

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра електротехніки

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання курсової роботи  
з курсу**

**“Основи електроніки, перетворювальної та  
мікропроцесорної техніки”**

**(для студентів напрямку “Енергетика”)**

## **КУРСОВА РОБОТА ЗА ТЕМОЮ:**

### **“РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ З СИЛОВИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЕНЕРГІЇ”**

#### **ВСТУП**

Силовий перетворювач енергії є невід’ємним елементом системи енергозбереження, який забезпечує регулювання (перетворення) параметрів енергії джерела для раціонального використання її споживачем. Сучасні перетворювачі являють собою достатньо складну електронну систему, що містить силові кола де безпосередньо здійснюється перетворення і інформаційну частину, що забезпечує вимір, контроль параметрів і керування перетворювачем. Обробка сигналів здійснюється як у аналоговому так і цифровому вигляді, в тому числі з використанням мікропроцесорів.

#### **1. ЗМІСТ И ОБ’ЄМ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

В курсовій роботі необхідно виконати розрахунок елементів системи згідно заданим вимогам.

Курсова робота містить наступні розділи:

1. Розрахунок схеми вирішувального пристрою на операційних підсилювачах;
2. Розрахунок цифрової схеми для реалізації заданої логічної операції.
3. Вибір типу і розрахунок перетворювача.
4. Синтез мікропроцесорної системи керування.

Об’єм пояснювальної записки до курсової роботи до 25 сторінок рукописного тексту.

#### **2. ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

Пояснювальна записка повинна бути написана на листах формату А4 з одного боку з обов'язковим залишенням полів: лівого - 35 мм, правого - не менше 10 мм, верхнього і нижнього - не менше 20 мм. Всі листи, в тому числі рисунки, мають прохідну нумерацію. Титульну сторінку виконують згідно зразку (див. додаток). Записку слід зшити. Кожний з її розділів обов'язково повинен мати порядковий номер (нумерують арабськими цифрами) і заголовок. Підзаголовок повинен мати подвійну нумерацію: перший номер - номер розділу, другий - номер підрозділу.

В пояснювальній записці матеріал слід розмішувати в такій послідовності: титульна сторінка, реферат, зміст, завдання, основний текст, список літератури, що використалася.

Реферат має наступну структуру: відомості про об’єм пояснювальної записки (число сторінок, рисунків, таблиць джерел, що використалися); короткий зміст курсовий роботи, ключові слова.

Об’єм реферату – 0,5 - 1 стор.

Всі ілюстрації (схеми, графіки) іменуються рисунками. Рисунки мають прохідну нумерацію. Номер рисунку, а також його назву розміщують під рисунком.

Формули нумерують цифрами, що беруться в круглі дужки, і розміщують праворуч на рівні нижнього порядку формули. Нумерація формул прохідна. При бібліографічному посиланні порядковий номер літературного джерела відповідно списку літератури, що використався беруть в квадратні дужки.

### 3. ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Варіанти завдань вибираються згідно номеру за журналом.

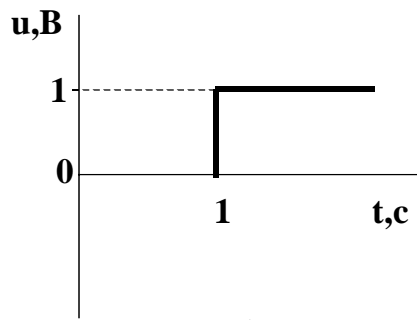
#### 3.1. Розрахунок схеми вирішувального пристрою на операційних підсилювачах.

Вихідні данні для розрахунку

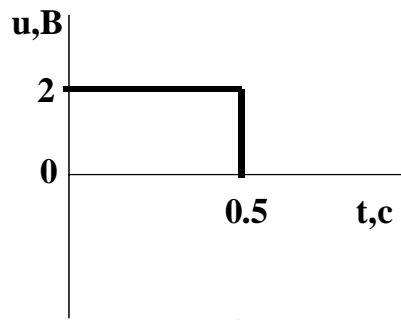
Таблиця 3.1

Номер варіа- нта	Вихідна напруга $u_{ВИХ}(t)$	Вхідні напруги		
		$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$
1	$u_{ВИХ}(t) = 2 \int_0^t (4U_1 - 0,5U_2) dt$	рис. 3. 1a	2	-
2	$u_{ВИХ}(t) = -3 \int_0^t (2U_1 + 0,5U_2) dt$	рис. 3. 1a	-2	-
3	$u_{ВИХ}(t) = 2du_1/dt - 3u_2$	рис. 3. 1e	рис. 3. 1b	-
4	$u_{ВИХ}(t) = -5du_1/dt - (2u_2 + 3u_3)$	рис. 3.1f	2	2
5	$u_{ВИХ}(t) = 2du_3/dt + 4u_2 + u_1$	1	-2	рис3.1g
6	$u_{ВИХ}(t) = -0.2du_3/dt + 2(u_1 - u_2)$	4	5	рис3.1k
7	$u_{ВИХ}(t) = 0.5du_3/dt - 0.5u_1 + 2u_2$	4	4	рис3.1l
8	$u_{ВИХ}(t) = 2d(u_1 - u_2) / dt$	5	рис. 3. 1o	-
9	$u_{ВИХ}(t) = 5 \int_0^t U_1 dt - u_2$	рис. 3.1c	10	-
10	$u_{ВИХ}(t) = 2 \int_0^t U_2 dt + 0.5 U_1$	4	Рис.3.1d	-
11	$u_{ВИХ}(t) = U_1 - 2 \int_0^t U_2 dt + U_3$	Рис.3.1к	Рис.3.1m	4
12	$u_{ВИХ}(t) = 2.5 \int_0^t U_1 dt + U_3 - U_2$	Рис.3.1n	Рис.3.1k	5
13	$u_{ВИХ}(t) = -0.5du_1/dt + 5u_2 - u_3$	рис. 3. 1o	рис. 3.1a	4
14	$u_{ВИХ}(t) = 0.2du_1/dt - u_2 + u_3$	рис. 3. 1k	рис. 3.1b	1
15	$u_{ВИХ}(t) = 2du_1/dt + u_2 - u_3$	рис. 3.1f	рис. 3. 1a	2

