які вибираються окремо для кожного розряду. Якщо активізований інтерфейс JTAG, то резистори на лініях PF7(TDI), PF5(TMS) і PF4(TCK) будуть підключені, навіть якщо виконується скидання. Порт F також виконує функції інтерфейсу JTAG;
- порт G (PG4..PG0) – 5 – розрядний порт двонаправленого введення – виведення із внутрішніми підтягуючими резисторами, які вибираються окремо для кожного розряду. – порт G також виконує деякі спеціальні функції Atmega128;
- RESET–вхід скидання. Якщо на цей вхід прикласти низький рівень тривалістю більш мінімально необхідної, то буде згенеровано скидання незалежно від роботи синхронізації. Дія імпульсу меншої тривалості не гарантує генерацію скидання;
- XTAL1–вхід інвертуючого підсилювача генератора та вхід зовнішньої синхронізації;
- XTAL2– вихід інвертуючого підсилювача генератора;
- AVCC– виід для живлення порту F та аналого-цифрового перетворювача, який має бути підключений до VCC зовні, навіть якщо АЦП не використовується. Якщо використовується АЦП, цей висновок підключається до VCC через нижній фільтр частот.;
- AREF– вхід підключення джерела опорної напруги АЦП;
- PEN– вхід роздільної здатності послідовного програмування через послідовний периферійний інтерфейс (SPI). Якщо під час скидання на цей вхід подається низький рівень під час увімкнення живлення, мікроконтролер перемикається в режим послідовного програмування через SPI.

Двигун постійного струму. У моделі використано електродвигун постійного струму. Управління двигуном здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції. Широтна - імпульсна модуляція реалізується з використанням вбудованого в мікроконтролер таймера. Вибір електродвигуна важливий, оскільки від нього залежатиме стабільність функціонування системи. Реверс двигуна постійного струму виконується шляхом зміни полярності.

Двигуни постійного струму можуть керуватися за допомогою реле або транзисторів. Окреме перемикання реле включає і відключає двигун, тоді як подвійне реле змінює напрямок обертання.

Швидкість двигуна постійного струму може регулюватися шляхом формування імпульсів керуючих з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Цей метод дозволяє регулювати середнє значення потужності двигуна, що надходить.

У цьому випадку, чим вище відношення “тривалість імпульсу/період”, тим більше енергії подається на двигун. Частота сигналу ШІМ повинна перевищувати 20 кГц, щоб виключити звукові ефекти, що виникають при формуванні звукових сигналів самим двигуном за зміни магнітного поля, створюваного в ньому.

## **2.2 Електрична схема**

Драйвер ШІМ. Для керування двигуном постійного струму нам потрібно підключати його за допомогою відповідної мостової схеми, яку зображено на рисунку 2.12.

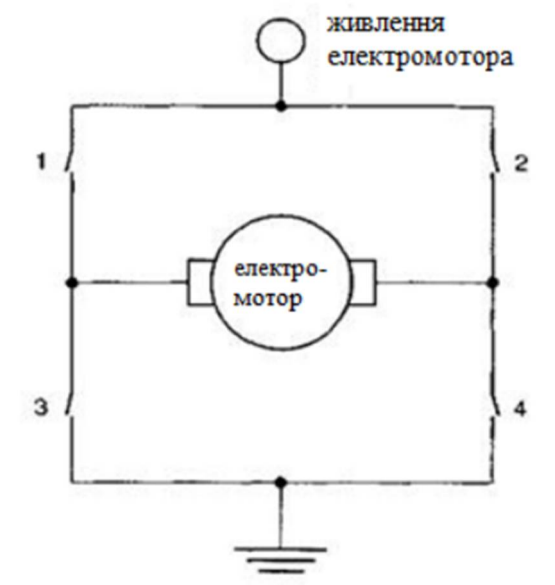


Рисунок 2.12– Мостова схема підключення двигуна постійного струму

Також бажано знайти пристрій для перетворення сигналів малої потужності в струми, необхідні для управління двигунами. Такий пристрій називається драйвером двигуна. Існує безліч різних схем керування двигунами постійного струму, які відрізняються потужністю та елементною базою.

Розглянемо простий драйвер управління двигунами з прикладу готової до використання мікросхеми L293D. Зовнішній вигляд цієї мікросхеми представлено малюнку 2.13.



Рисунок 2.13 – Мікросхема L293D

L293D містить два драйвери для управління двома двигунами щодо невеликої потужності через чотири незалежні канали у двох парах. Мікросхема оснащена двома парами входів для сигналів, що управляють, і двома парами виходів для підключення двигунів. Крім того, L293D має два входи для активації кожного драйвера.

Ці входи використовуються для регулювання швидкості обертання електродвигунів з використанням широтно-імпульсної модуляції сигналів, тому мікросхема ідеально нам підходить.

L293D також забезпечує роздільне живлення для самої мікросхеми і двигунів, якими вона керує, дозволяючи підключати двигуни з більш високою напругою живлення, ніж потрібно для мікросхеми.

Роздільна живлення мікросхеми і двигунів також необхідне зменшення перешкод, що виникають через стрибків напруги, що з роботою двигунів. Обидва драйвера, що входять до складу мікросхеми, працюють по тому самому принципу, тому розглянемо роботу тільки одного з них. Спрощена схема драйвера представлена на рисунку 2.14.

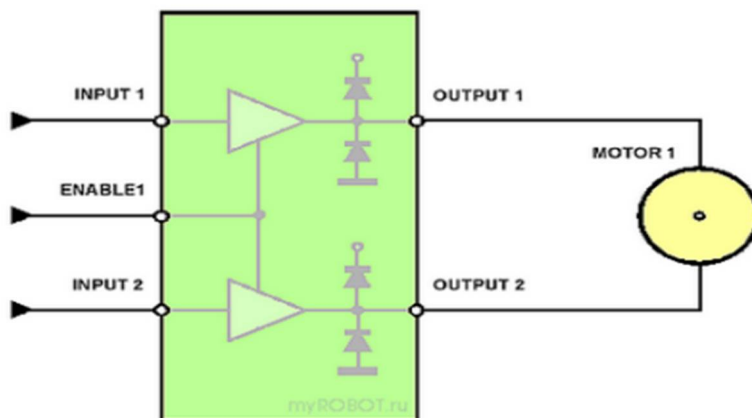


Рисунок 2.14 – Спрощений вид драйвера мікросхеми L293D

До виходів OUTPUT1 та OUTPUT2 підключається двигун постійного струму MOTOR1. На вхід ENABLE1, який відповідає за ввімкнення драйвера, подаємо керуючий сигнал, наприклад, під'єднаємо його до додатного полюсу джерела живлення +5V. Якщо при цьому на входи INPUT1 та INPUT2 не подаються відповідні керуючі сигнали, то двигун обертатися не буде.

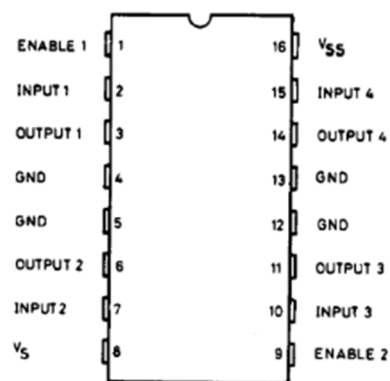
Якщо вхід INPUT1 з'єднати з додатним полюсом джерела живлення, а вхід INPUT2 – з від'ємним, то двигун почне обертатися.

Тепер з'єднаємо вхід INPUT1 з від'ємним полюсом джерела струму, а вхід INPUT2 – з додатним. Двигун почне обертатися в іншу сторону

Спробуємо подати сигнали одного рівня одразу на два керуючих входи INPUT1 та INPUT2, тобто під'єднати обидва входи до додатного полюсу джерела живлення або до від'ємного. Як результат – двигун обертатися не буде.

Якщо ми приберемо керуючий сигнал з входу ENABLE1, то при будь-яких варіантах наявності сигналів на двох входах INPUT1 та INPUT2 двигун обертатися не буде. На вхід ENABLE1 подається ШІМ – сигнал, який формується ШІМ-модулем мікроконтролера. Змінюючи коефіцієнт заповнення цього сигналу, ми змінюємо постійну складову імпульсного сигналу, яка, своєю чергою, впливає швидкість обертання двигуна.

На рисунку 2.15 показано нумерацію та позначення виводів



мікросхеми.

Рисунок 2.15 – Нумерація та позначення виводів мікросхеми L293D

Призначення виводів:

- входи ENABLE1 та ENABLE2 відповідають за вмикання відповідного драйвера, що входить у склад мікросхеми. Це ті самі входи для ШІМ – сигналу, які ми будемо використовувати;
- входи INPUT1 та INPUT2 керують двигуном, який підключено до виходів OUTPUT1 та OUTPUT2;

- входи INPUT3 та INPUT4 керують другим двигуном, який підключено до виходів OUTPUT3 та OUTPUT4;
- контакт  $V_s$  підключається до позитивного виведення джерела живлення або, якщо схема і двигуни запитуються від одного і того джерела, просто до позитивного джерела живлення. Інакше кажучи, цей контакт забезпечує живлення електродвигунів.
- контакт VSS підключається до позитивного виведення джерела живлення та забезпечує живлення самої мікросхеми.
- чотири контакти GND з'єднуються із “землею”, або загальним проводом, або негативним виведенням джерела живлення. Ці контакти також зазвичай використовуються для забезпечення тепловідведення від мікросхеми, тому їх рекомендується припаювати до досить великої контактної поверхні.

Дана мікросхема має наступні технічні характеристики:

- напруга живлення двигунів ( $V_s$ )
- 4,5...36 В; – напруга живлення мікросхеми ( $V_{ss}$ ) – 5 В;
- допустимий струм навантаження – 600 мА (на кожен канал);
- піковий (максимальний) струм на виході – 1,2 А (на кожен канал); – логічний “0” вхідної напруги – до 1,5 В;
- логічна “1” вхідної напруги – 2,3...7 В;
- швидкість перемикачів до 5 кГц;
- захист від перегріву.

Інший спосіб керування двигунами постійного струму заснований на використанні мостових схем типу L298N (SGS– Thomson, RS636– 384). Це двоканальний пристрій, який працює від рівнів ТТЛ, з потужною напругою до 46 В та струмом до 2 А на кожен канал. Спрощену структуру мікросхеми зображено на рисунку 2.16

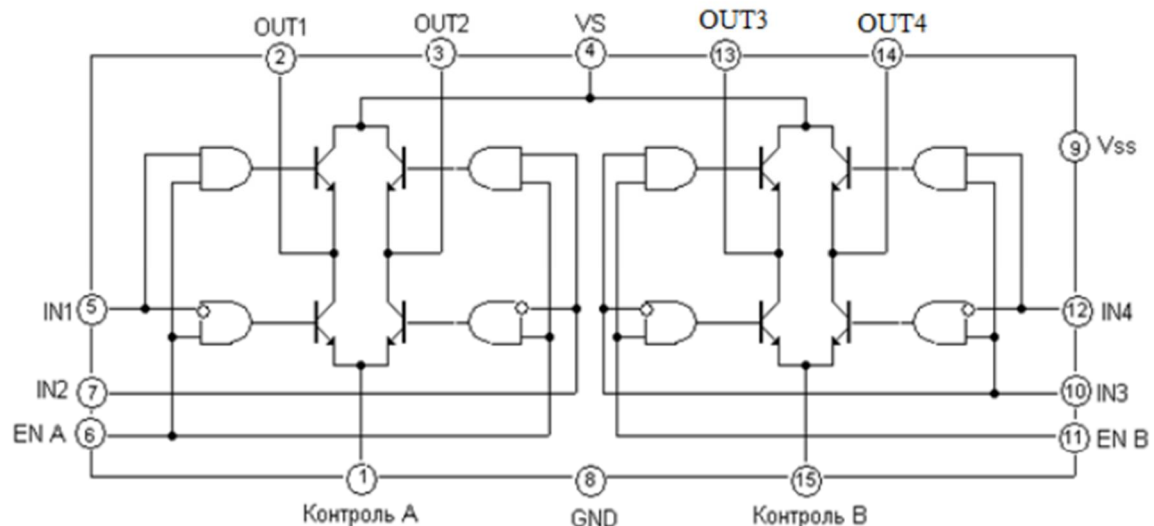


Рисунок 2.16 – Розташування видів і внутрішня структура мостового пристрою керування L298N

Через вивід Vs (контакт 4) надходить напруга живлення для двигуна. На вивід Vss (контакт 9) подається напруга живлення мікросхеми схеми (+5 В). На входи ENA і ENB (контакти 6 і 11) подаються керуючі ШІМ – сигнали. Входи IN1 і IN2 (контакти 5 і 7) керують напрямком обертання двигуна для першого каналу, а IN3 і IN4 – другого. Емітери транзисторів з'єднано для підключення зовнішніх контролюючих датчиків.

Коли на вході ENA низький рівень, входи заблоковані і двигун не обертається. Якщо на цей вхід подати високий рівень, входи відкриваються

Входи IN1 і IN2 керують режимами роботи двигуна наступним чином:

- IN1 – 1, IN2 – 0 – двигун обертається за годинниковою стрілкою;
- IN1 – 0, IN2 – 1 – двигун обертається проти годинникової стрілки;
- IN1 = IN2 = 0 двигун не обертається.

Якщо, наприклад, вихідний струм, що протікає безпосередньо через обмотку двигуна постійного струму, перевищує 5А, ми додаємо додаткові пари транзисторів на виході схеми, шунтуючи їх захисними діодами, як показано на малюнку 2.17.



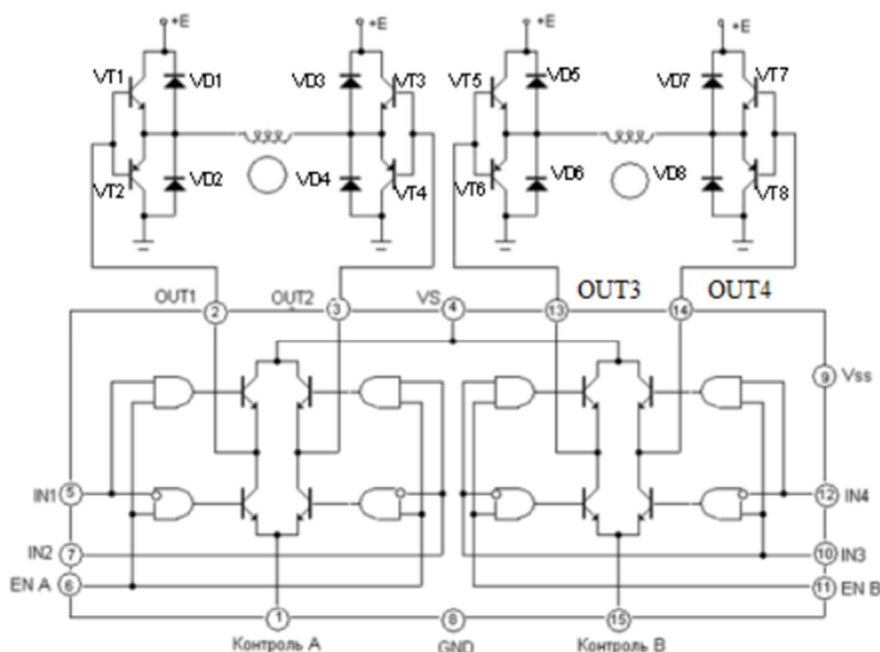


Рисунок 2.17 – Остаточна схема драйвера ШІМ

### Захисні діоди

Як видно з рисунка 2.17 схема містить 8 захисних діодів VD1... VD8. Ці діоди призначені для захисту транзисторних ключів (VT1...VT8) від додатних (VT1, VT3, VT5, VT7) і від'ємних (VT2, VT4, VT6, VT8) паразитних імпульсів досить високої амплітуди, які з'являються на обмотках двигуна при комутації обмоток. Додатні імпульси виникають при запиранні (вимиканні) ключів, а від'ємні – при включенні. Механізм виникнення цих імпульсів описаний нижче.

Коли сила струму в котушці змінюється, це викликає зміну магнітного потоку всередині котушки і виникнення в ній проти ЕРС (електрорушійної сили індукції) відповідно до правила Ленца. Якщо, наприклад, сила струму в котушці раптово збільшується (ключ замикається), то магнітний потік, що зростає, викликає ОРС в котушці, яка створює струм, спрямований протилежно початковому струму і намагається сповільнити його. У результаті ключі з'являється негативний імпульс (мал. 2.18а) значної амплітуди, здатний вивести ключ з ладу.

Якщо ж сила струму в котушці швидко зменшується (ключ розмикається), магнітний потік, що знижується, створює ЕРС  $E_i$ , яка генерує струм, що має той же напрям, що і вихідний струм, що підтримує початковий струм у котушці. У результаті ключі виникає позитивний імпульс (рис. 2.18) значної амплітуди, здатний також пошкодити ключ.

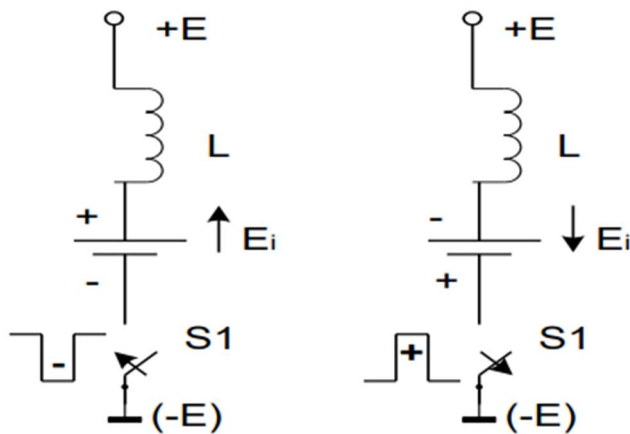


Рисунок 2.18 – Виникнення паразитних імпульсів при комутації ключів: а – від’ємний імпульс при включенні ключа; б – додатний імпульс при відключенні ключа.

### 2.3 Автоматизація розрахунку блоку живлення

Приклад програмування ШІМ-модуля

Вхідні дані

Програмування ШІМ-модуля треба виконати на основі таких вхідних даних:

- тип МК-ра: АТ мега 128; – номер таймера: Т/С 1;
- інвертований ШІМ- сигнал сформувати на виході РВ5;

- частота ШІМ– сигналу:  $f_{PB5} = 25 \text{ кГц}$ ;
- частота тактового сигналу підсистеми введення/виведення:  $f_{CLKI/0} = 16 \text{ МГц}$  ;
- режим роботи модуля ШІМ: Phase and Frequency Correct PWM (PFSPWM);
- шпаруватість ШІМ– сигналу:  $Q_{PB5} = 2$ .

### Завдання

Розрахувати:

- коефіцієнт ділення переддільника:  $K_{діл} = N$ ;
- модуль лічби: TOP;
- період ШІМ– сигналу:  $T_{PB5}$ ;
- тривалість імпульсу ШІМ– сигналу:  $t_{імпPB5}$ .

Написати мовою Асемблер фрагмент програми, який забезпечує формування ШІМ– сигналу згідно вхідних даних.

На рисунку 2.19 наведено формування ШІМ– сигналу в режимі Phase and Frequency Correct PWM.

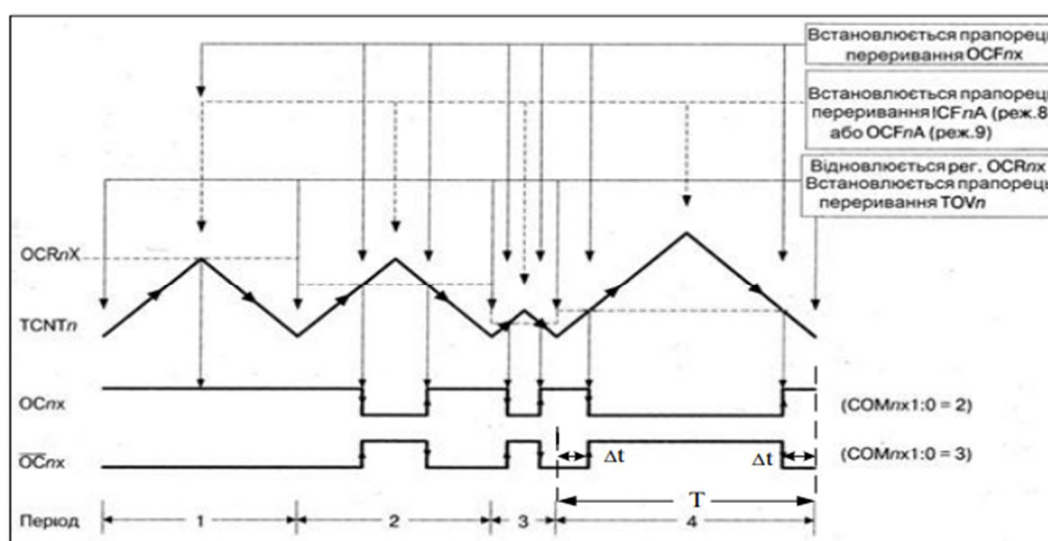


Рисунок 2.19 – Формування ШІМ– сигналу в режимі Phase and Frequency Correct PWM

Рішення завдання

Величина частоти ШІМ– сигналу  $f_{PB5}$  визначається виразом [2]:

$$f_{PB5} = \frac{f_{CLK1/O}}{N(TOP+1)}$$

$$f_{PB5} = \frac{67}{67}$$

Таблиця 2.1 – Режими роботи 16– розрядних таймерів/лічильників

Номер режиму	WGMn3	WGMn2	WGMn1	WGMn0	Режим роботи таймера/лічильника Tn	Модуль лічби (TOP)	Оновлення регістрів TOVn	Момент установки прапорця TOVn
0	0	0	0	0	Normal	\$FFFF	Негайно	\$FFFF
1	0	0	0	1	Phase correct PWM, 8– розрядний	\$00FF	При TOP	\$0000
2	0	0	1	0	Phase correct PWM, 9– розрядний	\$01FF	При TOP	\$0000
3	0	0	1	1	Phase correct PWM, 10– розрядний	\$03FF	При TOP	\$0000
4	0	1	0	0	СТС (скидання при збігу)	OCRnA	Негайно	\$FFFF
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8– розрядний	\$00FF	При TOP	При TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9– розрядний	\$01FF	При TOP	При TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10– розрядний	\$03FF	При TOP	При TOP
8	1	0	0	0	Phase and Frequency Correct PWM	ICRn	\$0000	\$0000
9	1	0	0	1	Phase and Frequency Correct PWM	OCRnA	\$0000	\$0000
10	1	0	1	0	Phase correct PWM	ICRn	При TOP	\$0000
11	1	0	1	1	Phase correct PWM	OCRnA	При TOP	\$0000
12	1	1	0	0	СТС (скидання при збігу)	ICRn	Негайно	\$FFFF
13	1	1	0	1	Зарезервовано	–	–	–
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICRn	При TOP	При TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCRnA	При TOP	При TOP

Згідно таблиці 2.1 обираємо режим роботи номер 8, тоді значення модуля лічби TOP визначається вмістом регістра ICR1. Значення  $f_{PB5}$  задано в умові

і дорівнює 25кГц. Звідси шукаємо значення ICR1=TOP, згідно формули (1) при N=8:

$$ICR1 = = = 40 .$$

Обираємо значення ICR1=40=00101000B=\$0028.

Період ШІМ– сигналу:

$$T_{PB5} = = = 40 \text{ мкс.}$$

Потрібна тривалість імпульсу при шпаруватості ШІМ – сигналу QPB5=2:

$$t_{\text{импPB5}} = = = 20 \text{ мкс}$$

Згідно з рисунком 2.18

$$t_{\text{импPB5}} = T_{PB5} - 2 \Delta t.$$

$$\Delta t = \frac{T_{PB5} - t_{\text{импPB5}}}{2} = \frac{40 - 20}{2} = 10 \text{ мкс.}$$

$$\Delta t = T_{CLKI/O} * N * OCR1A,$$

де OCR1A – реєстр порівняння таймера 1.

$$OCR1A = = 00010100B = \$0014.$$

Шпаруватість:

$$Q = \frac{T_{PB5}}{T_{PB5} - 2 \Delta t} = \frac{T_{PB5}}{T_{PB5} - 2 T_{CLKI/O} * N * OCR1A} = \frac{1}{1 - \frac{2 T_{CLKI/O} * N * OCR1A}{T_{PB5}}} =$$

$$= \frac{1}{1 - 2 * \frac{1}{f_{CLKI/O}} * N * OCR1A * f_{PB5}}.$$

Для перевірки використаємо OCR1A=20, Q повинне бути рівним 2:

$$Q = \frac{1}{1 - 2 * \frac{1}{f_{CLKI/O}} * N * OCR1A * f_{PB5}} = \frac{1}{1 - 2 * \frac{1}{16 * 10^6} * 8 * 20 * 25 * 10^3} = 2.$$

Тепер дослідимо характер зміни  $Q$  при збільшенні  $OCR1A$  на 5 і при зменшенні на 5.

$$Q_{(OCR1A=25)} = \frac{1}{1 - 2 * \frac{1}{16 * 10^6} * 8 * 25 * 25 * 10^3} = 2,667.$$

Тепер дослідимо характер зміни  $Q$  при збільшенні  $OCR1A$  на 5 і при зменшенні на 5.

$$Q_{(OCR1A=25)} = \frac{1}{1 - 2 * \frac{1}{16 * 10^6} * 8 * 25 * 25 * 10^3} = 2,667.$$

$$Q_{(OCR1A=15)} = \frac{1}{1 - 2 * \frac{1}{16 * 10^6} * 8 * 15 * 25 * 10^3} = 1,6.$$

## 2.4 Програми керування

### 2.4.1

Для зупинки таймера треба в реєстр керування  $TCCR1B$  (рисунок 2.20), адреса якого згідно таблиці 2.2 дорівнює  $\$004E$ , записати керуюче слово  $KC1$ :

Тоді програма має вид:

7р.	6р.	5р.	4р.	3р.	2р.	1р.	0р.
ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10
0	0	0	0	0	0	0	0B=\$00=KC1

LDI R18, \$00; R18 ← KC1=\$00

```
LDI R27, $00; R27 ← $01
LDI R26, $4E; R26 ← $21 } X(R27, R26) ← $004E;
```

ST X, R18; TCCR1B ← R18 = \$00, зупинка таймера.

	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC1	ICES1	—	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	Все моделі
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	
				а)					
	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC3	ICES3	—	WGM33	WGM32	CS32	CS31	CS30	ATmega64x/128x ATmega162x ATmega640x/1280x/1281x ATmega2560x/2561x
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	
				б)					
	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC4	ICES4	—	WGM43	WGM42	CS42	CS41	CS40	ATmega640x/1280x/1281x ATmega2560x/2561x
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	
				в)					
	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC5	ICES5	—	WGM53	WGM52	CS52	CS51	CS50	ATmega640x/1280x/1281x ATmega2560x/2561x
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	
				г)					

Рисунок 2.20 – Формат регістрів TCCR1B (а), TCCR3B (б), TCCR4B (в), TCCR5B (г)

Таблиця 2.2– Регістри 16– розрядних таймерів/лічильників





Регістр	Адреса	АТmega8515x	АТmega8535x	АТmega8x	АТmega16x/32x	АТmega64x/128x	АТmega48x/88x/168x	АТmega162x	АТmega164x/324x/644x	АТmega165x	АТmega325x/3250x, АТmega645x/6450x	АТmega640x, АТmega1280x/1281x, АТmega2560x/2561x
TCCR3C	(\$8C)					•						
	(\$92)											•
TCNT3	(\$89:\$88)					•		•				
	(\$95:\$94)											•
OCR3A	(\$87:\$86)					•		•				
	(\$99:\$98)											•
OCR3B	(\$85:\$84)					•		•				
	(\$9B:\$9A)											•
OCR3C	(\$83:\$82)					•						
	(\$9D:\$9C)											•
ICR3	(\$81:\$80)					•		•				
	(\$97:\$96)											•
TCCR4A	(\$A0)											•
TCCR4B	(\$A1)											•
TCCR4C	(\$A2)											•
TCNT4	(\$A5:\$A4)											•
OCR4A	(\$A9:\$A8)											•
OCR4B	(\$AB:\$AA)											•
OCR4C	(\$AD:\$AC)											•
ICR4	(\$A7:\$A6)											•
TCCR5A	(\$120)											•
TCCR5B	(\$121)											•
TCCR5C	(\$122)											•
TCNT5	(\$125:\$124)											•
OCR5A	(\$129:\$128)											•
OCR5B	(\$12B:\$12A)											•
OCR5C	(\$12D:\$12C)											•
ICR5	(\$127:\$126)											•

#### 2.4.2 Завантаження регістра TCCR1A

Згідно рисунку 2.21 формат регістра TCCR1A МК–ра АТ Мегга 128 має вид:

7р.	6р.	5р.	4р.	3р.	2р.	1р.	0р.	KC2
COM1A1	COM1A0	COB1B1	COM1B0	COM1C1	COM1C0	WGM11	WGM10	
1	1	0	0	0	0	0	0 B=\$C0	

Для нашої задачі для формування інвертованого ШІМ– сигналу згідно таблиці 2.3 необхідно встановити біти COM1A1=COM1A0=1. Таблиця 2.3 – Поведінка виводу OCnA/OCnB/OCnC в режимі Phase and Frequency Correct PWM

COMnx1	COMnx0	Опис
0	0	Таймер/лічильник Tn відключено від виводу OCnA/OCnB/OCnC
0	1	WGMn3 = «0»: таймер/лічильник Tn відключено від виводу OCnA/OCnB/OCnC; WGMn3 = «1»: стан виводу OCnA змінюється на протилежний
1	0	Скидається в "0" при прямій лічбі і встановлюється в "1" при зворотній лічбі (неінвертований ШІМ – сигнал)
1	1	Встановлюється в "1" при прямій лічбі і скидається в "0" при зворотній лічбі (інвертований ШІМ – сигнал)

Для програмування режиму роботи 8 згідно таблиці 2.1 необхідно запрограмувати біти: WGM11=0; WGM10=0.

Інші біти регістра TCCR1A у нашому прикладі не використовуються.

Тому запишемо в них нулі.

Тоді керуюче слово KC2=11000000B=\$C0. Згідно таблиці 2.2 адреса регістра TCCR1A=\$004F.

Тоді програма має вид:

```
LDI R17, $C0; R17←KC2=$C0
```

```
LDI R29, $00; R27 ← $00
LDI R28, $4F; $26 ← $4F } Y(R29, R28) ← $004F;
```

ST Y, R17; TCCR5A ← R17 = \$C0.