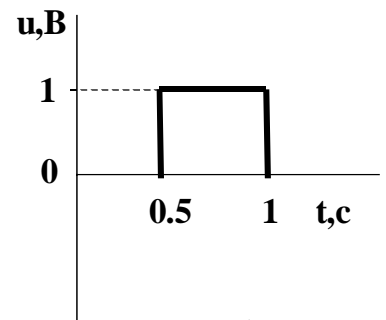
16	$u_{\text{ВИХ}}(t) = 0.5 \int_0^t U_1 dt + u_2 + u_3$	2	рис. 3. 1f	2
17	$u_{\text{ВИХ}}(t) = - 2 \int_0^t (4U_1 - 0,5U_2) dt$	Рис.3.1а	2	
18	$u_{\text{ВИХ}}(t) = -2du_1/dt + 3u_2$	рис. 3. 1e	Рис.3.1b	
19	$u_{\text{ВИХ}}(t) = 5du_2/dt + (3u_3 + 2u_1)$	2	рис. 3. 1f	2
20	$u_{\text{ВИХ}}(t) = - du_3/dt + u_2 + 4u_1$	2		Рис.3.1i
21	$u_{\text{ВИХ}}(t) = - 0,5d(u_2 - u_1) dt$	Рис.3.1o	5	
22	$u_{\text{ВИХ}}(t) = - 2 \int_0^t U_2 dt + u_3 + u_1$	4	Рис.3.1m	Рис.3.1k
23	$u_{\text{ВИХ}}(t) = - 2.5 \int_0^t U_1 dt - u_2 + u_3$	Рис.3.1n	рис. 3. 1k	5
24	$u_{\text{ВИХ}}(t) = - 0.2du_1/dt + u_2 - u_3$	рис. 3.1k	рис. 3.1b	1
25	$u_{\text{ВИХ}}(t) = - 0,5 \int_0^t U_1 dt - u_2 - u_3$	2	рис. 3. 1f	2
26	$u_{\text{ВИХ}}(t) = du_1/dt - 3u_2$	Рис.3.1e	рис.3. 1m	
27	$u_{\text{ВИХ}}(t) = 2 \int_0^t (U_1 - 0,5U_2) dt + 3u_3$	2	Рис.3.1b	Рис.3.1c
28	$u_{\text{ВИХ}}(t) = 0.2du_1/dt - u_2 + 2u_3$	Рис.3.1k	Рис.3.1n	2
29	$u_{\text{ВИХ}}(t) = 2 \int_0^t (2U_1 + 0,5U_3) dt - u_2$	3	Рис.3.1а	5
30	$u_{\text{ВИХ}}(t) = 2du_1/dt - 3(u_2 + u_3)$	Рис.3.1l	3	Рис.3.1b



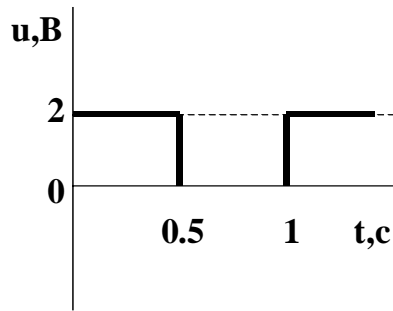
a)



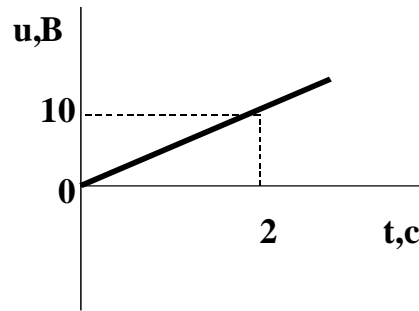
b)



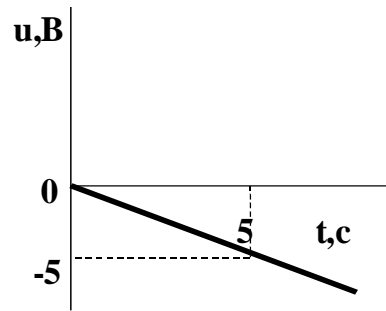
c)



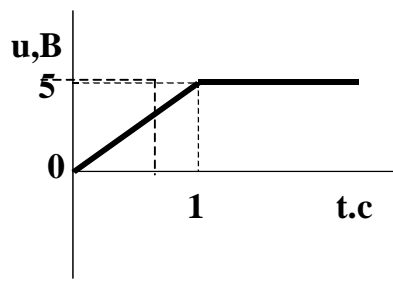
d)



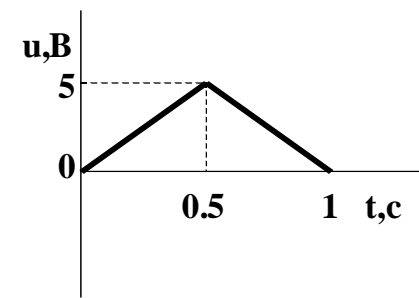
e)



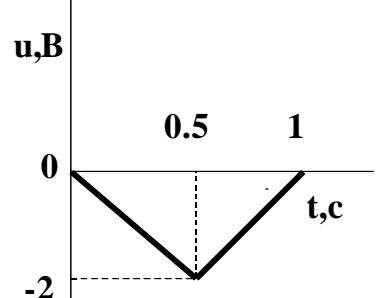
f)



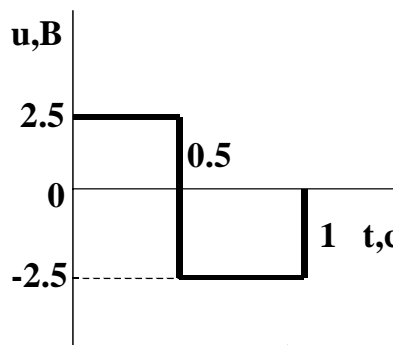
g)



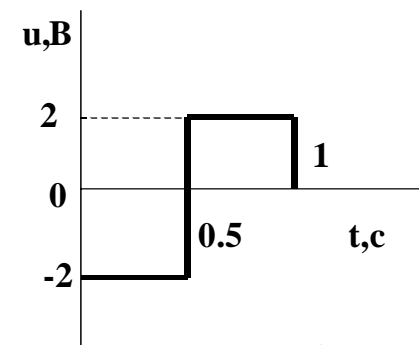
k)



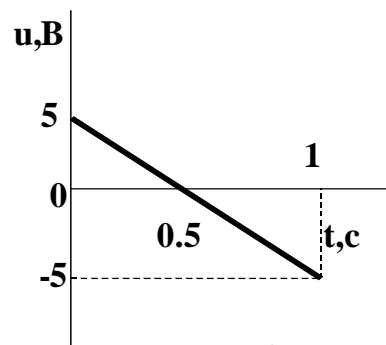
l)



m)



n)



o)

Рис.3.1. Варіанти вхідних сигналів.

### 3.2. Розрахунок цифрової схеми для реалізації заданої логічної операції.

Вихідні данні для розрахунку

Таблиця 3. 2

Номер варіанта	Логічна операція	Серія мікросхем
1	$Y = \overline{X1} + (X2 + X3) * X4$	K155
2	$Y = X1 * \overline{X2} + (X3 + X4)$	K561
3	$Y = X1 + X2 * \overline{(X3 + X4)}$	K176
4	$Y = \overline{X1} * \overline{X2} + X3 * X4$	K511
5	$Y = (X1 + X2) * \overline{X3} + X4$	K155
6	$Y = \overline{(X1 + X2)} * X3 + X4$	K561
7	$Y = \overline{X1} * (X2 + X3) + \overline{X4}$	K155
8	$Y = X1 + \overline{X2 * X3} + X4$	K176
9	$Y = \overline{X1} * \overline{X2} * (X3 + X4)$	K155
10	$Y = X1 + (\overline{X2} * \overline{X3}) * X4$	K511
11	$Y = X1 + \overline{(X2 + X3)} * X4$	K561
12	$Y = \overline{X1} * X2 + (\overline{X3 + X4})$	K155
13	$Y = X1 + X2 + \overline{(X3 * X4)}$	K176
14	$Y = X1 * X2 + \overline{(X3 * X4)}$	K155
15	$Y = \overline{X1} + (X2 * X3) * X4$	K511
16	$Y = X1 * (\overline{X2 + X3}) + X4$	K561
17	$Y = \overline{X1} + X2 * X3 + X4$	K155
18	$Y = \overline{X1} + X2 * \overline{(X3 + X4)}$	K155
19	$Y = \overline{X1} * X2 + X3 + X4$	K511
20	$Y = X1 + X2 * X3 + X4$	K176
21	$Y = X1 + X2 + \overline{(X3 * X4)}$	K155
22	$Y = \overline{X1} * X2 + \overline{(X3 + X4)}$	K155

23	$Y = \overline{X1} + X2 * \overline{X3} + X4$	K561
24	$Y = \overline{X1} + (X2 + X3) * \overline{X4}$	K155
25	$Y = \overline{X1} * X2 * (X3 + X4)$	K511
26	$Y = \overline{X1} * X2 + X3 * \overline{X4}$	K176
27	$Y = (X1 + X2) * \overline{X3} * X4$	K561
28	$Y = \overline{(X1 * X2 + X3)} * X4$	K155
29	$Y = X1 * \overline{(X2 * X3)} + \overline{X4}$	K511
30	$Y = \overline{X1} * X2 + \overline{X3} * X4$	K561

### 3.3. Вибір типу і розрахунок перетворювача.

Варіанти схем

Таблиця 3.3

Варіант схеми	Навантаження перетворювача	Основні вимоги
А	Синхронний двигун з тиристорним збуджувачем	Регулювання струму збудження і напруги (0,3 – 1,75) від номінального значення. Напруга живлення збуджувача 380 В
В	Двигун постійного струму з тиристорним перетворювачем постійного струму у колі якорю. Коло збудження живиться від некерованого випрямляча.	Допустиме перевантаження за струмом 2,5.
С	Асинхронний двигун з перетворювачем частоти.	Допустиме перевантаження за струмом 2,0.

Вхідні дані для розрахунку

Таблиця 3.4

Номер за журналом	Варіант схеми	Напруга мережі $U_{л}, В$	Тип двигуна	Напруга ДПС $U_{ном}, В$
1	А	10000 В	ДС3-2121-16	
2	В	380 В	Д-808	220
3	С	660 В	4А250S4У3	
4	А	10000 В	МС325-12/12	
5	В	380 В	Д-806	440
6	С	660 В	4А250М4У3	
7	А	6000 В	МС325-12/12	

8	В	380 В	Д-818	220
9	С	6000 В	4А280S4У3	
10	А	6000 В	МС321-7/6	
11	В	380 В	Д-816	220
12	С	6000 В	4А280М4У3	
13	А	3000 В	МС323-14/8	
14	В	380 В	Д-814	440
15	С	660 В	4А315S4У3	
16	А	3000 В	МС321-6/6	
17	В	380 В	Д-810	220
18	С	660 В	4А315М4У3	
19	В	380 В	Д-812	440
20	С	6000 В	4А355S4У3	
21	А	3000 В	МС323-14/8	
22	В	380 В	Д-814	220
23	С	660 В	4А355М4У3	
24	А	3000 В	МС321-6/6	
25	В	660 В	Д-818	440

### 3.4. Синтез мікропроцесорної системи керування

Вхідні дані для розрахунку приведені у табл.3.5 – 3.11.