	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	ATmega8515x/8535x ATmega8x/16x/32x ATmega162x
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R/W	R/W	W	W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	COM1C1	COM1C0	WGM11	WGM10	ATmega64x/128x ATmega640x/1280x/1281x ATmega2560x/2561x
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R/W	R/W	W	W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	—	—	WGM11	WGM10	ATmega48x/88x/168x ATmega164x/324x/644x ATmega165x ATmega325x/3250x/645x/6450x
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM3A1	COM3A0	COM3B1	COM3B0	FOC3A	FOC3B	WGM31	WGM30	ATmega162x
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R/W	R/W	W	W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM3A1	COM3A0	COM3B1	COM3B0	COM3C1	COM3C0	WGM31	WGM30	ATmega64x/128x ATmega640x/1280x/1281x ATmega2560x/2561x
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM4A1	COM4A0	COM4B1	COM4B0	COM4C1	COM4C0	WGM41	WGM40	ATmega640x/1280x/1281x ATmega2560x/2561x
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	
	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM5A1	COM5A0	COM5B1	COM5B0	COM5C1	COM5C0	WGM51	WGM50	ATmega640x/1280x/1281x ATmega2560x/2561x
Читання (R)/Запис (W)	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Початкове значення	0	0	0	0	0	0	0	0	

Рисунок 2.21 – Формат регістрів TCCR1A (а), TCCR3A (б), TCCR4A (в), TCCR5A (г)

#### 2.4.5 Програмування лінії PB5 на виведення

Для програмування лінії PB5 на виведення необхідно встановити 5– й розряд регістра DDRB в одиницю. Згідно таблиці 2.4 адреса регістра: \$0037.

Таблиця 2.4 – Регістри портів введення/виведення

Порт	Период	АТмега8515х	АТмега8535х	АТмега8х	АТмега16х	АТмега162х	АТмега64х, АТмега128х	АТмега48х/88х/168х	АТмега164х/324х/644х	АТмега165х, АТмега325х/645х	АТмега3250х/6450х	АТмега1281х/2561х	АТмега640х, АТмега1280х/2560х
А	PORTA	\$1B (\$3B)	-	\$1B (\$3B)			-	\$02 (\$22)					
	DDRA	\$1A (\$3A)	-	\$1A (\$3A)			-	\$01 (\$21)					
	PINA	\$19 (\$39)	-	\$19 (\$39)			-	\$00 (\$20)					
B	PORTB	\$18 (\$38)							\$05 (\$25)				
	DDRB	\$17 (\$37)							\$04 (\$24)				
	PINB	\$16 (\$36)							\$03 (\$23)				
C	PORTC	\$15 (\$35)							\$08 (\$28)				
	DDRC	\$14 (\$34)							\$07 (\$27)				
	PINC	\$13 (\$33)							\$06 (\$26)				
D	PORTD	\$12 (\$32)							\$0B (\$2B)				
	DDRD	\$11 (\$31)							\$0A (\$2A)				
	PIND	\$10 (\$30)							\$09 (\$29)				
E	PORTE	\$07 (\$27)	-	-	\$07 (\$27)	\$03 (\$23)	-	-	\$0E (\$2E)				
	DDRE	\$06 (\$26)	-	-	\$06 (\$26)	\$02 (\$22)	-	-	\$0D (\$2D)				
	PINE	\$05 (\$25)	-	-	\$05 (\$25)	\$01 (\$21)	-	-	\$0C (\$2C)				

Порт	Регістр	АТmega											
		8515x	8535x	8x	16x	162x	64x, 128x	48x/88x/168x	164x/324x/644x	165x, 325x/645x	3250x/6450x	1281x/2561x	640x, 1280x/2560x
F	PORTF	\$03 (\$23)	-	-	-	-	(\$62)	-	-	\$11 (\$31)			
	DDRF	\$02 (\$22)	-	-	-	-	(\$61)	-	-	\$10 (\$30)			
	PINF	\$01 (\$21)	-	-	-	-	\$00 (\$20)	-	-	\$0F (\$2F)			
G	PORTG	-	-	-	-	(\$65)	-	-	\$14 (\$34)				
	DDRG	-	-	-	-	(\$64)	-	-	\$13 (\$33)				
	PING	-	-	-	-	(\$63)	-	-	\$12 (\$32)				
H	PORTH	-	-	-	-	-	-	-	-	(SDA)	-	(\$102)	
	DDRH	-	-	-	-	-	-	-	-	(SD9)	-	(\$101)	
	PINH	-	-	-	-	-	-	-	-	(SD8)	-	(\$100)	
J	PORTJ	-	-	-	-	-	-	-	-	(SDD)	-	(\$105)	
	DDRJ	-	-	-	-	-	-	-	-	(SDC)	-	(\$104)	
	PINJ	-	-	-	-	-	-	-	-	(SDB)	-	(\$103)	
K	PORTK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(\$108)	
	DDRK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(\$107)	
	PINK	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(\$106)	
L	PORTL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(\$10B)	
	DDRL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(\$10A)	
	PINL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	(\$109)	

Тоді програма має вид:

LDI R31, \$00; R31← \$00; R31, R30 (Z)– адреса статичної пам'яті даних–  
регістра DDRB: \$ 0037;

LDI R30, \$37; R30 ← \$37 ;

LD R19, Z; R19← DDRB

ORI R19, \$08; R19←\$08=00100000B+R19, R19.5←1

ST Z, R19; DDRB←R19, DDRB.5 ←1.

#### 2.4.6 Завантаження регістра ICR1

Згідно таблиці 2.2 16– розрядний регістр ICR1 має адресу: \$0047(СБ) : \$0046(МБ).

В ICR1 треба завантажити: 40 = 00101000В = \$0028 (див. вище).

Тоді програма має вид:

LDI R23, \$00; R23 ← \$00;

LDI R27, \$00; R27 ← \$00;  
LDI R26, \$47; R26 ← \$27 } X(R27, R26) ← \$0047;

ST Y, R24; МБ ICR1 ← R24 = \$28.

#### 2.4.7 Завантаження регістра OCR1A

Згідно таблиці 2.2, 16– розрядний регістр OCR1A має адресу: \$004В(СБ): \$004А(МБ). В OCR1A треба завантажити: 20 = 00010100В = \$0014 (див. вище).

має вид:

LDI R24, \$00; R24 ← \$00;

LDI R31, \$00; R31 ← \$00;  
LDI R30, \$4В; R30 ← \$4В } Z(R31, R30) ← \$004В;

ST Z, R24; СБ OCR1A ← R24 = \$00. LDI R25, \$14; R25 ← \$14;

LDI R31, \$00; R31 ← \$00;  
LDI R30, \$4А; R30 ← \$4А } Z(R31, R30) ← \$004А;

ST Z, R25; МБ OCR1A ← R25 = \$14.

#### 2.4.8. Програмування Кділ=N=8, режиму роботи номер 8 та запуск таймера

Вище при завантаженні регістра TCCR1A було записано WGM11=0 та WGN10=0, що разом з двома бітами WGM12=0 та WGM13=1 регістра TCCR1B програмують режим роботи №8 (таблиця 2.1).

Для програмування Кділ=8 (табл. 2.5) та запуску таймера також використовують регістр TCCR1B (рисунок 2.20).

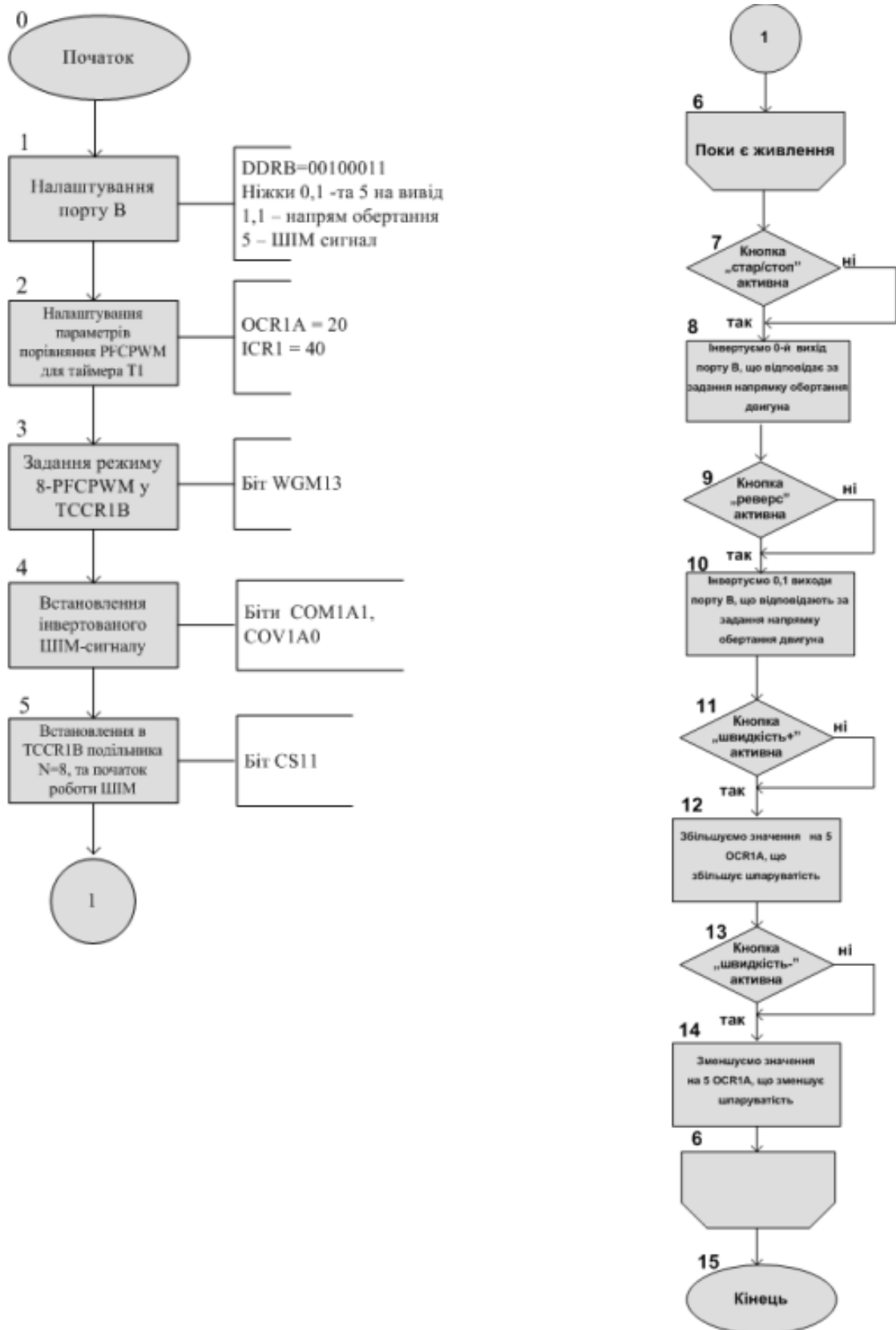
7 p.	6p.	5p.	4p.	3p.	2p.	1p.	0p.
ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10
0	0	0	1	0	0	1	0B = \$12
( режим 8 )				( Кділ = 8 )			