Згідно варіанту передбачаються наступні системи керування:

**А. Керування двигунами.** При подачі сигналу ПУСК ( $\Pi=1$ ) через відповідний розряд порту (вибирається у відповідності з варіантом завдання) необхідно ввімкнути за допомогою виконавчих пристроїв ВП1 і ВП2 двигуни на ТО. Порядок вмикання і час затримки (у секундах) наведені у табл. 3.5.

При подачі сигналу СТОП ( $\Pi=0$ ) вимкнути ВП1 і ВП2 в означеному порядку.

Вхідні дані

Таблиця 3.5

№ вар	Вмикання		Вимкнення		Вхід $\Pi$	ВП1	ВП2
	черговість	затримка	черговість	затримка			
<b>1</b>	1→2	1.0	1→2	10.0	РА0	РВ7	РС0
<b>6</b>	2→1	2.0	2→1	1.8	РА1	РВ6	РС1
<b>11</b>	1→2	3.0	2→1	1.4	РА2	РВ5	РС2
<b>16</b>	2→1	4.0	1→2	6.2	РА3	РВ4	РС3
<b>21</b>	1→2	5.0	1→2	4.4	РА4	РВ3	РС4

**В. Керування температурою електропечі.** При подачі сигналу ПУСК ( $\Pi=1$ ) через відповідний розряд порту (вибирається у відповідності з варіантом завдання) необхідно ввімкнути піч за допомогою виконавчого пристрою ВП через відповідний розряд порту. При досягненні заданої температури (рівень вихідної напруги давача 5В відповідає температурі 1023град.) піч вимкнути.

Вхідні дані

Таблиця 3.6



№ вар.	Температура печі	Вхід П	Вихід
2	800	PB1	PC5
7	900	PB2	PC4
12	524	PB3	PC3
17	1000	PB4	PC2
22	700	PB5	PC1

**С. Керування світлофором.** Вмикається автоматично при подачі живлення. Час затримки (хвилин) між перемиканнями ламп заданий у табл.3.7. При подачі сигналу СТОП (C=1) через відповідний розряд порту (вибирається у відповідності з варіантом завдання) вмикається жовта лампа. Перевід у нормальний режим здійснюється за входом скидання MCR.

**Вхідні дані**

**Таблиця 3.7**

№ вар.	Затримка	Вхід С	Зелена лампа	Жовта лампа	Червона лампа
3	1	PB1	PC5	PC6	PC7
8	1.1	PB2	PC4	PC5	PC6
13	1.2	PB3	PC3	PC4	PC5
18	1.3	PB4	PC2	PC3	PC4
23	1.4	PB5	PC1	PC2	PC3

**Д. Керування 8 світлодіодами у режимі “бігучий вогонь”.** Вмикається автоматично при подачі живлення на МК. Підключені світлодіоди до відповідного порту. Час затримки (секунд) між перемиканнями комбінацій світлодіодів заданий у табл.3.8. Досягнення ефекту “бігучий вогонь” забезпечується почерговим вмиканням комбінацій світлодіодів, що вказані в табл.3.9.

**Вхідні дані**

**Таблиця 3.8**

№ вар.	4	9	14	19	24
Затримка	0.5	0.6	0.4	0.7	0.8
Порт	PC	PB	PC	PB	PC

**Комбінації вмикання світлодіодів**

**Таблиця 3.9**

№ комбінації	VD1	VD2	VD3	VD4	VD5	VD6	VD7	VD8
1	1	0	0	1	0	0	1	0
2	0	1	0	0	1	0	0	1
3	0	0	1	0	0	1	0	0

**Е. Керування семисегментним світлодіодним цифровим індикатором.** Згідно двійковому коду (три розряди - D1, D2, D3), що заданий на лініях порту, висвітлити відповідну десяткову цифру на індикаторі. Входи і виходи, що використовуються, наведені у табл.3.10. Схема індикатору, де кожному сегменту відповідає світлодіод і схема з'єднань діодів приведені на рис.3.3. При цьому для висвітлювання відповідної цифри, наприклад, цифри 3 потрібно з'єднати з спільною точкою катода діодів a, b, c, e, f тобто подати на відповідний вивід індикатору сигнал 0 (через резистор, що обмежує струм).

**Вхідні дані**

**Таблиця 3.10**

№ вар.	5	10	15	20	25
Вхід D1	PB0	PC1	PB3	PC6	PB3

Вхід D2	PB1	PC2	PB4	PC7	PB2
Вхід D3	PB2	PC3	PB5	PC0	PB1
Вихідний порт	PC	PB	PC	PB	PC

## 4. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

### 4.1. Розрахунок схеми вирішального пристрою на операційних підсилювачах.

1. Скласти схему вирішального пристрою на операційних підсилювачах (ОП) для реалізації операції, що задана математичним виразом  $u_{ВИХ}(t) = f(u_1, u_2, u_3, \dots, u_k)$  (табл. 3. 1). Використати схеми інвертувального, підсумкового, інтегрувального, диференціального підсилювачів. При складанні схеми врахувати знак + або - при відповідній складовій (наявність інверсії або ні).

2. Розрахувати параметри резисторів и конденсаторів, що використовуються у схемі у відповідності з заданими коефіцієнтами (рекомендується значення  $C=0,1-1,0$  мкФ,  $R$  порядку п10к0м).

3. У відповідності з заданими значеннями вхідних сигналів побудувати у масштабі закон змінювання  $u_{ВИХ}(t)$  (графіки привести на одному рисунку).

**Примітка:** Напряга живлення ОП  $E_{п}=\pm 15В$ ,  $u_{ВИХМАХ}=\pm 12В$ .

#### Приклад складання схеми

Задано вираз  $u_{ВИХ}(t) = +K1U_1 - K2U_2 + K3 \int_0^t U_3 dt$ . В ньому присутні операції підсумування і інтегрування, які виконуються на ОП з інверсією. З урахуванням цього перетворюємо вихідний вираз до виду

$$u_{ВИХ}(t) = - [(-K1U_1) + K2U_2 + (-K3 \int_0^t U_3 dt.)].$$

Таким чином, маємо складову  $(-K1U_1)$  - операція інвертування, складова  $(-K3 \int_0^t U_3 dt)$  - операція інтегрування, вираз  $- [ \quad ]$  - підсумок з інверсією. З урахуванням цього, схема реалізації має вид поданий на рис.3.2 .

На схемі рис.3.2 DA1 інтегратор з коефіцієнтом  $K3 = 1/R3C$ , DA2 інвертор з коефіцієнтом  $K=R1/R1 = -1$ , DA3 -суматор, коефіцієнти передавання якого:

- за першим входом  $K=R6/R4=1$ ;
- за другим входом  $K1=R6/R2$ ;
- за третім входом  $K2=R6/R5$ .

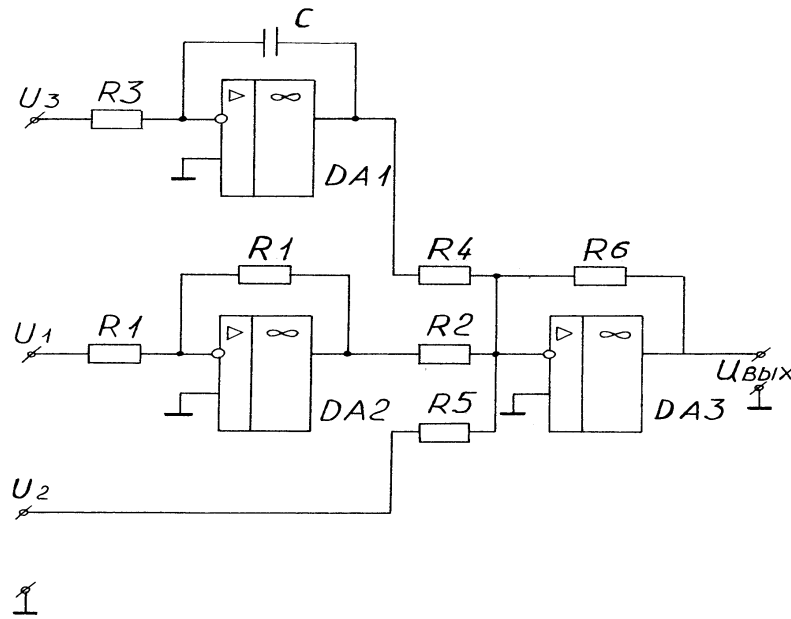


Рис.3.2. Схема реалізації вирішального пристрою

#### 4.2. Розрахунок цифрової схеми для реалізації заданої логічної операції.

1. Скласти схему для реалізації логічної операції, що задана виразом (табл. 3.2)  $y=f(X1, X2, X3, X4)$  з використанням номенклатури елементів конкретної серії мікросхем (K155, K176, K511, K561).
2. Скласти таблицю істинності для усіх (16) можливих комбінацій значень логічних змінних ( $X1, X2, X3, X4$ ).

Література до розділу:

1. Интегральные микросхемы: Справочник/ Б. В. Тарабрин, Л. Ф. Лунин, Ю. Н. Смирнов и др.- М.: Энергоатомиздат, 1985.- 528 с.
2. Зельдин Е.А. Цифровые интегральные микросхемы в информационно-измерительной аппаратуре. - Л.: Энергоатомиздат. , 1986.-280 с.

#### 4.3. Вибір типу і розрахунок перетворювача

##### Варіанти А і В.

- Розрахувати параметри силового випрямного блоку ТП і вибрати тиристори, розрахувати і вибрати дросель, що згладжує. Передбачити автоматичні вимикачі на вході і виході ТП.

- Накреслити принципову схему силових кіл ТП. Передбачити індивідуальні для кожного тиристора запобіжники (вмикаються послідовно) та захисні R-C кола (резистор і конденсатор з'єднуються послідовно та вмикаються паралельно тиристорам для обмеження перенапруг при перемиканні тиристорів).

- Розрахувати і побудувати регульовальну характеристику ТП - залежність  $U_d=f(\alpha)$  вважаючи, що струм навантаження безперервний.

- Розрахувати і побудувати зовнішню характеристику ТП.
- Нарисувати часові діаграми напруги мережі, напруги на навантаженні за заданим кутом  $\alpha=30^\circ$  або  $45^\circ$ .

**Вибір схеми випрямлення здійснити за наступними рекомендаціями:**

- трифазна нульова схема за потужністю ТП до 50 кВт;
- трифазна мостова схема за потужністю ТП до 3000 кВт.

Середнє значення випрямленої напруги на виході ТП варто прийняти рівним:

$$U_{d0} = K_U U_d,$$

де  $K_U = (1,2-1,25)$  - коефіцієнт, що враховує можливе зниження напруги у мережі, втрати напруги в схемі ТП і т.п.;

$U_d$  - необхідне (за завданням) значення випрямленої напруги. Для двигуна постійного струму (ДПС) це номінальна напруга живлення, для СД - напруга збудження ротору з урахуванням регулювання струму у заданих межах.

Відповідно потужність ТП визначається напругою  $U_d$  і струмом якорю ДПС або збудження СД (з урахуванням регулювання струму у заданих межах)

Вибір тиристорів включає:

- розрахунок струму через тиристор  $I_{VS}$  відповідно струму навантаження ТП для конкретної схеми випрямлення;

- попередній вибір за струмом  $I_{0СПРМАХ} \geq I_{VS}/K_0$ , де  $K_0$  - коефіцієнт, що залежить від умов охолодження\*) (при примусовому охолодженні  $K_0=0,8-1,0$ , при природному для струмів до 50 А прийняти  $K_0=0,5$ , для струмів 50-160 А прийняти  $K_0=0,4$ , для струмів 160-500 А прийняти  $K_0=0,3$ ),

- розрахунок за зворотною напругою (для конкретної схеми випрямлення).