Таблиця 2.5 – Вибір джерела тактового сигналу таймерів/лічильників

Tn

CSn2	CSn1	CSn0	Джерело тактового сигналу	
			T3 в моделях ATmega162x	Інші
0	0	0	Таймер/лічильник зупинений	Таймер/лічильник зупинений
0	0	1	$f_{clkI/O}$	$f_{clkI/O}$
0	1	0	$f_{clkI/O}/8$	$f_{clkI/O}/8$
0	1	1	$f_{clkI/O}/64$	$f_{clkI/O}/64$
1	0	0	$f_{clkI/O}/256$	$f_{clkI/O}/256$
1	0	1	$f_{clkI/O}/1024$	$f_{clkI/O}/1024$
1	1	0	$f_{clkI/O}/16$	Вивід Tn, лічба виконується за спадаючим фронтом
1	1	1	$f_{clkI/O}/32$	Вивід Tn, лічба виконується за наростаючим фронтом

## 2.4.9 Схема алгоритму роботи





## 2.4.10 Керуюча програма мовою C

```

1  #include <inttypes.h>
2  #include <avr/io.h>
3  #include <avr/interrupt.h>
4  #include <avr/sleep.h>
5  #include <util/delay.h>
6  #include F_CPU 16000000L
7  int main(void) // 0
8  {
9  // 1: Init port B
10 DDRB = 0b00100011;
11 PORTB= 0b00000000;
12 // 2: Init 16- bit timer 1 values
13 OCR1A = 20;
14 ICR1 = 40;
15 int delay = 1;
16 // Init Phase and frequency correct PWM
17 TCCR1B = _BV(WGM13); // 3
18 TCCR1A = 0;
19 TCCR1A |= _BV(COM1A0); // 4
20 TCCR1A |= _BV(COM1A1);
21 TCCR1B |= _BV(CS11); // 5
22 char
    flag_start_stop=0, flag_reverse=0, flag_speedup=0, flag_speeddown=0;

23 while(1) // 6
24 {
25 // 7: Start- Stop button action
26 if(!(PINB&4))
27 { flag_start_stop=1; _delay_ms(10); }
28 if(( flag_start_stop==1 )&&(PINB&4))
29 {PORTB^=1; flag_start_stop=0; } // 8
30 // 9: Reverse button action
31 if(!(PINB&8))
32 { flag_reverse=1; _delay_ms(10); }
33 if(( flag_reverse==1 )&&(PINB&8))
34 {PORTB^=3; flag_reverse=0; } // 10
35 // 11: Speed - button action
36 if(!(PINB&16))
37 { flag_speeddown=1; _delay_ms(10); }
38 if(( flag_speeddown==1 )&&(PINB&16))
39 { if (OCR1A!=40) OCR1A+=delay; flag_speeddown=0; } // 12
40 // 13: Speed + button action
41 if(!(PINB&64))
42 { flag_speedup=1; _delay_ms(10); }
43 if(( flag_speedup==1 )&&(PINB&64))
44 {
45 if (OCR1A!=0)OCR1A-=delay; // 14
46 flag_speedup=0;
47 }
48 } // 6: End of loop
49 } // 15: End of proram

```

Нижче наведено деякі пояснення окремих фрагментів програми, яку наведено вище.

### 2.4.11 Ініціалізація порту PB

Біт DDxn регістра DDRB визначає напрям передачі даних через контакт введення/виведення. Якщо цей біт встановлено в 1, то n-й вивід порту являє собою вихід, якщо ж цей біт скинутий у 0, то цей вивід функціонує як вхід. Загальний вигляд регістра DDRx показано на рисунку 2.23.

DDRx Register

Bit No.	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	DDx7	DDx6	DDx5	DDx4	DDx3	DDx2	DDx1	DDx0
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0

Upper Nibble
Lower Nibble

Рисунок 2.23- Загальний вигляд регістра DDRx

Ініціалізуємо виводи 0,1 на виведення для передачі сигналів на входи драйвера ШІМ, за допомогою яких будемо керувати напрямом обертання двигуном постійного струму. Вивід 5 ініціалізуємо також на вихід. З нього будемо знімати ШІМ- сигнал, який буде керувати драйвером

Тоді DDRB = 0b00100011.

Через можливе близьке знаходження ДПС до контролера і можливість наводок вбудовані підтягуючі резистори ємністю 100кОм використовувати не будемо, а використаємо зовнішні, ємністю по 10кОм. Біт PORTBn регістра PORTB виконує подвійну функцію.

Якщо вивід функціонує як вихід, то цей біт визначає стан виходу порту. Коли він встановлений в 1, на виході встановлюється напруга високого рівня, коли ж він скинутий в 0, на виході встановлюється напруга низького рівня.

Якщо ж вивід функціонує як вхід, то біт  $PORTB_n$  визначає стан внутрішнього підтягуючого резистора для даного виводу. При встановленні біта  $PORTB_n$  в 1 підтягуючий резистор підключається між виводом мікроконтролера та лінією живлення. Загальний вигляд регістра  $PORTx$  показано на рисунку 2.24

Проініціалізуємо регістр  $PORTB$  нулями:

$PORTB=0b00000000$ .

PORTx Register

Bit No.	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	Px7	Px6	Px5	Px4	Px3	Px2	Px1	Px0
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 2.24 – Вигляд регістра  $PORTx$

#### 2.4.12 Запуск та зупинка двигуна постійного струму

Для керування запуском/зупинкою двигуна постійного струму з допомогою драйвера та мікроконтролера, нам потрібно читати вхід з заціпки порту, до якого підключена відповідна кнопка. Для цього будемо перевіряти біт  $PX2$  регістра  $PINB$ . Загальний вигляд регістра  $PINx$  показано на рисунку 2.25

PINx Register

Bit No.	7	6	5	4	3	2	1	0
Name	Px7	Px6	Px5	Px4	Px3	Px2	Px1	Px0
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0

Рисунок 2.25 – Вигляд регістра  $PINx$

Якщо на вхід PB2 порту буде подаватись високий рівень напруги, то біт PX2 прийматиме значення 1, якщо низький рівень напруги то біт PX3 прийматиме значення 0.

Щоб запобігти зайвим спрацюванням при натисканні кнопки керування, введемо індикатор натискання та затримку, і будемо міняти керуючу програму вже після відпускання кнопки. Одразу після ініціалізації таймера, ШІМ– сигнал вже поступає на схему драйвера, проте на портах, через які живиться двигун низький рівень напруги. Після натискання на кнопку ми встановлюємо індикатор і робимо паузу на 10 мс. Наступна умова спрацює тоді, коли прапорець встановлений, а кнопку ми вже відпустили. Після спрацювання цієї умови ми скидатимемо прапорець, та будемо інвертувати перший біт регістра PORTB, що дасть нам змогу по чергово встановлювати високий та низький рівні напруги на виході PB0 який виступає у нас одним з виходів, які ми використовуємо для живлення двигуна постійного струму. Нижче приведено фрагмент коду на C, який все це реалізовує.

```
//Start– Stop button action

if(!(PINB&4))

{ flag_start_stop=1; _delay_ms(10); }

if(( flag_start_stop==1 )&&(PINB&4))

{PORTB^=1; flag_start_stop=0; }
```

#### 2.4.13 Зміна напрямку обертання двигуна постійного струму

Для зміни напрямку обертання двигуна постійного струму або активації зворотного ходу необхідно контролювати стан перемикача керуючого і, залежно від його натискання, відповідним чином змінювати напрямок руху. Контролюватимемо натискання кнопки шляхом зчитування рівня напруги зі стопора порту, до якого ця кнопка підключена. Власне, дану кнопку було підключено до виводу PB3 мікроконтролера ATmega128, який налаштовано як вхід. Будемо читати рівень напруги на защіпці порту з біта PX3 регістра PINB. При натисненні на кнопку рівень напруги буде низький, тобто зніматимемо 0, а коли кнопка не натиснена то рівень напруги високий і зніматимемо 1.

Логіка керування буде наступною. Сторона, у яку обертається двигун залежить від потенціалів на входах IN1 та IN2 на драйвері, яким виступає схема з двома мостами L293D. Змінювати потенціали ми будемо два одразу, лінію з низьким потенціалом будемо робити лінією з високим, а лінію з високим – лінією з низьким. Тут ми говоримо про лінії PB0 та PB1 мікроконтролера, які налаштовані як виходи. Як видно з попереднього прикладу, під час запуску лінія порту PB0 була запрограмована як вихід з високим рівнем напруги. Після натискання кнопки, за допомогою операції бітового виключає АБО, ми будемо інвертувати старші два біти регістра PORTB, які у випадку вихідних ліній керують вихідною напругою. Нижче наведено фрагмент коду C, що виконує ці операції.

```
//Reverse button action

if(!(PINB&8))

{ flag_reverse=1; _delay_ms(10); }

if(( flag_reverse==1 )&&(PINB&8))

{PORTB^=3; flag_reverse=0; }
```

#### 2.4.14 Зміна швидкості обертання двигуна постійного струму

Для зміни швидкості обертання двигуна постійного струму у нас буде дві кнопки, перша буде збільшувати швидкість, а друга – зменшувати. Принцип, за яким ми будемо змінювати швидкість, ґрунтується на властивості ШІМ– сигналу. Двигун до джерела живлення підключаємо через ключі, мостовою схемою, як показано на рисунку 2.12.

В даному випадку для нас важливі комбінації, коли є різниця потенціалів. Це наступні комбінації ключів: 1 відкритий, 2 закритий, 3 закритий, 4 відкритий; 1 закритий, 2 відкритий, 3 відкритий, 4 закритий.

Також важливими є комбінації, коли немає різниці потенціалів, і ротор електродвигуна не обертається. вони наступні: 1 відкритий, 2 відкритий, 3 закритий, 4 закритий; 1 закритий, 2 закритий, 3 відкритий, 4 відкритий.

Тобто, в загальному випадку, коли ми відкриваємо ключі за діагоналлю – наш двигун починає обертатись.

Для того, щоб регулювати швидкість обертання ми будемо вмикати ці ключі на час  $X$  та вимикати на час  $Y$  з великою швидкістю. Як це буде виглядати, представлено на рисунку 2.4

Швидкість обертання двигуна залежить від напруги, яка на нього подається. На рисунку 2.4 ця напруга позначається, як еквівалентна постійна напруга. З цього рисунка ми також бачимо, що використовуючи цифрові

сигнали логічного “0” та логічної “1” ми можемо отримувати своєрідну еквівалентну напругу, яка відрізняється від напруги логічних рівнів.