\*)- при малих і середніх потужностях з метою спрощення конструкції ТП можна застосовувати природне охолодження тиристорів при використанні стандартного охолоджувача.

Для вибору трансформатора необхідно згідно  $U_{d0}$  визначити напругу  $U_2$  на вході ТП (отримане значення прийняти за номінальне для вторинної обмотки) та його потужність  $S$  (табл.4.1 у [2]). Вибір типу трансформатора здійснити за потужністю  $S$  за [4, 6],  $S_{НОМ} \geq S$ .

Дросель, що згладжує, у колі випрямленого струму встановлюється за одержанням необхідних показників згладжування випрямленого струму.

Необхідне значення індуктивності  $L_d$  у колі постійного струму з урахуванням припустимого рівня пульсацій  $I_{ПУЛЬС}$  (прийняти 5 - 10% від номінального струму):

$$L_d = U_{ПУЛЬСМАХ} / (m \omega_0 I_{ПУЛЬС}),$$

де:  $m$  - число пульсацій;

$\omega_0$  - кутова частота основної гармоніки (мережі);

$$U_{ПУЛЬСМАХ} = 2U_{d0} [\sqrt{1 + m^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_{\max}}] / (m^2 - 1);$$

Значення  $\alpha_{\max}$  визначити з умови, що вихідна напруга, коли забезпечується заданий рівень пульсацій ТП дорівнює номінальній ( $U_d(\alpha) = U_{d0} \cdot \cos \alpha$ ).

Індуктивність дроселя  $L_{ДР} = L_d - L_H$  ( $L_H$  - індуктивність навантаження). Для двигуна постійного струму індуктивність якорного кола:

$$L_{Я} = L_H = 0,55 \cdot U_{НОМ} \cdot 30 / (\pi I_{ЯНОМ} \cdot n_{НОМ} \cdot p),$$

де:  $p$  – кількість пар полюсів ДПС. Для СД  $L_H = L_p$ .

Довідкові дані для вибору дроселя можна знайти в [4, 6].

Виконати розрахунок регулювальної характеристики  $U_d(\alpha)$  у режимі роботи з безперервним струмом:  $U_d(\alpha) = U_{do} \cdot \cos \alpha$ . Визначити діапазон регулювання  $\alpha$  для забезпечення необхідних значень вихідної напруги (згідно діапазону регулювання швидкості або струму збудження).

Розрахунок зовнішньої характеристики ТП  $U_d(I_d)$  при безперервному струмі навантаження виконується відповідно до виразу (при  $\alpha=0$ ):

$$U_d = U_{do} - U_{mo} - (mX_a/2\pi + R_\phi)I_d,$$

де  $U_{mo}$  – втрати напруги на тиристорі згідно довідковим даним (для мостових схем враховувати два тиристири);

$R_\phi = R_{TP} + R_{дин} + R_{др}$  – за трифазної нульової схеми;

$R_\phi = 2(R_{TP} + R_{дин}) + R_{др}$  – за трифазної мостової схеми;

де  $R_{TP}$ ,  $R_{дин}$ ,  $R_{др}$  – активні опори трансформатора, тиристора і дроселя;

$R_{дин}$ ,  $R_{др}$  – визначити за довідковими даними;

$X_a$  – “анодний” індуктивний опір мережі живлення змінного струму у даному випадку це трансформатора ( $X_{TP}$  визначити згідно його схемі заміщення).

Величина  $mX_a/2\pi$  визначає втрати напруги через перекриття тиристорів у процесі комутації і виявляє себе як еквівалентний активний опір.

Активний та індуктивний опори трансформатора згідно його паспортним даним:

$$Z_{TP} = u_K \cdot U^2_{ном} / (100 \cdot S_{ном}), \quad R_{TP} = P_K \cdot U^2_{ном} / S^2_{ном}, \quad X_{TP} = \sqrt{(Z^2_{TP} - R^2_{TP})}$$

Довідкові дані до вибору автоматичних вимикачів і запобіжників (для індивідуального захисту тиристорів рекомендується використовувати спеціальні - швидкодіючі типу ПП57) можна знайти в [6] (стор.182 і стор.199). Вимикачі встановлюються на вході трансформатора відповідно струму первинної обмотки  $I_1$ , після трансформатора (вхідний струм ТП  $I_2$ ) та в колі навантаження.

Визначити коефіцієнт потужності ТП, що відповідає:

- для варіанту А номінальному режиму роботи двигуна;
- для варіанту В - швидкості 0,8 від номінальної при номінальному завантаженні.

Коефіцієнт потужності ТП:

$$\chi = Ki \cdot \cos \varphi_{(1)} = Ki \cdot \cos(\alpha + \gamma/2), \quad \varphi_{(1)} = (\alpha + \gamma/2)$$

де  $Ki$  - коефіцієнт викривлення форми струму;

$\alpha$  - кут керування.

Коефіцієнт викривлення залежить від числа фаз перетворення  $m$ :

$$m = 3 \quad Ki = 0,935$$

$$m = 6 \quad Ki = 0,955.$$

Кут комутації  $\gamma$ :

$$\gamma = \arccos[\cos \alpha - \pi X_a \cdot I_d / (U_{do} \cdot m)] - \alpha.$$

### Варіант С.

Використовується перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму і автономним інвертором напруги (АІН).

Використати трифазний мостовий АІН на транзисторах.

Розглянути два варіанти:

- амплітудне регулюванням АІН для чого використати керований випрямляч (ТП) за трифазною мостовою схемою;
- АІН з широтно - імпульсною модуляцією (ШІМ) має на вході некерований випрямляч.

Розрахунок струмів і напруги в схемі виробляється за основною гармонікою.