Регулюючи шпаруватість – відношення періоду слідування імпульсів до їх довжини, ми змінюємо еквівалентну постійну напругу та регулюємо швидкість обертання нашого двигуна постійного струму.

Тепер власне перейдемо до кнопок. Спочатку розберемо схему збільшення швидкості. Кнопка підключена до виводу PB4 мікроконтролера, який в свою чергу запрограмовано як вхід. Знімати значення цього входу ми будемо за допомогою 8 бітного регістра PINB, а точніше – за допомогою біта PB4. Коли кнопка не натиснута цей біт має значення логічної 1. Коли кнопка натискається, цей біт приймає значення логічного 0. Саме це ми будемо перевіряти у програмі керування мікроконтролером ATmega128. При виявленні логічного нуля ми будемо встановлювати індикатор натискання та очікувати 10 мс. Наступна умова у нас виконається, якщо індикатор натискання встановлений в 1, і на заціпці PB4 порту логічна одиниця, тобто кнопка вже відпущена. У цьому випадку ми збільшуватимемо значення 8 бітного регістра OCR1A на величину, яку записано у змінну delay, але не більше, ніж 20.

При цій постійній еквівалентній напрузі наш двигун постійного струму обертається з максимальною швидкістю, яку ми можемо досягти у нашому моделюванні. Нижче наведемо код на C, який відповідає за збільшення швидкості обертання двигуна постійного струму при натисканні на відповідну кнопку

```
//Speed + button action

if(!(PINB&16))

{ flag_speedup=1; _delay_ms(10); }

if(( flag_speedup==1 )&&(PINB&16))
```

```
{ if (OCR1A!=40) OCR1A+=delay; flag_speedup=0; }
```

Зменшення швидкості обертання двигуна постійного струму відбувається за схожим принципом. Ми перевіряємо рівень напруги на виводі PB6 який запрограмовано на вхід. Програмно читаємо цей рівень напруги з біта PX6 регістра PINB. Коли кнопка не натиснена, біт дорівнює 1. Коли кнопка натискається, значення біта змінюється з 1 на 0, і залишається таким до того часу, доки кнопка натиснена. Саме для того, щоб не відбувались багаторазові зміни при натисканні на кнопку, у програмі ми використовуємо ключі, які скидаються лише коли кнопки відпускаються.

Програмно читаючи значення біта PX6 регістра PINB, ми змінюємо вміст регістра OCR1A, зменшуючи його на величину, яку записано у змінну delay, але не менше 0. Код, який це реалізовує приведено нижче.

```
//Speed – button action

if(!(PINB&64))

{ flag_speeddown=1; _delay_ms(10); }

if(( flag_speeddown==1 )&&(PINB&64))

{

if (OCR1A!=0)OCR1A-=delay;

flag_speeddown=0;

}
```



## **3 ПРОЕКТУВАЛЬНА ЧАСТИНА**

### **3.1 Опис перетворювача**

Проектування імпульсних перетворювачів ручним способом є досить складним та трудомістким процесом. Проте, слід зазначити, багато компонентів таких перетворювачів вже випускаються світовими виробниками як інтегральних схем. Також деякі компанії пропонують пакети програмного забезпечення для автоматизації процесу проектування, адаптовані під свою елементну базу і розраховані на використання в рамках проектування імпульсних перетворювачів.

Понижувальний перетворювач напруги. Це перетворювач, призначений для перетворення високої напруги в більш низьку стабілізовану напругу.

Містить ключовий транзистор, діод, фільтр і навантаження. Схеми перетворювача наведені на рис. 1.1 та 1.2.

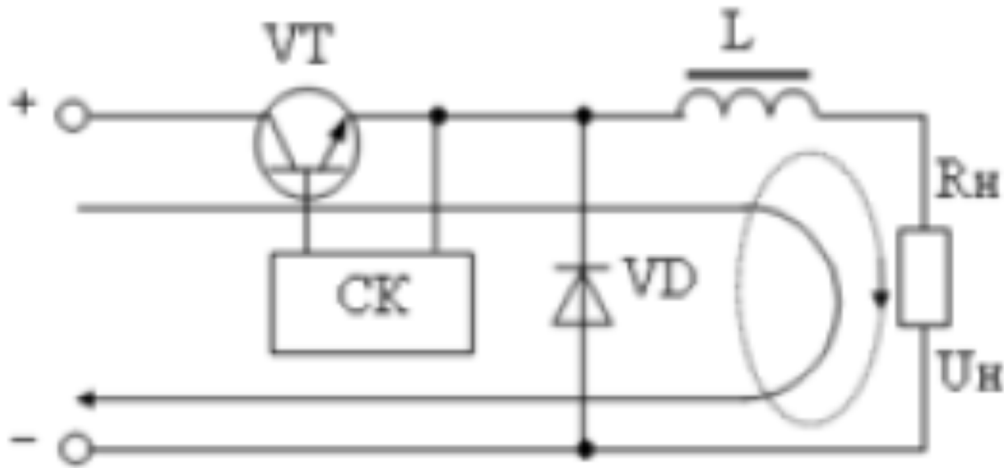


Рисунок 3.1 – Понижуючий перетворювач напруги з L фільтром

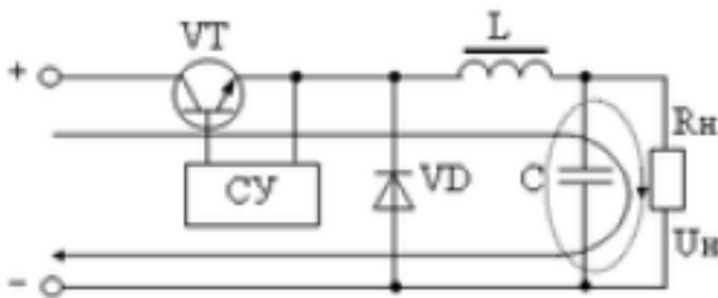


Рисунок 3.2 – Понижуючий перетворювач напруги з LC фільтром

Перетворювач передає енергію від джерела живлення до навантаження порціями. Незважаючи на розміри, що збільшилися, порівняно з лінійними стабілізаторами, і відносно високий рівень пульсацій, такі перетворювачі мають значну перевагу – високий ККД. Тому вони знаходять широке застосування в електронному устаткуванні..

Напруга на виході регулюючого елемента,  $U_H(t)$  є імпульсним. Щоб отримати на навантаженні постійну напругу, що дорівнює середньому значенню вихідної напруги,  $U_H$ , між регулюючим елементом і

навантаженням включають фільтр, що згладжує. В імпульсних регуляторах індуктивний фільтр найчастіше використовується.

На відміну від звичайного L- чи LC-фільтра, в даному випадку фільтр обов'язково доповнюється діодом VD, який називають зворотнім діодом. Цей діод пропускає струм дроселя L в ті інтервали часу, коли транзистор VT закритий (ключ розімкнутий). Коли система керування СК відкриває транзистор VT (ключ замикається), від джерела живлення  $U_d$  в навантаження  $R_n$  протікає струм по ланцюгу, позначеному безперервною стрілкою. У цей інтервал часу  $0 \dots t_i$  діод VD закритий, струм зростає і в елементах фільтра L і C накопичується енергія.

Коли транзистор закривається (ключ розмикається), навантаження  $R_n$  відключається від джерела живлення  $U_d$ , і струм підтримується за рахунок енергії, запасеної в елементах фільтра. У часовий інтервал  $t_i \dots T$  конденсатор C розряджається через навантаження  $R_n$ . Струм через дросель L протікає через навантаження  $R_n$  і замикається через відкритий у цей час діод VD. Через війну енергія, запасена в дроселі, передається навантаженню. Напрямок струму через дросель в інтервалі часу  $t_i \dots T$  показано пунктирною стрілкою.

### 3.2 Порядок проектування

У процесі проектування використовуються наступні позначення параметрів:

$V_{in}$  – номінальна вхідна напруга, В;

$V_{inmin}$  – мінімальна вхідна напруга, В;

$V_{inmax}$  – максимальна вхідна напруга, В;

$V_{out}$  – номінальна вихідна напруга, В;

$I_{out}$  – номінальний вихідний струм, А;

$F$  – частота перемикання, кГц;

$I_r$  – пульсація струму індуктора, %;

$V_{inr}$  – напруга пульсації на вході, мВ;

$V_{outr}$  – напруга пульсації на виході, мВ;

$I_r$  – струм пульсації в індукторі А;

$G_m$  – прибуток коефіцієнта підсилення, дВ;

$\Phi_m$  – прибуток фази, град.;

$\Delta\phi$  – розрахована смуга пропускання;

$V_{outt}$  - напруга перехідних пульсацій на виході, мВ

ККД – коефіцієнт корисної дії, %.

Встановлюємо параметри фільтру мікросхем MPS для перетворювача 12/5 В, 1А. Тобто понижуючий (buck) перетворювач. Вхідна напруга дорівнює 12 В. Перетворювач повинен бути спроектовано у промисловому виконанні. Інші вимоги ми ігноруємо. Панель фільтра, що відповідає цим вимогам та панель зі списком доступних мікросхем наведено на рис. 3.3.

Filter

Part Number

Vin(V): Min  Max

Iout(A): Min  Max

Fsw(kHz): Min  Max

Topology  Buck  Boost  Ignore

Grade  Commercial  Industrial  Automotive

Control Type  Constant-On-Time  Peak Current Mode  Ignore

Type  Sync  NonSync  Ignore

Channel  Single  Multiple  Ignore

Power Good  Yes  No  Ignore

External SS  Yes  No  Ignore

Package

(116 found)

	Part Number	Buck=0/Boost=1	Vin Min (V)	Vin Max (V)	Iout Max(A)	Is Multiple Channel(Y=
▶	MP1462	0	3.3	19	2	0
	MP1463	0	3.3	19	3	0
	MP1463-C724	0	3.3	36	3	0
	MP1469	0	4.7	16	1.5	0
	MP1470	0	4.7	16	2	0
	MP1470B	0	4.7	16	2	0
	MP1471	0	4.7	16	3	0
	MP1471A	0	4.5	16	3	0

Select

Рисунок 3.3 – Панель фільтра параметрів основної інтегральної мікросхеми та панель зі списком доступних мікросхем.

У списку залишилось 116 мікросхем. Обираємо, MP1462 та натиснемо кнопку Select. Результати проектування наведені на рис. 3.4.

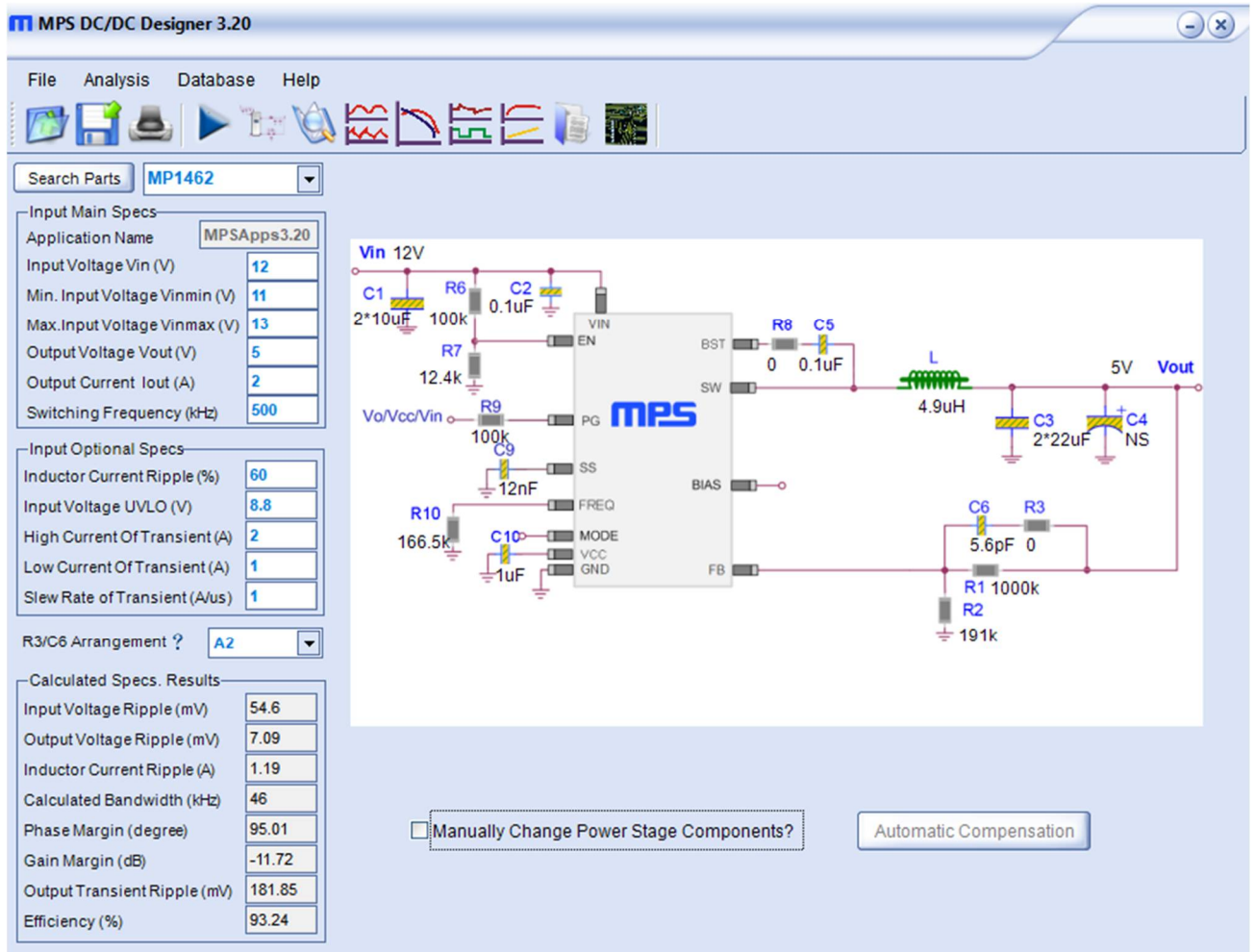


Рисунок 3.4 – Специфікації параметрів та електрична схема перетворювача

В іншій формі (див. рис 3.5) специфікації параметрів перетворювача можна отримати якщо обрати опцію Analysis/SpecAnalysis.

Parameter	Result	Minimum	Maximum
Synchronizable(Y/N)	Y		
Input Voltage(V)	12		
Min. Input Voltage(V)	12		
Max. Input Voltage(V)	12		
Output Voltage(V)	5		
Output Current(A)	2		
Frequency(kHz)	500		
Vin UVLO(V)	9.6		
Input Voltage Ripple(mV)	54.6		
Output Voltage Ripple(mV)	7.09		
Inductor Peak-Peak current(A)	1.19	1.4	2.6
High Current of Transient(A)	2		
Low Current of Transient(A)	1		
Slew Rate of Transient(A/us)	1		
Output Transient Ripple(mV)	181.85	-90.92	90.92
Bandwidth(kHz)	46		
Phase Margin(deg)	95.01		
Gain Margin(dB)	-11.72		
Efficiency(%)	93.24		

Рисунок 3.5 – Специфікації параметрів перетворювача

Типові осцилограми сигналів у перетворювачі наведені на рис. 3.6. Вони отримані за допомогою опції Analysis/Waveform.

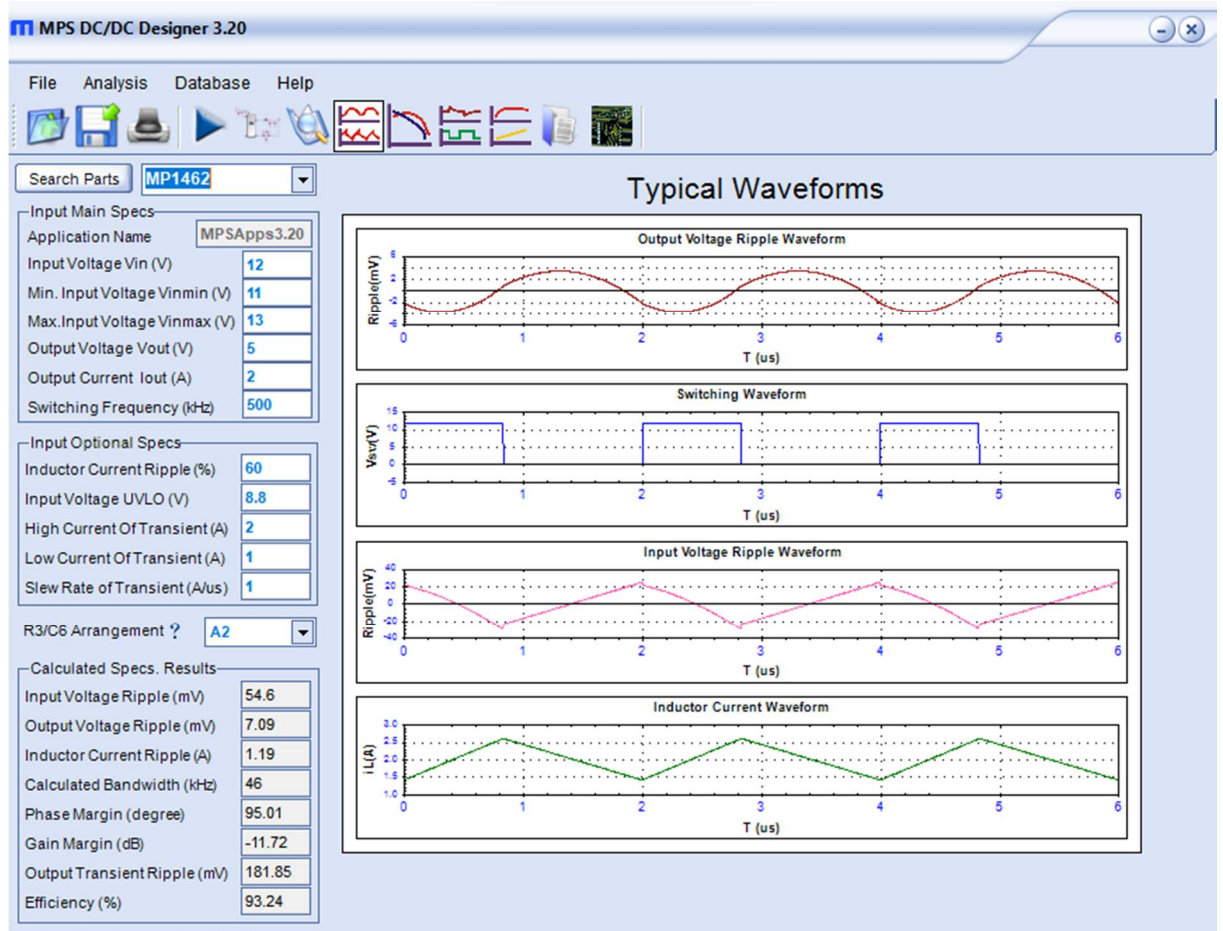


Рисунок 3.6 – Типові осцилограми

Амплітудно- та фазочастотну характеристики потужного каскаду, компенсаційної ланки та замкненого контуру отримаємо за допомогою опції Analysis/Small Signal Analysis. Приклад наведено на рис. 3.7.

Залежності ККД та потужності витрат від струму наведено на рис. 3.8. Ці залежності отримані за допомогою опції Analysis/Efficiency and Power Loss/.