Максимально можлива вихідна напруга АІН при з'єднанні навантаження за схемою «Y»:

- при амплітудній модуляції  $U_{НЛ} = 0,78U_d$  ( $U_d$  – постійна напруга на вході АІН);
- при векторній ШІМ  $U_{НЛ} = 0,707U_d$ .

Розрахунок струму  $I_d$  на вході АІН для номінального режиму можна виконати з умови рівності активної потужності на вході і виході АІН (втратами в схемі АІН нехтуємо):  $P_H = P_d = U_d I_d$  ( $P_H = P_{ИНОМ}$  - потужність, що споживається двигуном у номінальному режимі).

Розрахунок ТП і трансформатора на вході АІН виконати аналогічно варіанту А.

Силкові транзистори IGBT вибрати [4] згідно амплітуді струму навантаження і допустимому перевантаженню за струмом (для АД прийняти  $I_{vm} = 2I_{АДm}$ ), за напругою не менш як з двократним запасом відносно  $U_d$ .

Середнє значення струму діодів зворотного мосту при амплітудному регулюванні

$$I_{VDCP} = I_d (1 - \cos\varphi) / \pi,$$

де  $\varphi$  - кут зсуву перших гармонік напруги і струму навантаження,

$$\gamma = \operatorname{tg}\varphi \cdot \ln[(4a-5)/(a-2)], \quad a = \exp(-\pi/3 \operatorname{tg}\varphi).$$

Ємність вхідного конденсатора з умови обмеження коливань напруги на вході АІН на рівні (до 5%)  $q = \Delta U_d / U_d \leq 0.05$ :

$$C \approx I_{vm} \cdot \sin\varphi / (48fU_d \cdot q).$$

При використанні ШІМ середнє значення струму через зворотний діод для найбільш важкого режиму роботи на низькій частоті:  $I_{VDCP} = I_{vm} \cdot (1 - \mu) / 2$  ( $\mu$  - коефіцієнт модуляції для мінімального значення частоти).

Навести діаграми вихідної напруги АІН (можна використати модель на ПК).

## 4.4. Синтез мікропроцесорної системи керування

### 1. Завдання

Для автоматичного програмного керування деяким технологічним об'єктом (ТО) застосовано мікроконтролер (МК) типу PIC16F87X. Зв'язок з зовнішніми пристроями здійснюється через відповідні порти вводу - виводу (нумерація та призначення виводів МК наведені у додатку 1).

Приклад схеми керування з використанням МК наведено на рис.1.

Для живлення МК (DD1) використовується джерело з напругою 5В (вивід 20 підключено до виводу джерела +5В, а виводи 8, 19 - до виводу -5В, що з'єднаний з спільною точкою схеми Ст). Для підключення котушок реле використовується більш потужне джерело 24В. Частота кварцового генератору G –

10МГц. Схема містить в собі також ряд виконавчих пристроїв (ВП): двигунів (ВП1, ВП2) та електропіч ВП3. Температура нагрівання печі контролюється датчиком, що містить у собі термопару з підсилювачем, що має аналоговий вихід, напруга котрого ( $t^{\circ}$ ) становить 0-5 В. В залежності від типу деталі – температура відрізняється і задається контролером. Вмикання відповідного ВП здійснюється подачею на нього напруги (U) за допомогою електромагнітного реле К1-К3 (контактору) згідно з сигналом з МК. Для сполуки МК з відповідним ВП використовується ключовий підсилювач на транзисторі VT1, у коло колектору якого ввімкнута відповідна котушка реле К1. Деякі прилади можна підключати до порту безпосередньо, якщо струм не перевищує 25мА, наприклад, світлодіод VD2. Струм світлодіоду обмежується резистором R3. Сигнали керування подаються через відповідні лінії порту з кнопок, наприклад SB1, що подає напругу 5В (логічна 1). У відключеному стані SB1 завдяки резистору R4 на вхід подано 0. Для відключення можна використати вхід скидання MCR – кнопка SB2 подає сигнал 0 (з'єднує вхід з спільною точкою)

### Порядок виконання роботи

1.1. Накреслити принципову схему підключення мікроконтролеру у відповідності з варіантом завдання, з підключенням відповідних кнопок керування і пристроїв сполуки з об'єктами керування.