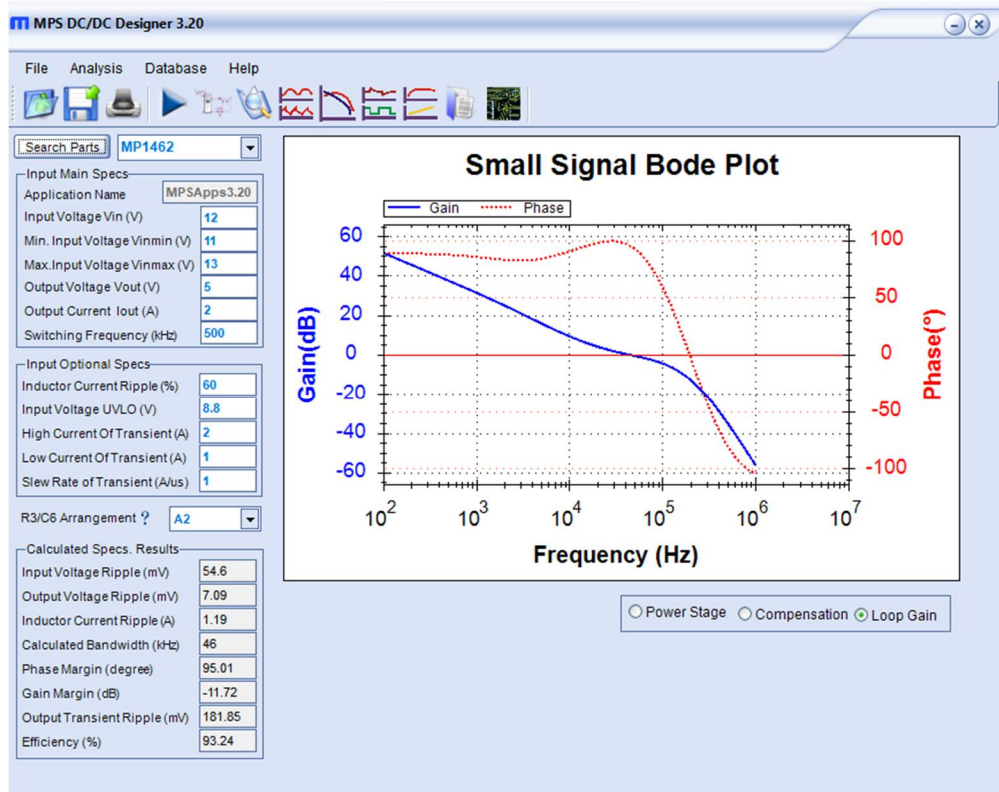


Рисунок 3. 7 – Частотні характеристики потужного каскаду

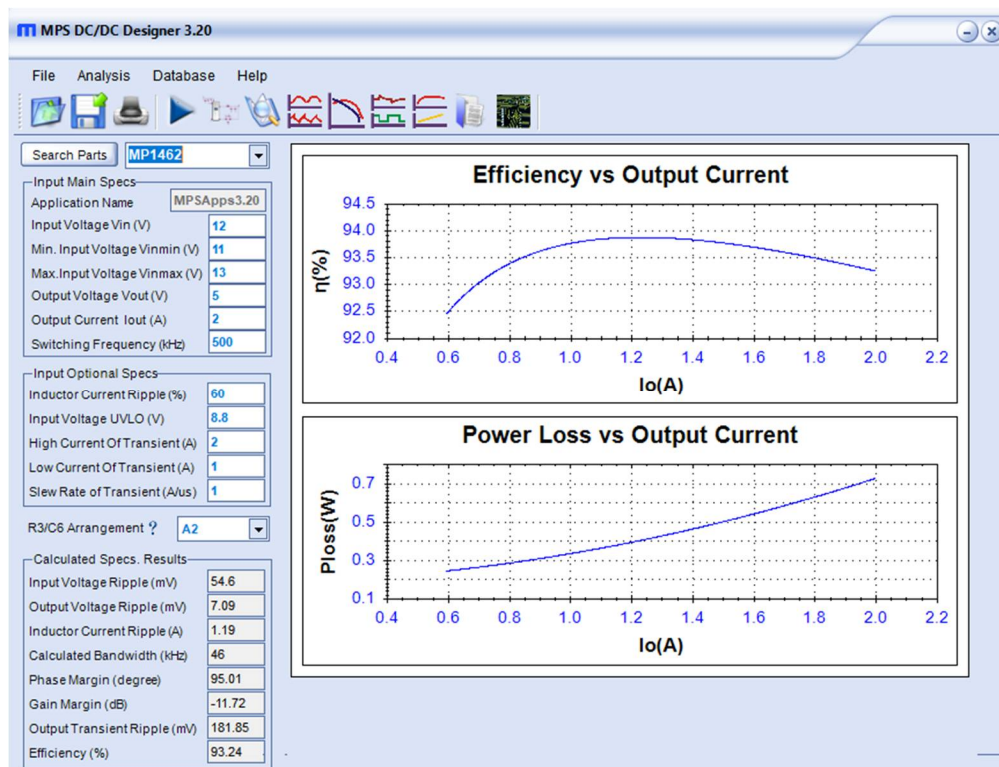


Рисунок 3. 8 – Залежності ККД та потужності витрат від струму

Перелік елементів до електричної схеми перетворювача отримано за допомогою опції Analysis/Bill of Materials та наведено на рис. 3.9.

The screenshot shows the MPS DC/DC Designer 3.20 software interface. The 'Search Parts' field is set to 'MP1462'. The 'Input Main Specs' section includes: Application Name (MPSApps3.20), Input Voltage Vin (V) (12), Min. Input Voltage Vinmin (V) (11), Max. Input Voltage Vinmax (V) (13), Output Voltage Vout (V) (5), Output Current Iout (A) (2), and Switching Frequency (kHz) (500). The 'Input Optional Specs' section includes: Inductor Current Ripple (%) (60), Input Voltage UVLO (V) (8.8), High Current Of Transient (A) (2), Low Current Of Transient (A) (1), and Slew Rate of Transient (A/us) (1). The 'R3/C6 Arrangement' is set to 'A2'. The 'Calculated Specs. Results' section includes: Input Voltage Ripple (mV) (54.6), Output Voltage Ripple (mV) (7.09), Inductor Current Ripple (A) (1.19), Calculated Bandwidth (kHz) (46), Phase Margin (degree) (95.01), Gain Margin (dB) (-11.72), Output Transient Ripple (mV) (181.85), and Efficiency (%) (93.24).

Quantity	Parameter	Value	Description	Package	Vendor	Part Number
2	C1	10uF	16V, X5R, Ceramic	0805	muRata	GRM21BR6..
1	C2	0.1uF	50V, Ceramic	0805	Any	
2	C3	22uF	6.3V, X5R, Cera...	0805	Würth El...	885012107...
	C4		NS			
1	C5	0.1uF	50V, Ceramic	0603	Any	
1	C6	5.6pF	50V, Ceramic	0603	Any	
1	C9	12nF	50V, Ceramic	0603	Any	
1	C10	1uF	50V, Ceramic	0603	Any	
1	R1	1000k	1%	0603	Any	
1	R2	191k	1%	0603	Any	
1	R3	0	5%	0603	Any	
1	R6	100k	5%	0603	Any	
1	R7	13.7k	5%	0603	Any	
1	R8	0	5%	0603	Any	
1	R9	100k	5%	0603	Any	
1	R10	166.5k	5%	0603	Any	
1	L	4.9uH	14.5mOhm, 6.5A	SMT	Würth El...	744314490
1	U1	-	Buck, 500kHz, 1...	QFN2x...	MPS	MP1462

Note:  
 1) More details information please reference the device datasheets and/or application notes.  
 2) Please note too large output capacitance may lead to startup problems.

Рисунок 3.9 – Перелік елементів до схеми перетворювача

Друківана плата перетворювача із розташуванням елементів його схеми наведена на рис 3.11. Вона відкривається за допомогою опції Analysis/Layout Info.

The screenshot shows the PCB Layout Guidelines for the MP1462 converter. The guidelines are as follows:

- 1) Keep the connection of input capacitor and IN pin as short and wide as possible.
- 2) Ensure all feedback connections are short and direct. Place the feedback resistors and compensation components as close to the chip as possible.
- 3) Route SW away from sensitive analog areas such as FB.
- 4) Connect IN, SW, and especially GND respectively to a large copper area to cool the chip to improve thermal performance and long-term reliability.

The layout is shown on two layers: Top Layer and Bottom Layer. The Top Layer shows the input capacitor (C1), feedback network (R1, R2, R3, R6, R7, R8, R9, R10), and the output capacitor (C2). The Bottom Layer shows the output capacitor (C2) and the feedback network (R1, R2, R3, R6, R7, R8, R9, R10). The layout is labeled 'MP1462 PCB Layout'.

Рисунок 3.11 – Друківана плата перетворювача

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання дипломної роботи було вирішено практичне завдання – розробка та дослідження блоку мікропроцесорного керування двигуном постійного струму 12В/1А. Блок забезпечує м'який пуск, плавне регулювання швидкості обертів та зупинку електромотора. У процесі розробки та практичної реалізації були використані нові елементні бази та мікросіпи, що дозволило знизити енергоспоживання при функціонуванні проекрованої системи.

Розроблено принципову схему системи управління ДПС на основі мікроконтролера, а також програмне забезпечення для проекрованої системи, що функціонує на базі мікроконтролера. Проведено обчислення параметрів ключових компонентів принципової схеми системи управління з точки зору підтримки робочих режимів елементів розробленої системи. Основні технічні рішення: мікропроцесор ATMEGA328P, драйвер двигуна L293D, перетворювач постійної напруги MP1462. Досліджено що ККД перетворювача постійної напруги складає від 0,94 до 0,92, а потужність витрат від 0,2 до 0,7 Вт в залежності від навантаження.

Отримана мікроконтролерна система управління ДПС може використовуватися для інтеграції до дитячих іграшок. Наприклад, електричні транспортні засоби з акумуляторною батареєю 12 В/10 А\*год, керовані по радіоканалу з дистанційного пульта. Це дозволить уникнути раптового початку руху автомобіля з високою швидкістю, забезпечуючи плавний розгін. Програмні та апаратні засоби забезпечують плавне регулювання та перемикання швидкостей. Інший приклад використання - системи для закриття та відкриття жалюзі та підйому та опускання ролетів.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2815-94 Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни та визначення.
2. DS40039C. Data Sheet. PIC16F630/676. 14-Pin FLASH-Based 8-Bit CMOS Microcontrollers. Microchip Technology Inc. 2013.
3. Microchip, MPLAB IPE (Integrated Programming Environment) User's Guide, 2013-2017.
4. Яцун М.А. Електричні машини / М.А. Яцун. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2011. – 428 с.
5. Пилипчук Р.В.. 17755 Електродвигун // Енциклопедія сучасної України: у 30 т / ред. кол. І. М. Дзюба [та ін.]; НАН України, НТШ, Координаційне бюро енциклопедії сучасної України НАН України. – К., 2003-2019.
6. Попович М.Г. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. - К.: Либідь, 2005. - 680 с.
7. Колб Ант.А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навч. посібник. - Д.: НГУ, 2006. - 511 с.
8. Грабко В. В., Кучерук В. Ю., Возняк О. М. Мікропроцесорні системи керування електроприводами. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2009. – 146 с
9. Панкратов А.І. П – 16 Системи керування електроприводами. Видання 2: Навч. посібник з дисципліни «Системи керування електроприводами». – Краматорськ: ДДМА, 2018. – 225 с.
10. Steve Roberts M.Sc. B.Sc. DC/DC Book of Knowledge Practical tips for the User. 2016
11. Salvatore Musumeci. Advanced DC-DC Power Converters and Switching Converters. 2021.