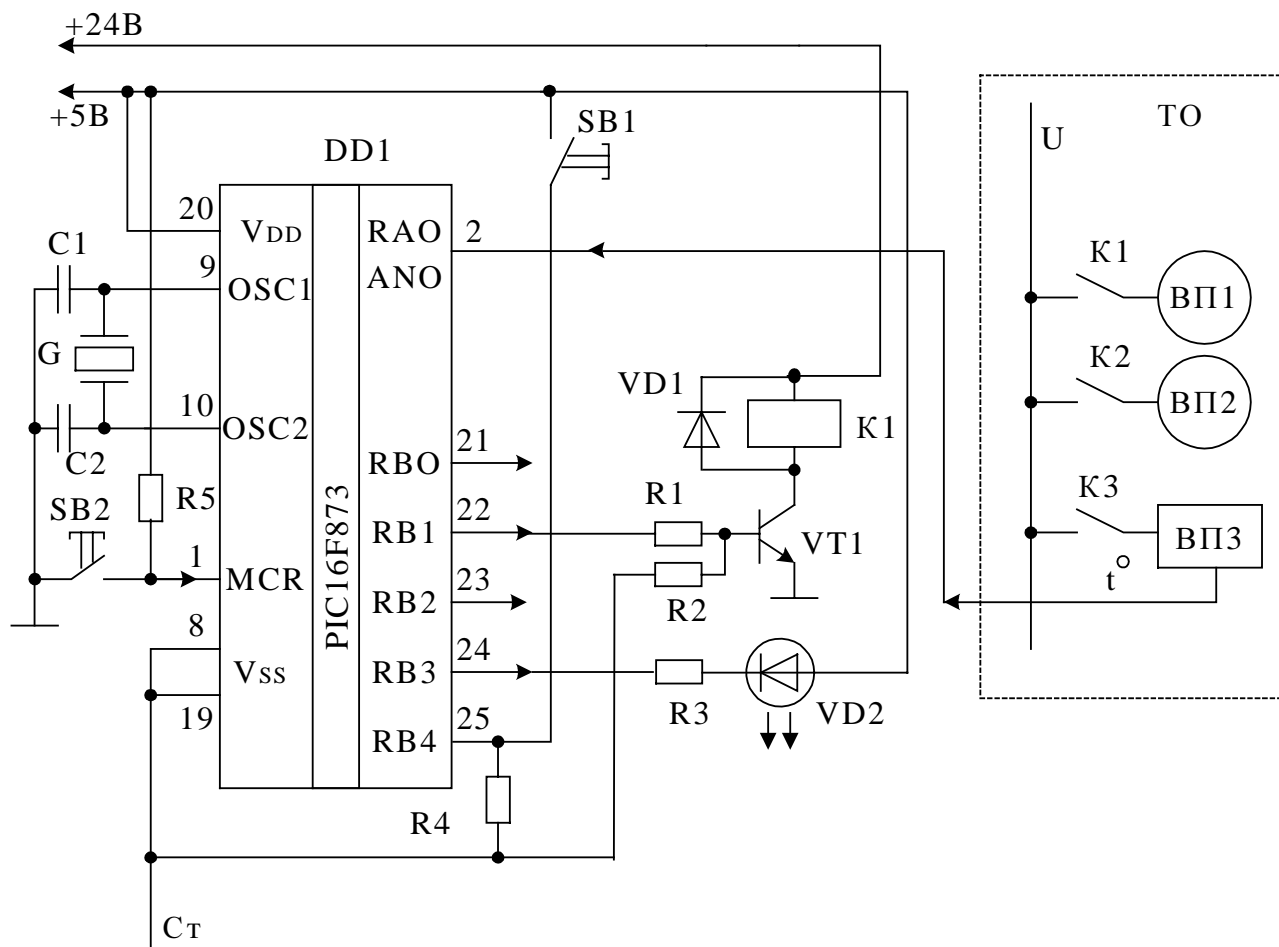


Рис.1. Приклад схеми керування з використанням мікроконтролеру

1.2. Скласти блок-схему програми, що реалізує заданий алгоритм керування.

1.3. У відповідності з блок-схемою написати текст програми на Асемблері з коментарями (адреси переходів замінити позначками).

## 2. Вказівки щодо виконання роботи

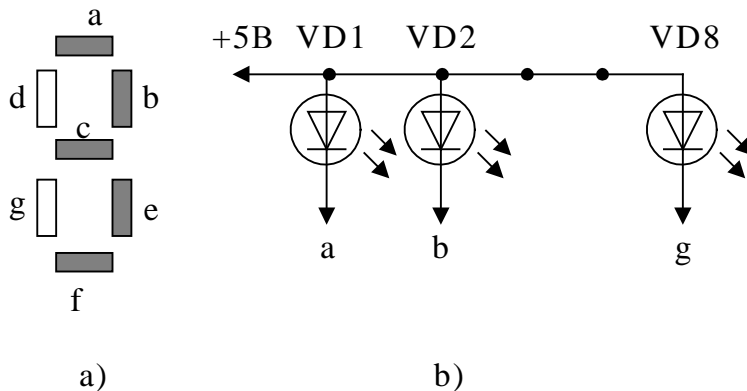


Рис.2. Семисегментний індикатор – а) і  
схема з'єднань світлодіодів – в)

а) виконання програми, звичайно, здійснюється відповідно зовнішнім сигналам (ПУСК, СТОП), що подаються на відповідну лінію порту і зберігаються у відповідному регістрі PORT. Для аналізу сигналу ПУСК (АБО СТОП) можна використати перевірку відповідного біту (розряду) у цьому регістрі.

б) Вмикання і вимкнення ВП здійснюється виведенням через порт байта, відповідний біт якого дорівнює одиниці або нулю.

в) Для реалізації заданої часової затримки за допомогою підпрограми TIME (можна використати підпрограму, що приведена у п.8 [1]) необхідно заздалегідь обчислити константу n, що повинна бути розміщена у регістрі VREM мікропроцесора перед викликом підпрограми.

г) У кінці виконання програми повинно бути передбачене повернення на її початок.

д) Написання тексту програми на Асемблері виконати згідно п.3.2 [1].

### 3. Додаткові вказівки до відповідних варіантів завдання.

**Варіант В.** Для обробки сигналу з давача температури застосувати аналогово - цифровий перетворювач (АЦП), що має 10 розрядів, тобто максимальне число у результаті становить 1023 (діапазон від 0 - 1023). Для укладання відповідної програми доцільно використати приклад у п.8 [1].

**Варіант Е.** Визначити десяткові числа, що відповідають кожному вхідному двійковому коду з 3 розрядів. Згідно рис.2 визначити відповідні комбінації вмикання діодів – сегментів (для вмикання на відповідний вивід індикатора потрібно подати 0). Результати бажано привести у табличній формі.

Комбінації вмикань діодів можна розташувати по черзі у пам'яті даних (ОЗП) починаючи з адреси A0 (згідно карті розподілу пам'яті, що приведена у табл.Д1). Відтоді адреса комбінації, що відповідає конкретному вхідному коду (Д) буде визначатись, як сума  $A=A0+Д$ . Для виводу цієї комбінації у порт доцільно використати посередню адресацію через регістр FSR (п.3.2 у [1]).

2.1. Укладання схеми підключення МК виконати згідно прикладу (рис.1), на схемі навести лише ті виводи, що використовуються.

2.1.1. При укладанні блок – схеми алгоритму необхідно чітко визначити послідовність дій (на рівні окремої операції), що необхідні для реалізації заданого алгоритму. При цьому слід виходити з наступного: