

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять та розрахунково-графічної роботи

з навчальних дисциплін

«ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ»,

«АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ»

*(для студентів 5–6 курсів усіх форм навчання
освітнього рівня «магістр»*

спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)



**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2018**

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та розрахунково-графічної роботи з навчальних дисциплін «Проектування цифрових систем керування», «Аналіз та синтез цифрових систем керування» (для студентів 5–6 курсів усіх форм навчання освітнього рівня «магістр» спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 53 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. С. М. Єсаулов,
канд. техн. наук, доц. О. Ф. Бабічева

Рецензент

А. К. Бабіченко, кандидат технічних наук, професор кафедри «Автоматизація технологічних систем та екологічного моніторингу» Харківського національного технічного університету «ХПІ»

Методичні рекомендації присвячено вивченню компонентів цифрових систем керування, застосовуваних на різних об'єктах транспорту і комунального господарства.

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 2 від 21.09.2017.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	4
РОЗРОБЛЕННЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	6
1 Загальна характеристика технологічного об'єкта або установки.....	6
2 Розроблення функціональної та структурної схем системи автоматизації ТО.....	7
2 Розроблення структурних і функціональних схем компонентів.....	12
2.1 Розрахунок дискретних датчиків.....	12
2.1 Розрахунок дискретних датчиків.....	12
2.2 Розрахунок аналогових датчиків.....	15
2.2 Розрахунок аналогових датчиків.....	15
2.3 Вибір аналогово-цифрового перетворювача.....	16
3 Розроблення структурної схеми цифрового пристрою.....	21
3.1 Цифровий пристрій із дискретними датчиками.....	21
3.2 Цифровий пристрій відображення інформації.....	25
3.2 Цифровий пристрій з аналоговим датчиком.....	25
3.3 Розроблення генератора тактових імпульсів.....	29
4 Проектування пристроїв керування електроприводами.....	31
5 Розробка джерела електропостачання компонентів.....	32
6 Проектування технічного дизайну цифрового пристрою.....	37
7 Економічні показники проектованої системи автоматизації ТО.....	40
ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	46
ДОДАТОК А.....	47
ДОДАТОК Б.....	50
ДОДАТОК В.....	51
ДОДАТОК Г.....	52

ВСТУП

Дискретні пристрої систем автоматичного керування (далі – САК) набувають усе більшого поширення. Пов'язано це насамперед із високим захистом від перешкод (сигнал має або високий, або низький рівень і якщо сигнал перешкоди не перевищує цю різницю, то він зі значною достовірністю може бути переданий від одного джерела до іншого). Крім того, широкому поширенню дискретних пристроїв сприяла елементна база, що інтенсивно розвивається останнім часом (логічні елементи, інтегральні схеми, великі інтегральні схеми (далі – ВІС), мікропроцесори, мікро-ЕОМ). Цифрові пристрої працюють у ключових режимах. Це значно підвищує коефіцієнт корисної дії (далі – ККД) і зменшує потужність, що розсівається і приводить до нагріву елементів схеми. Завдяки цьому цифрові пристрої піддаються мікромініатюризації.

Існують три підходи реалізації дискретних пристроїв:

- апаратний;
- програмний;
- апаратно-програмний.

Апаратний спосіб оснований на жорсткій логіці роботи й має найбільшу швидкодію. Його недолік – індивідуальна структура, що перешкоджає використанню одних і тих самих пристроїв для розв'язання різних завдань.

Програмний спосіб використовує як апаратуру стандартну конфігурацію електронно-обчислювальних машин (далі – ЕОМ). Розробка дискретних пристроїв у такому випадку зводиться до розробки програмного забезпечення. Це дозволяє змінювати програмне забезпечення, не модернізуючи апаратуру, що істотно скорочує термін розробки пристрою. Цей спосіб має найбільшу гнучкість, однак для отримання універсальності в програмні пристрої вимушені вводити надмірність. А це, у свою чергу, приводить до зниження швидкодії системи.

Цифрові засоби автоматики дають можливість значно розширити функціональні можливості систем керування, що пов'язано з реалізацією адаптивних алгоритмів обробки інформації та керування. За характером сигналів системи керування поділяються на дві групи:

- неперервні (аналогові), в яких усі вхідні та вихідні сигнали є неперервними функціями часу;
- дискретні, до яких відносять позиційні (релейні), імпульсні та цифрові, в яких сигнали змінюються стрибкоподібно або є послідовністю імпульсів із змінюваними частотою та (або) амплітудою.

Дискретні системи забезпечують квантування сигналів за рівнем (позиційні), часом (імпульсні) та за рівнем і часом (цифрові). У складі цифрових систем для керування технологічними об'єктами є аналого-цифрові (далі – АЦП) та цифро-аналогові перетворювачі (далі – ЦАП).

Цифрові регулятори можуть виконувати додаткові функції, наприклад, перевірку достовірності сигналів, їх обмеження, обмін інформацією з іншими регуляторами тощо.

Неперервні системи керування здійснювалися і досі ще подекуди здійснюються на базі аналогових технічних засобів автоматизації, так званих локальних регуляторів, які з огляду на технічні обмеження пропонували вузький ряд стандартних лінійних законів регулювання (П – пропорційний, І – інтегральний, ПІ – пропорційно-інтегральний, та із введенням похідної: ПД – пропорційно-диференціальний та ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний), реалізація яких у механічному або ж навіть електронному вигляді завжди пов'язана з вузькоспеціалізованою технічною конструкцією (непридатною до інших застосувань), яка реагувала на певні тільки неперервні (аналогові) діяння.

Особливістю цифрових систем керування порівняно з неперервними є реалізація законів регулювання у вигляді не конструкцій, але алгоритмів, програмно реалізованих на ЕОМ, що обробляють дискретні сигнали, і також наявність у системі відповідних перетворювачів АЦП) та ЦАП. Наприклад, додатково до раніше згаданих, це може бути контроль граничних значень сигналів, перехід до обробки інших керованих або регульованих величин, обмін інформацією з іншими регуляторами, взаємне резервування, автоматичне діагностування і тощо.

При автоматизації виробничих процесів и установок спеціалісти з автоматизації повинні працювати в новому інформаційному просторі, що вимагає від них знань, потрібних при роботі для автоматизації обладнання та технологічних процесів як об'єктів керування та застосування комп'ютерних технологій, і не в останню чергу знань про цифрові системи керування.

Зміст методичних рекомендацій містить матеріали, що стосуються загальних положень теорії цифрових систем керування, частину, що присвячену аналітичному конструюванню спеціальних цифрових регуляторів, їх реалізації та застосуванню.

Автори методичних рекомендацій мають надію, що дане видання буде корисним для становлення студентів-автоматників в якості фахівців з автоматизації технологічних об'єктів керування та їх комплексів на базі цифрових технологій.

РОЗРОБЛЕННЯ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

1 Загальна характеристика технологічного об'єкта або установки

Відповідно до індивідуального завдання вибрати варіант технологічного обладнання або установки і виконати аналіз науково-технічної літератури, що відбиває призначення, пристрій і принцип його дії.

Відзначити допустимі відхилення технологічних величин і недоліки при ненормованих умовах експлуатації технологічного об'єкта (далі – ТО).

Таблиця 1.1 – Приклад вибору технологічних величин і точності їх вимірювання при різних режимах експлуатації ТО

Режим	Струм, А	Точність виміру, А	Напруга, В	Точність, В	Швидкість, обер./хв.	Точність, обер./хв.
min	45	+/-4	290	+/-25	375	+/-100
nom	50	+/-4	380	+/-25	950	+/-100
max	60	+/-4	420	+/-25	1500	+/-100

Приклад вибору прийомних елементів:

Датчик струму LF 505-S/SP23 фірми OLEM розрахований на номінальний струм 500А, коефіцієнт перетворення 1:5000, вага 230 г; датчик напруги DVL 1500/SP5 – на номінальну напругу 1500В, 720 г; датчик швидкості GEL2476 фірми LENORD діапазон виміру 0 – 25кГц, напруга живлення 10 – 30 В, клас захисту IP68; датчик-реле температури ТДМ-102 діапазон вимірювання $+10 \div 140^{\circ}\text{C}$ при температурі навколишнього середовища $-50 \div +70^{\circ}\text{C}$, маса до 1кг, ступінь захисту IP64.

У відсотковому співвідношенні приймаємо для контуру струму 85 % – номінальний; 100 % – максимальний; >100 % – STOP. Для контуру напруги 75 % – номінальний; 85 % – підвищене; 100 % максимальне; >100 % – STOP. Для контуру швидкості 49 % – номінальний; 70 % – підвищене; 85 % – небезпечно; 100 % – максимальне; >100 % – генераторний режим. Для контуру температури нижня межа 50 градусів, а верхня 140, отже, діапазон температур становить 90 градусів. Тоді приймаємо: 47 % – номінальний; 72 % – підвищене; 89 % – небезпечно; 100 % – в короткочасному режимі; 108 % – STOP.

Накреслимо шляхи усунення недоліків при експлуатації ТО за допомогою засобів цифрового автоматизації.

Сформулюємо мету і завдання вдосконалення ТО, вирішення яких можливе за допомогою цифрової системи автоматизації технологічних процесів.

Приклад.

Мета: запропонувати цифровий пристрій автоматизації для підвищення надійності роботи електрообладнання при змінних навантаженнях.

Завдання:

1. На підставі аналізу технічної літератури виявити недоліки розглянутого ТО або установки із зазначенням критичних параметрів і допустимих інтервалів їх варіювання.

2. Запропонувати функціональну схему пристрою автоматики для підвищення надійності роботи ТО при різних температурах навколишнього середовища.

3. Виконати вибір серійних приймальних елементів або запропонувати оригінальні засоби контролю технологічних величин із заданою точністю їх вимірювання.

4. Запропонувати варіанти компонентів для реалізації функціональної схеми цифрової автоматизації ТО або установки.

5. Розробити джерело електроживлення для синтезованого пристрою цифрової автоматики від мережі й автономного джерела енергопостачання.

6. Запропонувати технічний дизайн пропонованого керуючого пристрою стосовно до конкретного ТО або установки.

7. Виконати попередній економічний аналіз пропонованого технічного рішення з використанням власних експериментальних або відомих даних.

2 Розроблення функціональної та структурної схем системи автоматизації ТО

Функціональні схеми роз'яснюють певні процеси, що протікають в основних і допоміжних компонентах систем керування, які визначають функціонально-блокову структуру всіх вузлів і елементів.

Функціональні властивості компонентів систем керування повинні забезпечувати контроль, вимірювання і відображення технологічних величин, збереження інформації в реальному часі, формування керувальних величин в автоматичному і ручному режимах, передачу аналогових і цифрових даних на відстань, сигналізацію, блокування, реалізацію алгоритмів у критичних ситуаціях тощо. Головні функціональні властивості наведені в таблиці 1.2 [1].

Таблиця 1.2 – Умовні позначення функціональних ознак пристроїв

Функціональна ознака	Позначення
Показувальний	I
Реєструвальний	R
Регулювальний	C
Перетворювальний, обчислювальний	Y
Сигналізувальний	A
Приймальний елемент	E
Задавальна верхня межа	H
Задавальна нижня межа	L
Дистанційна передача	T
Програмний	K
Станція керування	S
Формування бінарної величини	B0
Перетворення бінарної величини	Bi
Інші	Резервні букви

Під час проектування цифрових систем керування використовують: опис ТО і роботи технологічного обладнання з характеристиками обладнання технологічних процесів тощо (рис. 1.1, 1.2).

Кожен комплект компонентів, що входить в єдиний керувальний пристрій, називають *контуром керування* та означають його відповідним номером (рис. 1.3).

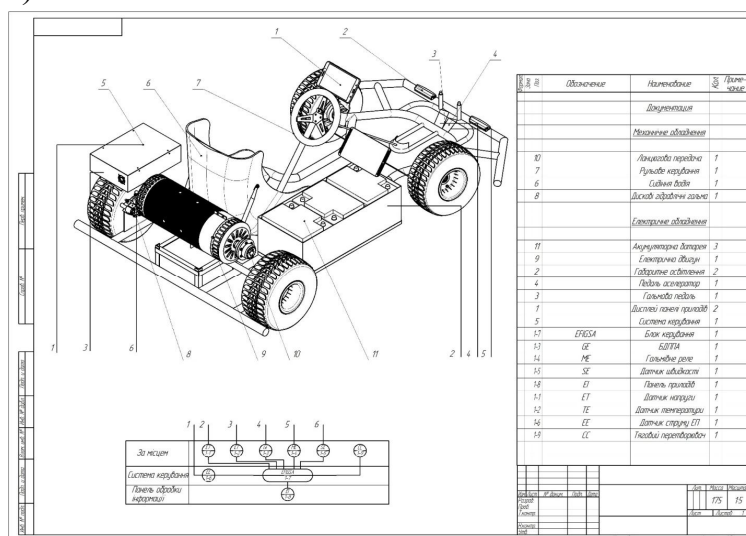


Рисунок 1.1 – Приклад функціональної схеми транспортного засобу

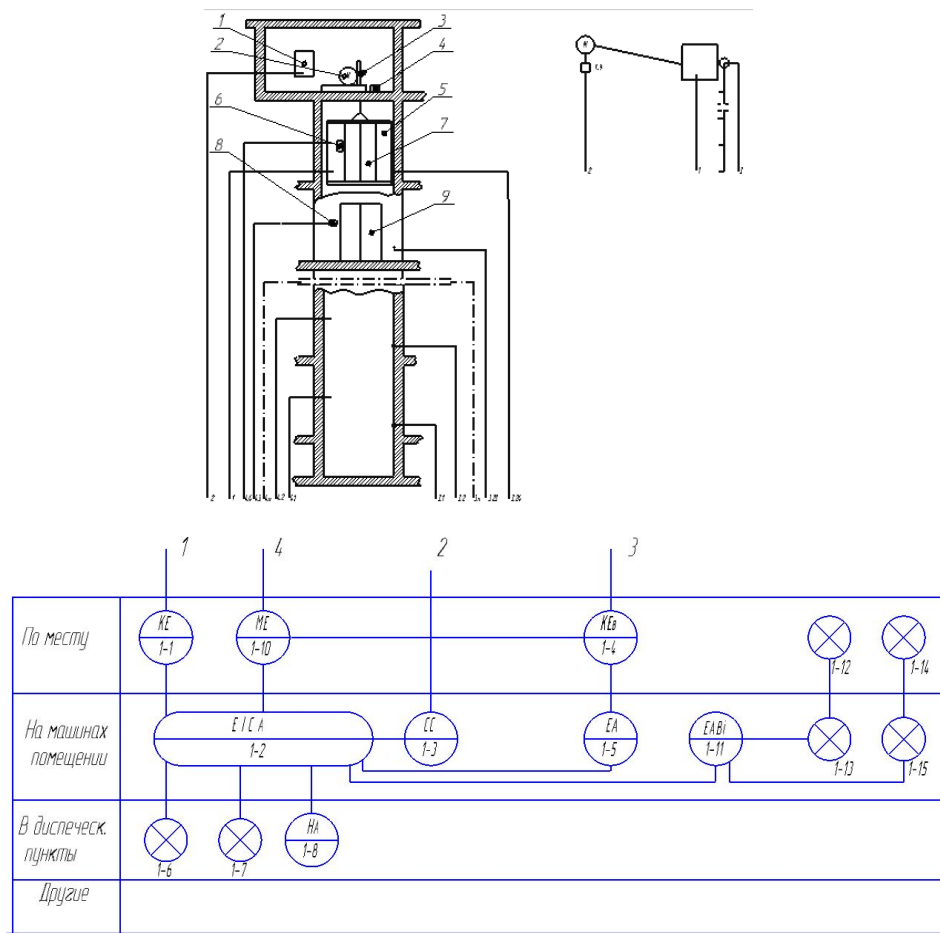


Рисунок 1.2 – Приклад функціональної схеми електромеханічного пристрою

Графічне зображення частин цифрової системи керування, які взаємопов'язані між собою за певною ознакою та шляхами передачі дій називають *структурною схемою* цифрової системи керування.

На структурних схемах елементи автоматичних систем зображають квадратами або прямокутниками, в які вписують умовні позначення компонентів (наприклад, *ПЕ* – приймального, *ПрЕ* – проміжного, *ВЕ* – виконавчого, *ЗЕ* – задавального (здатчик) елементів тощо). Елементи, що підсумовують, зображають у вигляді кола, розділеного на сектори.

У процесі розроблення структурних схем враховують особливості елементів. Так, якщо *ВЕ* не є простим перетворювальним підсилювальним елементом, а в динамічному плані є складнішою ланкою (інтегрувальним, аперіодичним тощо), то її динамічні властивості обов'язково використовують під час формування закону регулювання, а на структурних схемах особливості *ВЕ* обов'язково потрібно відмітити (рис. 1.3, 1.5).

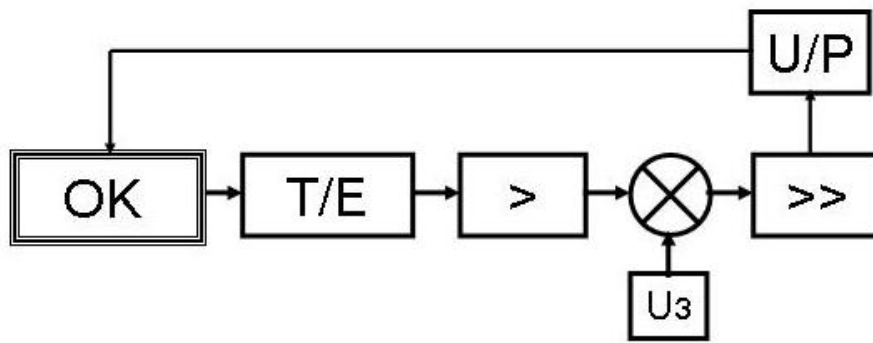


Рисунок 1.3 – Структурна схема цифрової системи керування:
 ОК – об’єкт керування; Т/Е – датчик-перетворювач (параметр – ЕРС);
 > – підсилювач напруги; >> – підсилювач потужності; ⊗ – елемент порівняння (суматор); U₃ – задатчик; U/P – виконавчий елемент (електричний сигнал – механічна дія)

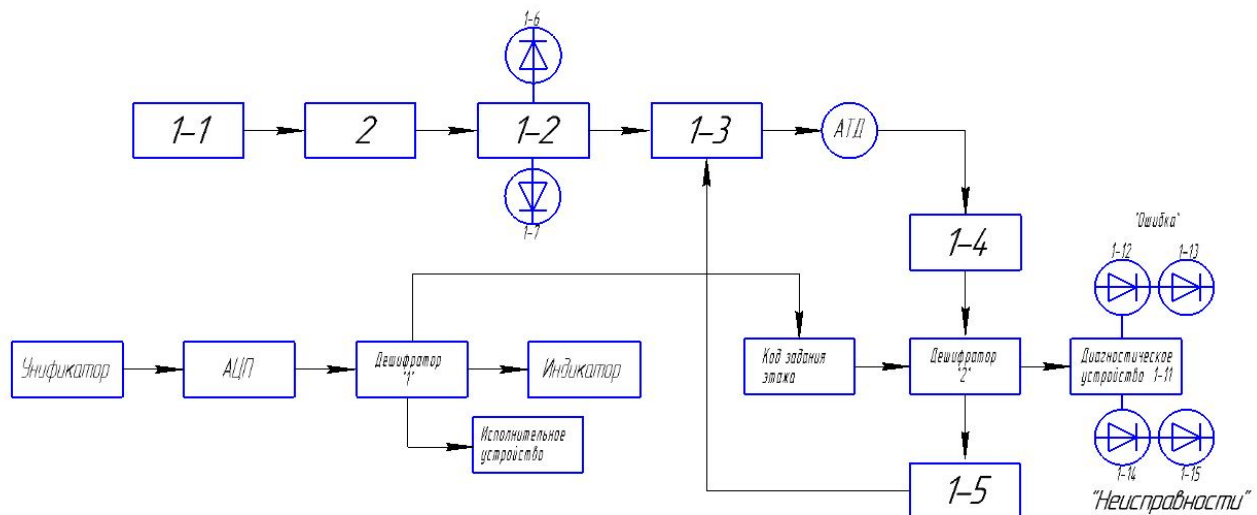


Рисунок 1.4 – Фрагмент структурної схеми цифрової системи керування

На підставі отриманої структурної схеми й алгоритму роботи елементів системи формулюються технічні вимоги до всіх компонентів схеми, що реалізують окремі функції. Узгодженість роботи компонентів у процесі обробки інформаційних сигналів і взаємному обміні результатами перетворень інформації висовують певні технічні вимоги до кожного функціонального вузла. У зв'язку з цим для реалізації схеми можна застосувати або готові блоки в інтегральному виконанні, або синтезувати їх із простих елементів. Подібний синтез виробляється, наприклад, за допомогою алгебри логіки, використовуваної для отримання описів функціональних залежностей і побудови еквівалентних схем. Якщо синтезовані схеми мають незадовільні

результати розробник повинен уміти вибрати інший найбільш прийнятний варіант рішення поставленої задачі. Тому проектувальник повинен уміти працювати з алгеброю логіки, знати головні цифрові елементи, уміти їх застосовувати, а також володіти засадами вирішення найпоширеніших алгоритмів перетворення аналогової, дискретної та цифрової інформації. Знання найпоширеніших інженерних прийомів у проектуванні пристроїв дають змогу відразу скористатися готовою схемою, не займаючись даремною роботою.

Необхідно зазначити, що реалізація схеми набагато складніша, ніж просте рішення задачі в алгебрі логіки та наборі отриманої функції з логічних елементів. Насправді, навіть найпростіші елементи, необхідно включати за певною схемою, знати призначення всіх виводів. Необхідно знати, чим розрізняються елементи в межах серії.

Розуміння внутрішньої логіки мікросхеми особливо важливо саме для фахівців з автоматики і промислової електроніки, оскільки цифрові мікросхеми спочатку створювалися для виконання строго певних функцій у складі цифрових пристроїв керування (далі – ЦПК).

У пристроях цифрових систем керування елементи, що серійно випускаються, зазвичай виконують функції, не заплановані свого часу їх розробниками, і грамотне використання мікросхем у цих випадках безпосередньо залежить від розуміння логіки їхньої роботи.

Хороше знання тонкощів функціонування схем вузлів стає особливо необхідним і для пошуку несправностей, коли потрібно визначити, чи є несправність у цьому вузлі або ж на його вхід надходять комбінації сигналів, на які схема вузла не призначена.

З цієї причини в сучасних ЦПК передбачають додаткові діагностичні пристрої, для реалізації тестів компонентів схем у реальному часі. Для освоєння прийомів технічної діагностики для застосування їх у проектованому пристрої може допомогти програма SinSys (рис. 1.5).

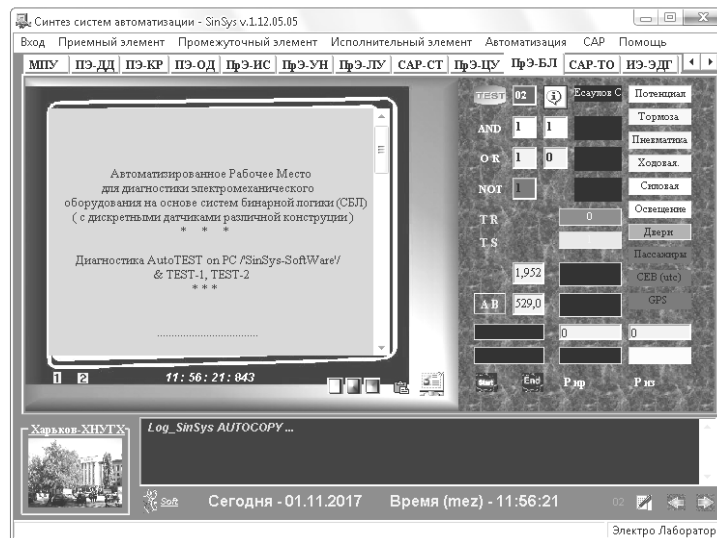


Рисунок 1.5 – Приклад застосування логічних схем для діагностики електрообладнання на транспорті

2 Розроблення компонентів пристрою автоматики

Процес вимірювання починається зі сприйняття вимірюваних величин і формування вимірювального сигналу, який далі необхідно перетворити. Оскільки ці процеси нерозривно пов'язані, то передусім вибираються приймальні елементи (датчики), аналогові або дискретні сигнали з яких здебільшого визначають структурні схеми перетворювачів інформаційних сигналів.

Головною властивістю датчика є його сприйняття технологічного параметра і представлення його в зручний інформаційний електричний сигнал для подальших дій над ним.

2.1 Розрахунок дискретних датчиків

Для контролю електричних величин, що змінюються в значних межах (номінальний режим, коротке замикання, відсутність навантаження) конструюють схеми, що забезпечують струмобмежувальні умови експлуатації фотовипромінювача. Реалізацією принципу такого рішення може бути схема (рис. 2.1, 2.2).

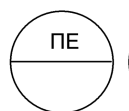


Рисунок 2.1 – Функціональний елемент на схемі

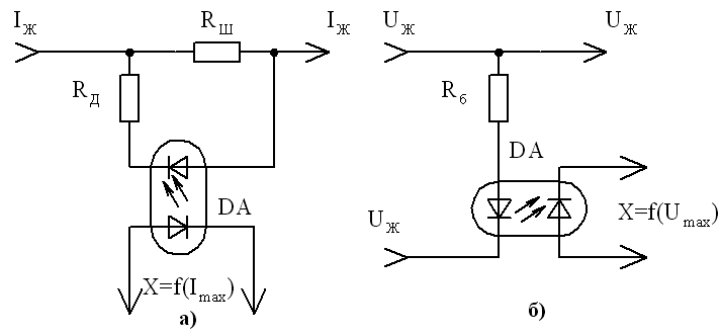


Рисунок 2.2 – Схемы оптических устройств для контролю электрических величин:
а – электронный амперметр; б – электронный вольтметр

Використовуючи програму SinSys «ПЭ-ОД» (рис. 2.3), можна швидко розрахувати оптичні приймальні елементи, використовувані для безконтактного дискретного контролю напруги і струму в електричних ланцюгах.

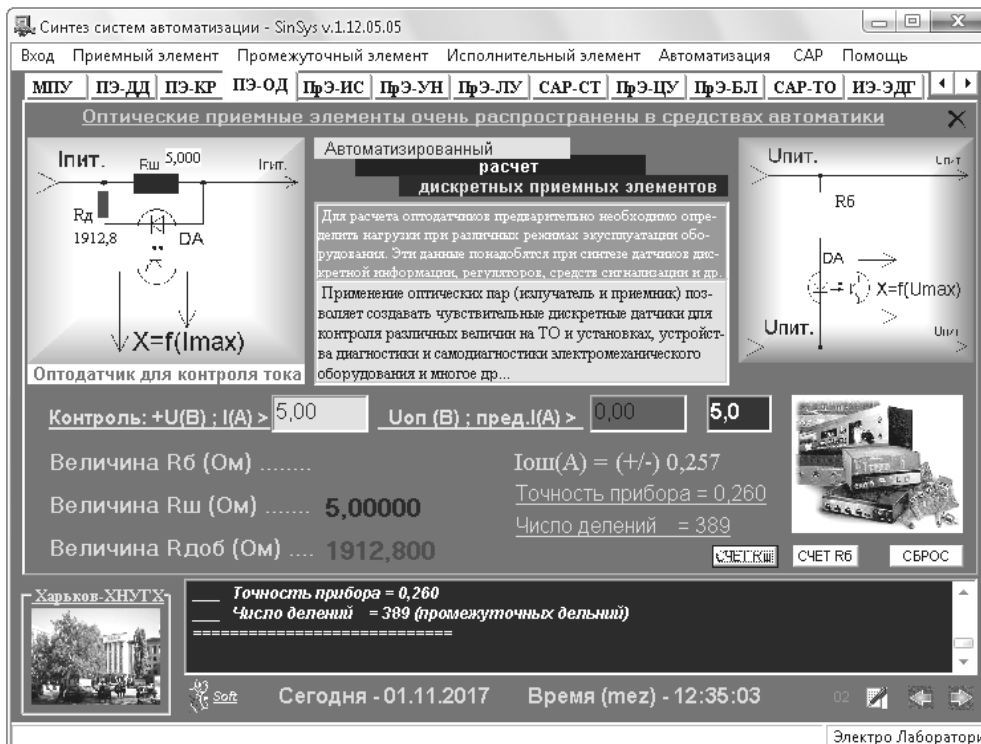


Рисунок 2.3 – Програма розрахунку дискретних оптичних датчиків

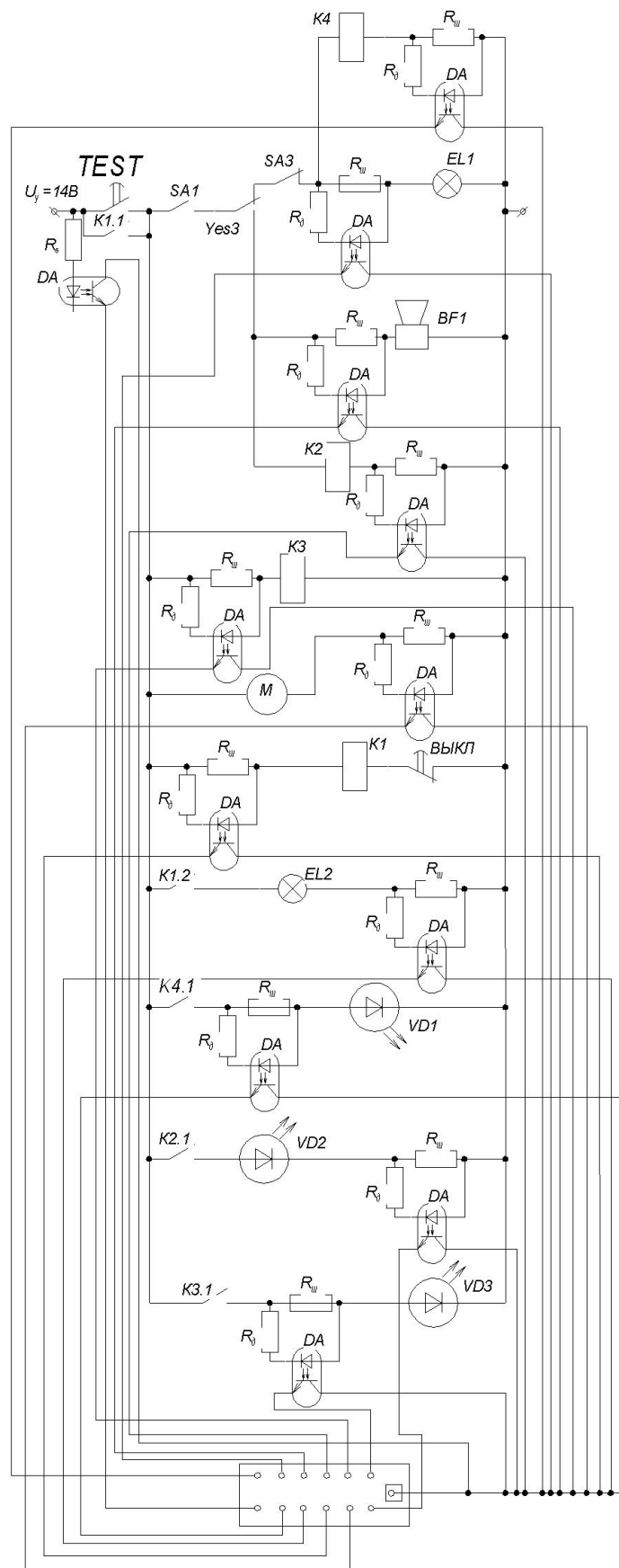


Рисунок 2.4 – Приклад використання оптичних датчиків

При автоматизованому розрахунку за допомогою програми «SinSys» дискретних приймальних елементів важливо враховувати точність вимірів контрольованих параметрів, що досягається вибором компонентів дискретного приймального елемента.

2.2 Розрахунок аналогових датчиків

Для більшості аналогових датчики використовуються вимірювальні схеми, нормалізатори сигналів (1,25 В; 2,5 В; 5 В; 10 В) і цифрові пристрої перетворення аналогового сигналу в цифровий код за допомогою однойменного аналогово-цифрового перетворювача (далі – АЦП).

Програма та результат розрахунку вимірювальної схеми й нормалізатора наведена на рисунках 2.5 – 2.7 відповідно.



Рисунок 2.5 – Функціональний елемент на схемі

ФОРМИРОВАТЕЛЬ АНАЛОГОВОГО ИНФОРМАЦИОННОГО СИГНАЛА
В системах автоматики часто используются аналоговые ПЭ. Для их подключения разрабатываются специальные измерительные МОСТОВЫЕ схемы. Расчет схем позволяет получить определенные свойства информационного датчика.

ВВЕДЕМ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

Напряжение ИП схемы моста, Упит., В 5
 Величина тока через резистивный датчик I_t , А 0.005
 Сопротивление датчика R_t max., Ом 42.9971
 Сопротивление датчика R_t min., Ом 400
 Линия связи R_l , Ом 3.4
 $R_1=R_2$, Ом 80.536
 $R_{вых.}$, Ом 400
 $n = 10$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

Резистор R_d 865.41 Ом
 $U_{вых.min}$ -0.029043 В
 $U_{вых.max}$ 0.058031 В
 $U_{вых} = f(T, R_t)$ 0.087073 В

РАСЧЕТ ТАБЛИЧНЫХ ДАННЫХ

$U_{пит}(В)=5$; $R_t(Ом)=88,5154$; $T(град.С)=110$; $U_{вых} = f(T, R_t)$ 0,087073 В

Сегодня - 29.04.2011 Время (mez) - 19:29:31

Рисунок 2.5 – Програма розрахунку вимірювальної схеми

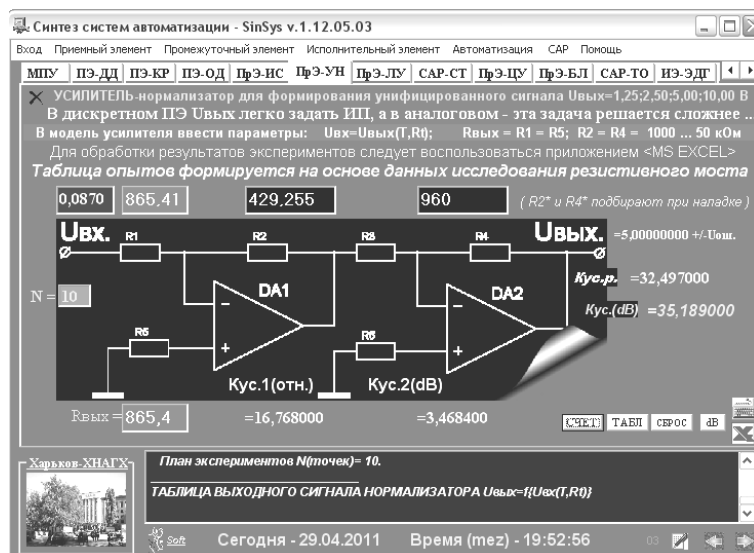


Рисунок 2.6 – Програма розрахунку нормалізатора сигналу

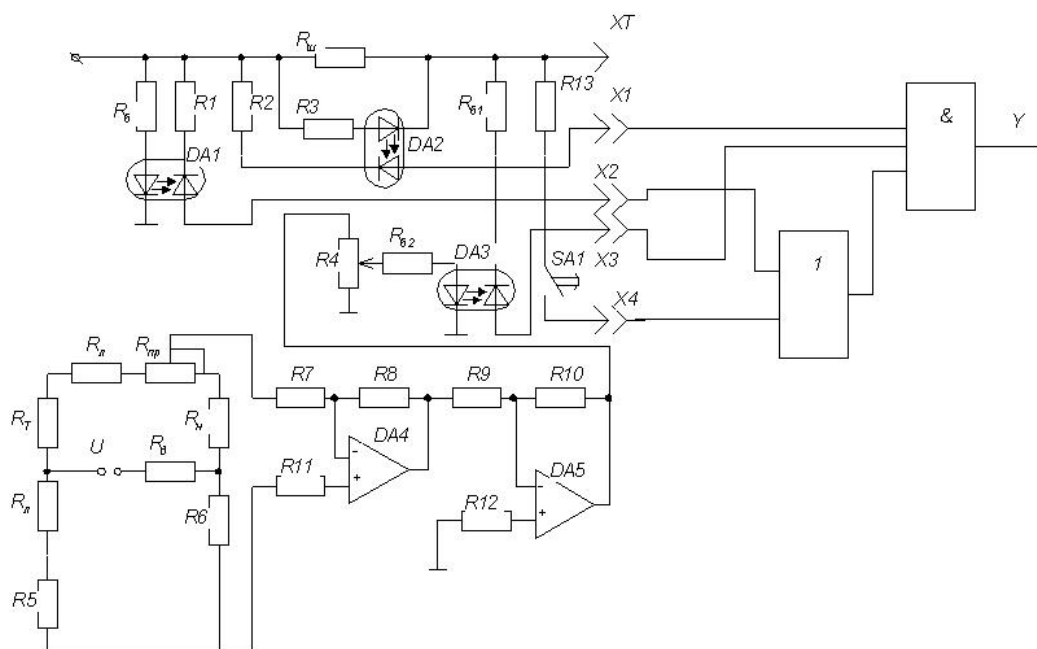


Рисунок 2.7 – Приклад використання аналогового і дискретних оптичних датчиків

2.3 Вибір аналогово-цифрового перетворювача

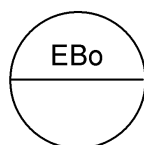


Рисунок 2.8 – Функціональний елемент на схемі

АЦП виконує перетворення аналогової величини в цифровий код. Вибір типу АЦП треба робити, виходячи з мети його застосування з урахуванням таких найбільш важливих характеристик:

– *дозволяюча здатність* – це мінімальне значення аналогового сигналу, яке може розпізнаватися перетворювачем:

$$\Delta U = \frac{|U_2 - U_1|}{2^n}, \quad (2.1)$$

де ΔU – дозволяюча здатність, В;

U_1, U_2 – початкове й кінцеве значення діапазону вхідного аналогового сигналу, В;

n – розрядність АЦП;

– *точність* (методична похибка) – у процесі квантування вхідного сигналу за рівнем відбувається його округлення до найближчого молодшого розряду цифрового коду, тобто виникає похибка квантування, що знаходиться у межах $\pm 0,5\Delta U$;

– *час перетворення* (період квантування) Δt – проміжок часу, необхідний для перетворення в цифрову форму одного значення вхідного сигналу.

У промисловості рідко застосовують АЦП з розрядністю вище 12. Це пов'язано з тим, що індикатори друку результатів обмежують цю точність своїм дозволом на екранах або форматах друкарських аркушів.

Сучасні АЦП працюють за допомогою імпульсно-кової модуляції. Безперервний сигнал представляється у вигляді послідовності відліків, які беруться через певний проміжок часу (з певною частотою дискретизації). Цю функцію виконує пристрій вибірки-зберігання. Запам'ятовуючи миттєве значення вхідного сигналу від ПЕ, цей пристрій забезпечує зберігання величини, відлік часу процесу оцифрування і уявлення амплітуди у формі кодового слова з певною кількістю розрядів.

Існує декілька способів формування вихідного коду АЦП. Найбільший розвиток одержали послідовні АЦП з ЦАП в ланцюзі негативного зворотного зв'язку (далі – НЗЗ). Прикладом такого пристрою може служити АЦП (рис. 2.5), що складається з компаратора DA1 і схеми керування $F(t)$ або цифрового автомата.

В основі роботи такого АЦП лежить принцип порівняння вхідного сигналу $U_{вх}$ з вихідним сигналом ЦАП U_{DA2} на виході операційного підсилювача DA2 (суматора). При рівності сигналів U_{DA2} і $U_{вх}$ компаратор

DA1 формує логічний сигнал, що зупиняє процес урівноваження. При цьому на виході АЦП буде сформований N – код, відповідний вхідної напруги:

$$U_{ex} = U_{on} * N / N_0, \quad (2.2)$$

де U_{on} – напруга початку шкали відліку;

N_0 – код початку шкали відліку;

N – код вимірюваної величини.

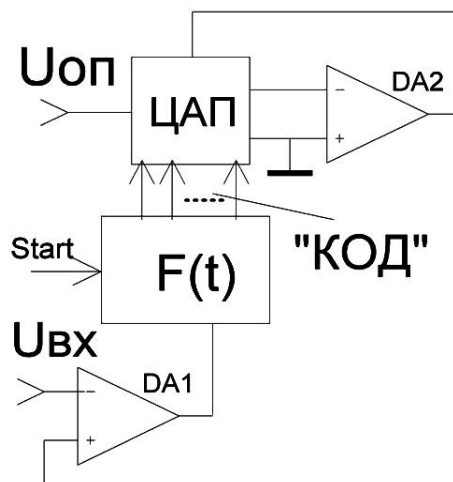


Рисунок 2.9 – Схема АЦП:

$DA1$ – компаратор; $DA2$ – суматор; $F(t)$ – цифровий автомат

Статична похибка таких АЦП визначається похибкою ЦАП і компаратора.

Залежно від способу врівноваження шуканої величини існують різні АЦП, наприклад, розгортаючого, стежачого і порозрядного врівноваження.

Резистори вимірювальної схеми підібрані таким чином, що вихідний сигнал $U_{вих}$ пристрою при замиканні будь-якого ключа змінюється на величину, еквівалентну ваговому коефіцієнту, тобто

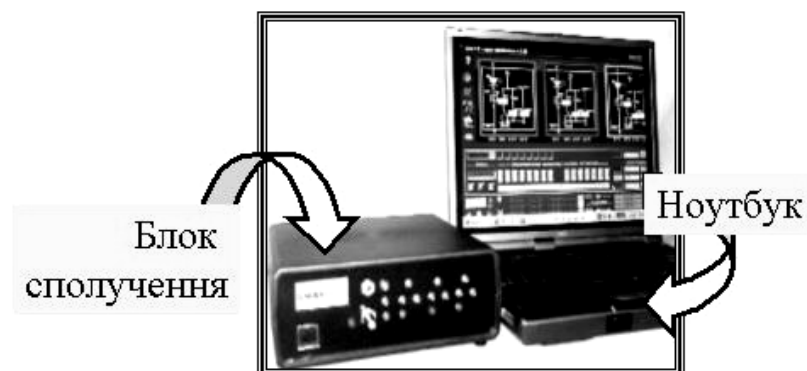
$$U_{вих} = \Delta U (D_{n-1} * 2^{n-1} + D_{n-2} * 2^{n-2} + \dots + D_1 * 2^1 + D_0 * 2^0). \quad (2.3)$$

Таким чином реалізується принцип підсумовування аналогових величин, пропорційних вагам розрядів вхідного цифрового коду, розрядні коефіцієнти яких рівні одиниці. Пример чотирирозрядного АЦП ілюструє рисунок 2.10.

ПЕ ЦАП може служити типовий трансформатор струму або оптичний перетворювач $DA2$. ПЕ ступінчастого типу на оптоперетворювачах найбільш поширені в сучасних системах автоматики. Аналоговий сигнал з датчика $DA2$

The circuit diagram illustrates a neural network model for the XOR problem. The input is $+U$, which is connected to a network of resistors ($R1$ through $R11$), capacitors ($C1$ through $C5$), and diodes ($DA1$, $DA2$). The circuit includes three digital delay elements ($DD1$, $DD2$, $DD3$) and four digital delay elements ($DD4$, $DD5$, $DD6$). The output is $P(x)$.

Приклад реалізації цього пристрою ілюструє стенд на рисунку 2.11.



19

Програма «SauTP» для АРМ оператора ТП реалізує наступний алгоритм:

- 1) контроль величини струму в лініях контактної мережі (передбачено три лінії);
- 2) відключення випрямного агрегату ТП від контактної мережі при короткому замиканні або перевищенні допустимого значення струму в лінії;
- 3) діагностику контактної мережі при відключеному випрямному агрегаті;
- 4) запуск автоматичної системи повторного включення (АПВ-1) з регульованою часовою затримкою;
- 5) при неусувних неполадках в лінії включається друга часова затримка системи повторного включення (АПВ-2);
- 6) при неусувних неполадках система діагностики продовжує контролювати стан ураженої контактної мережі після реалізації класичних варіантів АПВ-1 і АПВ-2 (реалізує АПВ-3, АПВ-4 ...АПВ-N);
- 7) при усуненні неполадок в лінії забезпечується формування керуючого сигналу, що поступає на відповідний лінійний вимикач;
- 8) передбачені автоматичний кільцевий і селективний режими контролю і керування ліній контактної мережі.

Усі уставки вибираються з урахуванням характеристик і умов експлуатації ТЕ в допустимих режимах.

Вибір часових затримок всіх АПВ передбачений в інтервалі від 1 до 999 с. Значення уставок регулюються оператором у відповідних вікнах інтерфейсу. Величина уставки по струму рівна 2400 А. Регулювання цього завдання допустиме в інтервалі від – 40 до + 40 %.

Тривале використання таких програм на технологічних об'єктах звичайно приводить до їх постійного вдосконалення.

Приклад визначення розрядності АЦП

Датчики струму, напруга і температури вибиралися з серійних елементів на номінальні величини $I = 45 \text{ A}$, $U = 380 \text{ V}$.

Технічний засіб, що розробляється, повинен забезпечити контроль і сигналізацію номінальних і інших режимів експлуатації електромеханічного устаткування, які вибираються з технологічних умов експлуатації ТЕ і існуючих обмежень на кожен параметр 50А.

При шестирозрядному АЦП визначаємо чутливість: $2^4=16 - 50 \text{ A}$; $16=3,125 \text{ A}$.

Для визначення кодів усіх можливих режимів відносно номінального запишемо: мінімальний 45 А, максимальний 60 А.

Приклад: $60/3,125 \approx 19$; $19/2 = 9 + 1$; $9/2 = 4 + 1$; $4/2 = 2 + 0$; $2/2 = 1 + 0$; $1/2 = 0 + 1$.

Отриманий результат 10011В відповідає максимальному струму 60 А.

Для АЦП-6 складемо таблицю 2.1, яка при правильному виборі розрядності АЦП повинна задовольняти умовам точності виміру параметрів представлених в таблиці 1.1

Таблиця 2.1 – Точність виміру АЦП при різних режимах роботи ТО

Режим	Ток, А	Точність	Напруга, В	Точність	Швидкість, обер./хв.	Точність
min	45	+/-2,81	290	+/-18,125	375	+/-23,437
nom	50	+/-3,125	380	+/-23,75	950	+/-59,375
max	60	+/-3,75	420	+/-26,25	1500	+/-93,75

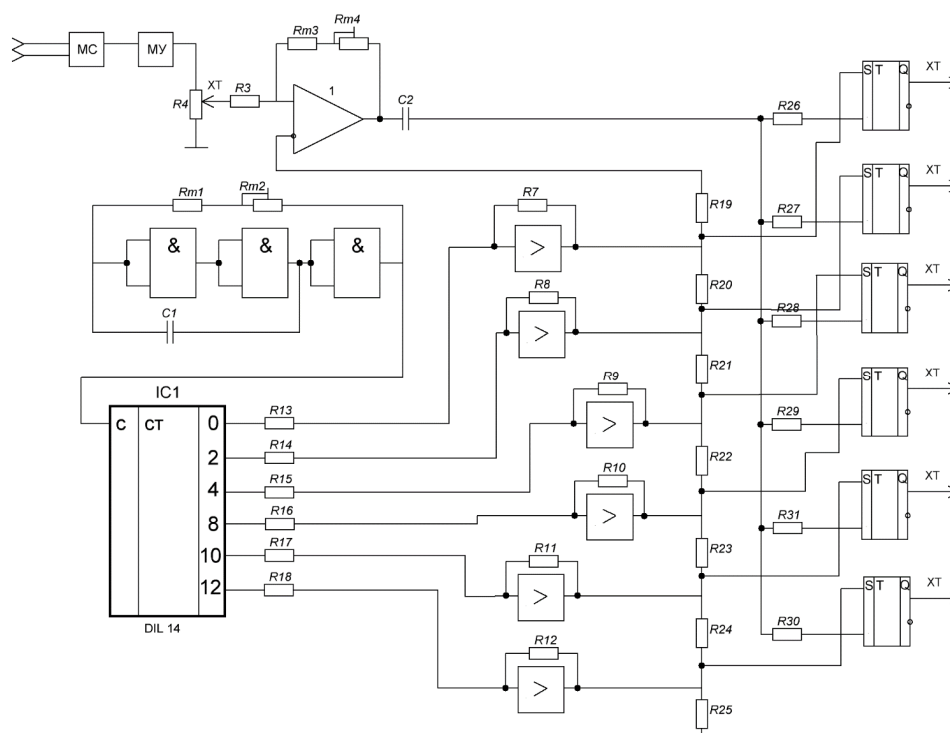


Рисунок 2.12 – Приклад АЦП-6

3 Розроблення структурної схеми логічного цифрового пристрою

3.1 Цифровий пристрій із дискретними датчиками

Метою проектування цифрового пристрою з дискретними датчиками є отримання його логічної функції (далі – ЛФ) і відповідно їй схемної реалізації.

ЛФ можуть мати різні форми представлення: словесне, графічне, табличне, алгебраїчне і схемне.

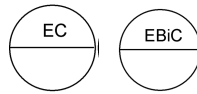


Рисунок 3.1 – Функціональний елемент на схемі

Табличне представлення значень ЛФ для всіх можливих наборів вхідних змінних (декілька датчиків) називається таблицею істинності (табл. 3.1). Загалом вигляді перехід від табличного представлення до алгебраїчного може здійснюватися за формулою – досконала диз’юнктивна нормальна форма ЛФ (далі – ДДНФ).

Таблиця 3.1 – Таблиця істинності

Номер істинності вхідного набору	Сигнали від датчиків			ЛФ
	x2	x1	x0	Y _{мажор}
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	1
4	1	0	0	0
5	1	0	1	1
6	1	1	0	1
7	1	1	1	1

Усі події, наведені в таблиці 3.1, описує логічна формула, що має такий вигляд:

$$Y_{\text{мажор}} = \sim x_2 * x_1 * x_0 + x_2 * \sim x_1 * x_0 + x_2 * x_1 * \sim x_0 + x_2 * x_1 * x_0. \quad (3.1)$$

Далі за допомогою виразу (3.1) будується функціональна схема цифрового пристрою дискретної дії (рис. 3.2).

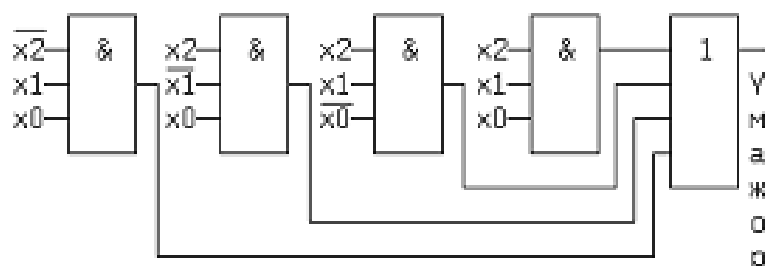


Рисунок 3.2 – Функціональна схема цифрового пристрою

Залежно від призначення схеми, динамічних властивостей ТО і багатьох інших чинників принципова схема керувального пристрою відрізнятиметься від наведеної на рисунку 3.1, що відбиває принцип реалізації ідеї логічного керування. Приклад реалізації логічної схеми з елементом пам'яті (рис. 3.3) ілюструє стенд програми SinSys (рис. 3.4).

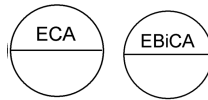


Рисунок 3.3 – Функціональний елемент на схемі

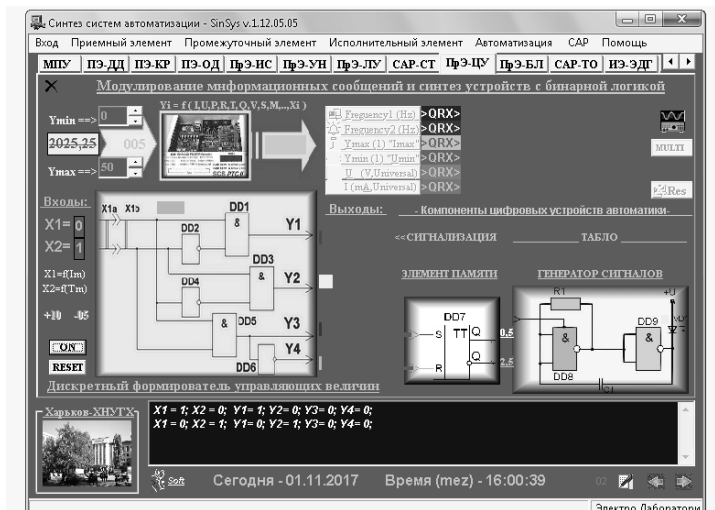


Рисунок 3.4 – Стенд для вивчення і розробки пристроїв з дешифратором дискретних інформаційних сигналів і аналоговим пристроєм сповіщення

На рисунку 3.4 надано гібридне рішення, яке включає цифрові й логічні елементи, що обумовлено неможливістю керувати аналоговим джерелом сигналу тривоги тощо за допомогою цифрового коду або електричних імпульсів.

Розглянутий приклад свідчить про те, що проектування цифрових пристроїв є досить тривалим творчим процесом, обумовлений рішенням безлічі приватних технічних завдань із проведенням розрахунків, побудовою вузлів і комбінаційних схем.

Ураховуючи приклади застосування програми SinSys, що скорочують витрати часу на розрахунки й освоєння елементної бази, можна стверджувати, що для проектувальників розроблено безліч аналогічних програмних продуктів, освоєння яких є важливим і необхідним етапом становлення сучасного проектувальника цифрових засобів керування.

Використовуючи початкові інформаційні повідомлення, наприклад електричні і технологічні величини навантажень ТО (струм, напруга, температура тощо) складається таблиця істинності (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Таблиця істинності умов експлуатації ТЕ

№ n/n	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	Ysign	Ystop
0	0	0	0	0						
1	0	0	0	1				1		
2	0	0	1	0			1			
3	0	0	1	1					1	
4	0	1	0	0		1				
5	0	1	0	1						
6	0	1	1	0						
7	0	1	1	1						
8	1	0	0	0	1					
9	1	0	0	1						
10	1	0	1	0						
11	1	0	1	1						
12	1	1	0	0						
13	1	1	0	1						
14	1	1	1	0						
15	1	1	1	1						1

Як аргументи, в таблиці використано такі змінні величини:

X1 – напруга двигуна;

X2 – швидкість обертання валу;

X3 – струм обмотки збудження;

X4 – температура двигуна.

Ординатами відгуку були прийняті наступні величини:

Y1 – сповіщення критичного рівня напруги двигуна;

Y2 – сповіщення граничного рівня швидкості обертання валу;

Y3 – сповіщення критичного струму обмотки збудження;

Y4 – сповіщення критичного рівня температури двигуна;

Ysign – сповіщення критичного режиму експлуатації двигуна;

Ystop – заборона експлуатація двигуна.

Приклад використання таблиці істинності для отримання наступних логічних математичних описів:

$$Y1 = X1 * \overline{X2} * \overline{X3} * \overline{X4}; \quad (3.2)$$

$$Y2 = \overline{X1} * \overline{X2} * \overline{X3} * \overline{X4}; \quad (3.3)$$

$$Y3 = \overline{X1} * \overline{X2} * X3 * \overline{X4}; \quad (3.4)$$

$$Y4 = \overline{X1} * \overline{X2} * X3 * X4; \quad (3.5)$$

$$Y_{sign} = X1 * X2 * \overline{X3} * \overline{X4}; \quad (3.6)$$

$$Y_{stop} = X1 * X2 * X3 * X4. \quad (3.7)$$

Компоненти функціональної схеми облаштування автоматики реалізують отримані залежності (3.2 – 3.7) у блоках автоматичного керування, функціональні властивості яких представляють з урахуванням прийнятих умовних позначень в наступній послідовності (EIRCHABoBi).

3.2 Цифровий пристрій відображення інформації

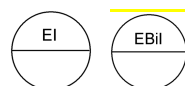


Рисунок 3.5 – Функціональний елемент на схемі

На об'єктах електричного транспорту в багатьох пристроях візуального спостереження контрольованих величин використовуються індикатори на основі електролюмінісcentних приладів, рідких кристалів або світлодіодних матриць. Роботу цих приладів можна організувати тільки за допомогою дешифраторів. Фрагмент схеми такого пристрою ілюструє рисунок 3.6.

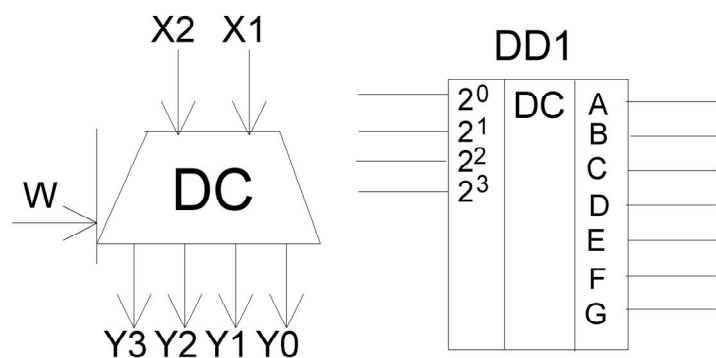


Рисунок 3.6 – Умовні графічні позначення дешифратора:
DC – на функціональних схемах; *DCI* – на принципових схемах

Включення семи сегментів електролюмінесцентного індикатора залежить від рівнів сигналів на вході дешифратора. Всі можливі варіанти формування «оптичних сигналів» або відображення десяткових цифр на світловому табло розглянуті в таблиці 3.3 (рис. 3.7).

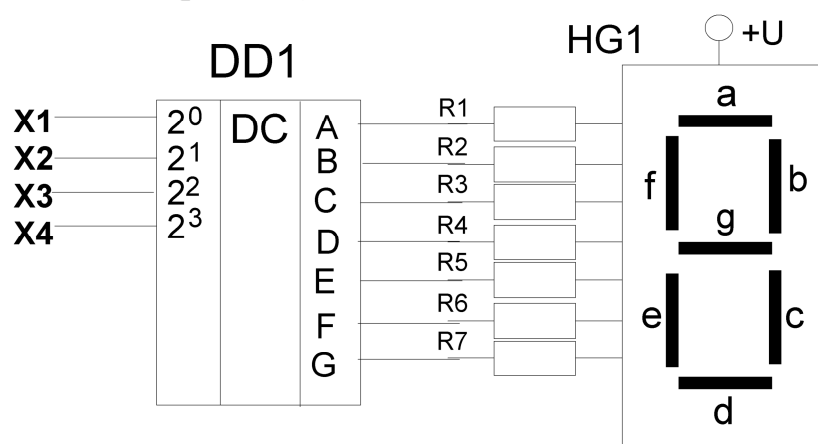


Рисунок 3.7 – Схема застосування дешифратора з оптичним індикатором

Таблиця 3.3 – Включення оптичного індикатора

Вхідні сигнали				Сегменти							Десяткова цифра
X4 2 ³	X3 2 ²	X2 2 ¹	X1 2 ⁰	A	B	C	D	E	F	G	
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	9

Дешифратори використовують у всіх цифрових пристроях. Застосовуючи дешифратори в цифрових пристроях автоматики, слід пам'ятати, що всі вхідні змінні X_1, X_2, \dots, X_n подаються паралельно на входи дешифраторів.

Коли у системі автоматики МПК передбачені формувачі сигналів S_1 і S_2 , які взаємопов'язані, наприклад, з постами обслуговування рухомих одиниць (РО). Таблиця істинності (табл. 3.4) ілюструє формування керуючих величин, використовуваних у наведеному фрагменті схеми для сигналізації.

Таблиця 3.4 – Таблиця істинності пристрою автоматики

X1	X2	Y1	Y2	Y3	Y4
0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0
1	0	0	0	0	1
1	1	0	1	0	0

Очевидно, що прийняті кольори джерел світла (Y_i) забезпечують певну логіку функціонування ТО. Такі системи (рис. 3.8) знайшли широке застосування на різних об'єктах електричного транспорту (рис. 3.9).

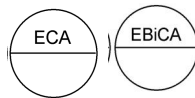


Рисунок 3.8 – Функціональний елемент на схемі

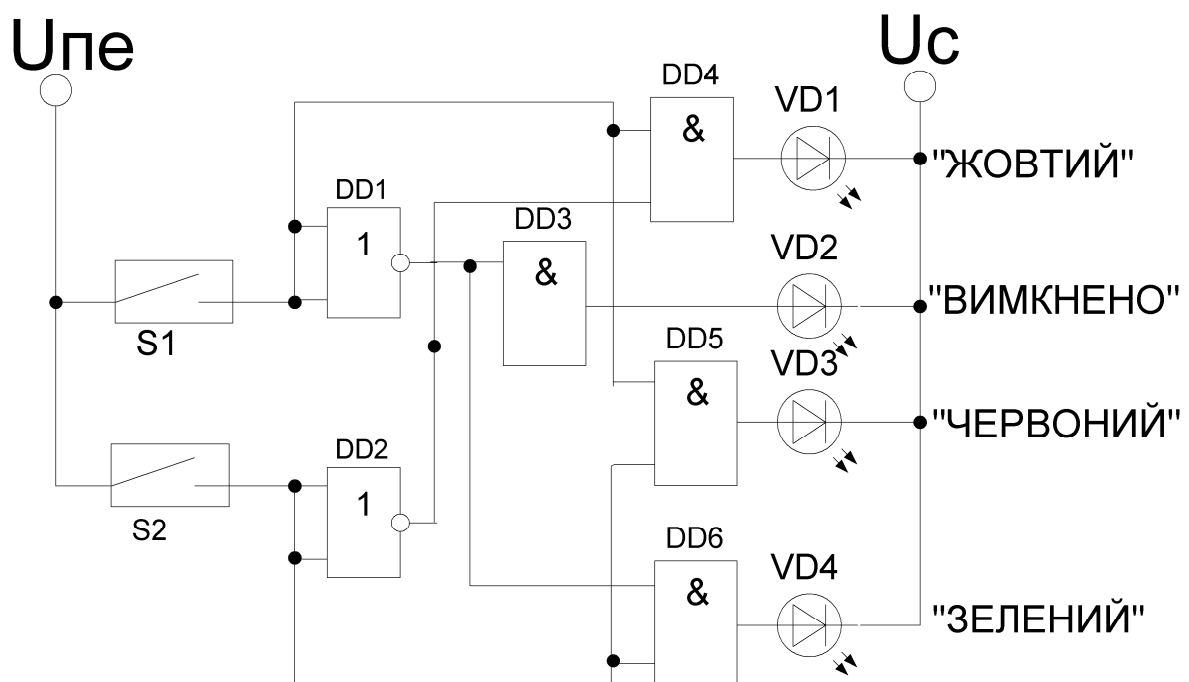


Рисунок 3.9 – Використання дешифратора в системі сповіщення й сигналізації

Ураховуючи типові принципи синтезу цифрових пристроїв, роботу будь-якого з них можна подати в словесній формі. По передньому фронту імпульсу починається відлік. При вступі заднього фронту імпульсу або у разі перевищення заданого інтервалу часу відлік зупиняється. Якщо значення в лічильнику перевищує задана межа, необхідно вивести сигнал «помилка». Інакше повинні відображатися вміст лічильника та величина виміряного інтервалу передається в пристрій обробки.

До складу структурної схеми розглянутого пристрою належатимуть такі елементи: детектор фронтів (далі – ДФ); схема підрахунку тактових імпульсів (далі – СУ); тактовий генератор (далі – ТГ); схема перетворення паралельного коду в послідовний (далі – ПК); схема відображення інформації (далі – УО). Структурна схема перетворювача відображена на рисунку 3.10.

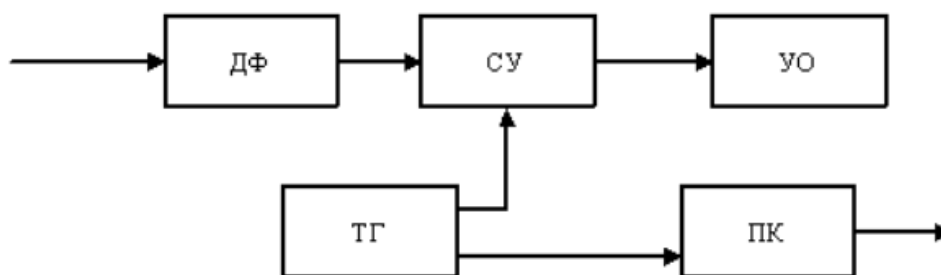


Рисунок 3.10 – Структурна схема пристрою обробки інформації

У процесі розроблення функціональної схеми пристрою на рисунку 3.7 використовуються відомі типові елементи.

Детектор фронтів складається з двох чекаючих мультівібраторів і тригера. Один чекаючий мультівібратор призначений для виділення заднього фронту імпульсу і скидає тригер. Інший чекаючий мультівібратор, призначений для виділення переднього фронту імпульсу. Він перемикає тригер в одиничний стан і виробляє сигнал скидання лічильника. Обидва мультівібратори виробляють імпульси тривалості необхідною для надійного перемикавання тригера (рис. 3.11).

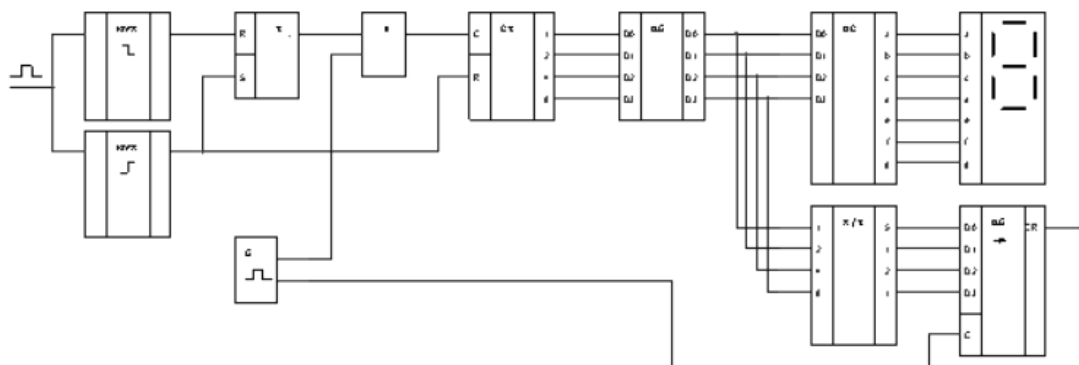


Рисунок 3.11 – Функціональна схема пристрою обробки інформації

Схема підрахунку тактових імпульсів складається з елемента «І» і лічильника. Елемент «І» пропускає тактові імпульси від генератора, тільки якщо тригер знаходиться в одиничному стані. Лічильник забезпечує підрахунок імпульсів.

Схема відображення містить регістр, дешифратор і індикатори. Використання регістра дає змогу уникнути мерехтіння під час підрахунку. Запис у регістр виконується тільки із закінченням підрахунку тривалості імпульсу. Дешифратор потрібний для перетворення двійково-десятькового коду в код, що забезпечує відображення відповідної цифри.

3.3 Розроблення генератора тактових імпульсів

Для роботи лічильника та зсувного регістра потрібний генератор тактових імпульсів. Схема генератора наведена на рисунку 3.12. Він побудований на двох елементах «І-НЕ» (DA1).

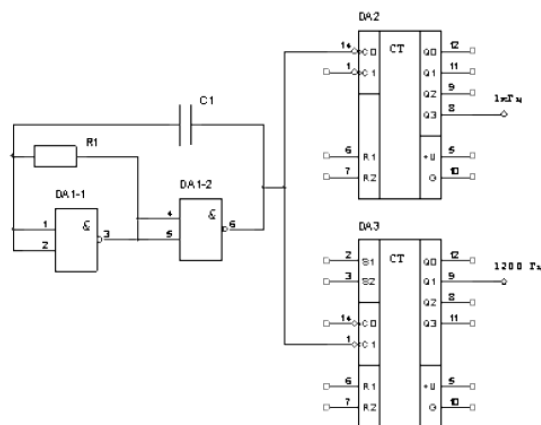


Рисунок 3.12 – Схема тактового генератора

Частота генерації визначається розрахунковим шляхом:

$$f_{\Gamma} = \frac{1}{3 \cdot R \cdot C}. \quad (3.8)$$

Прийнявши, що $C = 1\text{нФ} \pm 10\%$, визначимо номінал резистора:

$$R = \frac{1}{3 \cdot f_{\Gamma} \cdot C} = \frac{1}{3 \cdot 60000 \cdot 10^{-9}} = 55555.55 [\text{Ом}].$$

Набудемо значення з номінального ряду $R = 56\text{кОм} \pm 5\%$.

Тоді для отримання, наприклад, частот у 10000 Гц і 1200 Гц потрібно оснастити генератор дільником частоти. Як дільники зручно використовувати лічильники (DA2, DA3). Для реалізації ділення на 5 використовуємо лічильник (DA3). Подаючи тактові імпульси на вхід С1 на виході Q1, отримаємо частоту, ділену на 5. Для реалізації ділення на 6 використовуємо лічильник DA2.

Аналогічно проектуються:

– схеми підрахунку тактових імпульсів (рис. 3.13), перетворювач паралельного коду в послідовний і схема керування. Для цього потрібно скористатися відомостями довідників і матеріалами технічної літератури.

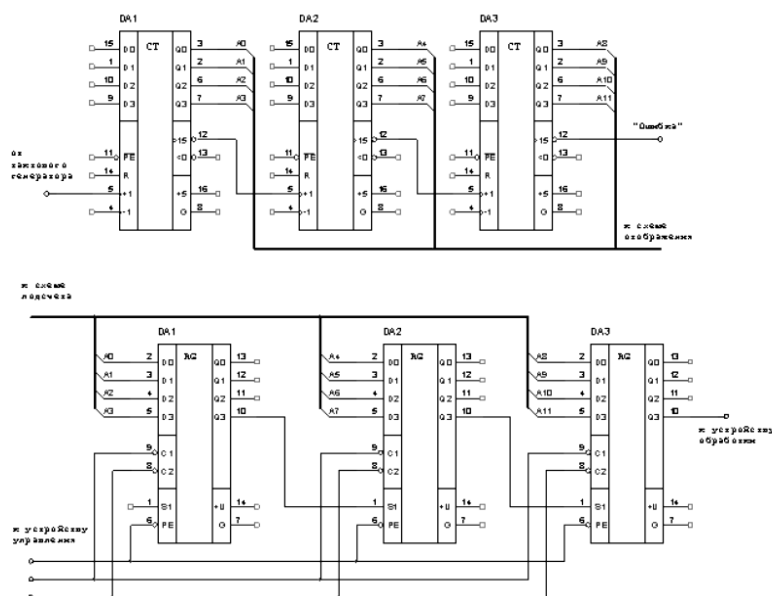


Рисунок 3.13 – Схема підрахунку тактових імпульсів

Для узгодження окремих вузлів цифрового пристрою схема керування займає дуже важливе місце. У її функції входить таке:

- керування записом даних у регістри зрушення;
- керування зрушенням даних, записаних у регістри зрушення;
- припинення передачі даних у пристрій обробки після передачі 12 розрядів.

Аналіз зазначеного вище, дає змогу зробити такі висновки про необхідні компоненти схеми керування:

- для керування зрушенням необхідно використовувати лічильник із перерахунком до 12;
- для припинення передачі необхідно використовувати електронний ключ на тригері;
- для узгодження за часом перемикавання логічних елементів необхідно використовувати елементи затримки.

Важливо зазначити, що для синтезу структурної, функціональної та електричної принципової схем заданого пристрою вибираються та обґрунтовуються критерії підбору всіх елементів, проводиться їх порівняльна оцінка і, можливо, буде потрібно коригувати раніше розроблених компонентів.

4 Проектування пристроїв керування електроприводами

У найпоширеніших на практиці випадках виконавчі пристрої (далі – ВП) у системах керування реалізовані за допомогою електричних приводів. Сигнал керування, із виходу ВП повинен забезпечувати роботу електроприводу з урахуванням допустимих переміщень виконавчого органу (далі – ВО). У цифрових пристроях усі перестановочні дії ВО відповідають числу, що прийшло (коду положення ВП). Зміна положення ВО відбувається тільки з приходом нового числа.

Робота усіх ВП зазвичай передбачається в автоматичному і ручному режимах.

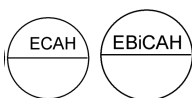


Рисунок 4.1 – Функціональний елемент на схемі

Дуже популярні схеми керування швидкістю обертання двигуна постійного струму за допомогою широтно-імпульсної модуляції (далі – ШІМ).

Для регулювання швидкості обертання двигуна за допомогою ШІМ на двигун подається повна напруга живлення, але регулюється час, протягом якого воно подається (рис. 4.2).

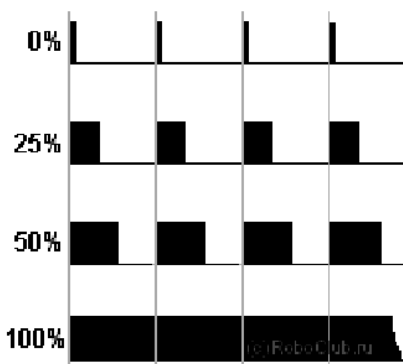


Рисунок 4.2 – Використання ШІМ у приводах постійного струму

У крокових електродвигунах (синхронні безщіткові електродвигуни) з декількома обмотками для керування використовується послідовна активація обмоток двигуна, що реалізує дискретні кутові переміщення (кроки) ротора.

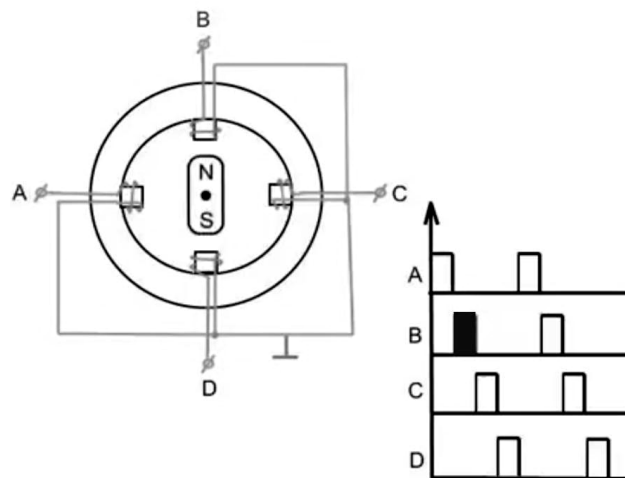
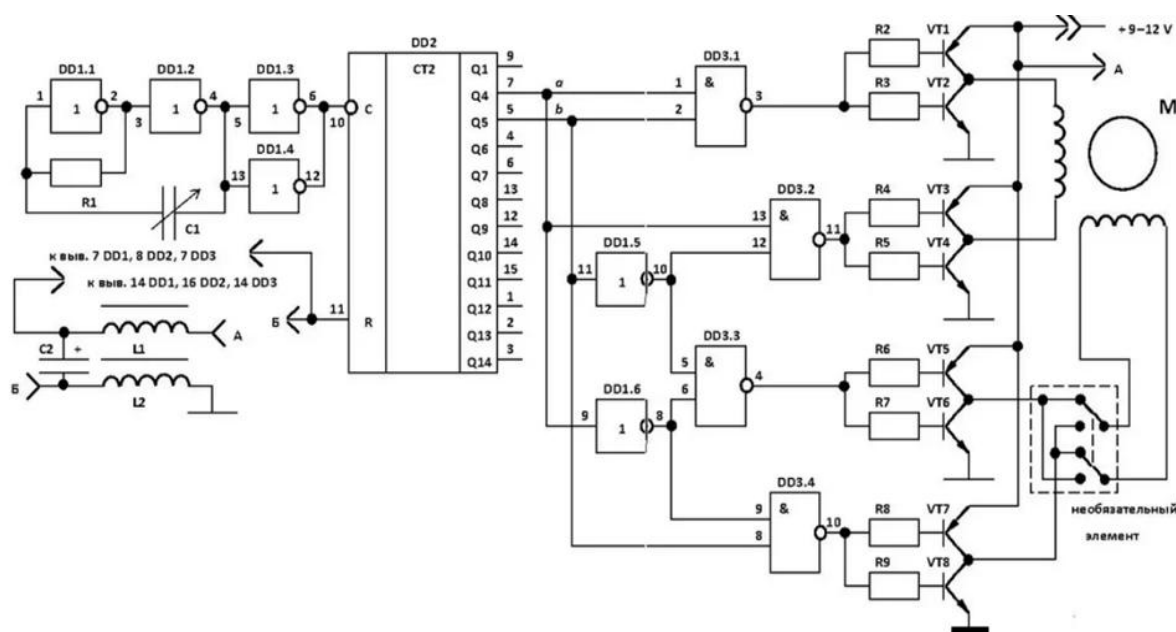


Рисунок 4.3 – Принцип активації фаз ШД

Варіант цифрової схеми керування ШД наведений на рисунку 4.4.



Рисунку 4.4 – Схема керувального пристрою кроковим електродвигуном

5 Розробка джерела електропостачання компонентів

Сучасні засоби автоматики мають порівняно невеликі габарити, а їхнє енергоспоживання не перевищує декількох десятків ватів. Для надійного функціонування таких пристроїв розробляються малогабаритні імпульсні джерела електричного живлення (далі – ІДЕЖ).

Перевагою ІДЕЖ є можливість одержання необхідного коефіцієнта потужності, що наближає форму споживаного струму до тієї, яка спостерігається при включенні в мережу чисто активного навантаження. ІДЕЖ відрізняються необхідною економічністю і відповідають міжнародним стандартам, що регламентують рівень гармонійних складових, які викликаються в однофазній живильній мережі, наприклад, з напругою 220...240В, від якої живляться багато споживачів електроенергії. Група споживачів D (стандарт IEC-1000-3-2) містить у собі будь-яке електричне устаткування потужністю до 600 Вт, до якого можна віднести і розроблюване технічне рішення, що споживає струм менше 16 А.

Крім того, популярність ІДЕЖ обумовлена економічністю, можливістю створення пристроїв компенсації реактивної потужності, реалізації режиму безперебійного електричного живлення пристроїв автоматики без суттєвих доробок самого ІДЕЖ.

В ІДЕЖ важливим є правильний розрахунок трансформатора.

Для ІДЕЖ розраховують наступні величини:

– споживану потужність P_n

$$P_n = U_{np} \cdot I_{np} + U_{nv} \cdot I_{nv} + U_{nt} \cdot I_{nt}, \quad (5.1)$$

де U_{np} – напруга навантаження, В;

I_{np} – струм, споживаний навантаженням, А;

U_{nv}, U_{nt} – напруга на відповідних навантаженнях, В;

I_{nv}, I_{nt} – струми, споживані навантаженнями, А;

– використовувану потужність трансформатора

$$P_{is} = 1,3 \cdot P_n ; \quad (5.2)$$

– площу перетину трансформатора на торі

$$S_C = 0,01 \cdot \frac{(D_D - D_d) \cdot H}{2}, \quad (5.3)$$

де D_D – зовнішній діаметр, см;

D_d – внутрішній діаметр, см;

H – висота осердя, см;

– площу вікна обраного осердя:

$$S_O = 0,01 \cdot \frac{\pi \cdot D_D \cdot D_d}{4} ; \quad (5.4)$$

– габаритну потужність трансформатора на торі:

$$P_{\partial} = \frac{S_C \cdot S_O \cdot F \cdot B_m}{150}, \quad (5.5)$$

де F – частота коливань генератора, kHz ;

B_m – магнітна індукція в осерді, T .

Якщо використовувана потужність менше її габаритної, то варто застосовувати інший типорозмір осердя. Інакше розрахунок необхідно продовжити:

– напругу на первинній обмотці:

$$U_I = \frac{U_p}{2} - 1,6, \quad (5.6)$$

де U_p – напруга автономного джерела живлення;

– число витків первинної обмотки трансформатора:

$$W_1 = \frac{2,5 \cdot U_1}{F \cdot B_m \cdot S_C}; \quad (5.7)$$

– максимальний струм первинної обмотки:

$$I_I = \frac{P_n}{0,8 \cdot U_I}; \quad (5.8)$$

– діаметр проводу для цієї обмотки:

$$D_I = 0,6 \cdot \sqrt{I_I}; \quad (5.9)$$

– число витків вторинних обмоток:

$$W_i = \frac{W_1 \cdot U_i}{U_1}; \quad (5.10)$$

– діаметр проводів для кожної вторинної обмотки:

$$D_i = 0,6 \cdot \sqrt{I_i}. \quad (5.11)$$

Для автоматизації процесу розрахунку ІДЕЖ розроблена програма «БП-ИТ», що входить до пакету *Windows* - додатка *SinSys* (рис. 5.2). При введенні всіх вихідних даних до відповідного вікна інтерфейсу *Windows*-дodatка «БП-ИТ» результати розрахунку будуть показані після натискання кнопки «СЧЕТ». Якщо коефіцієнт використання трансформатора не виходить за припустимі межі, то результати обчислень можна прийняти за базові для розробки ІДЕЖ.

Приклад такого розрахунку для осердь різних типорозмірів ілюструє таблиця 5.1, у якій наведені дані для наступних вихідних величин:

- частота генератора дорівнює 30 kHz ;
- напруга вторинних обмоток: для обмотки 2-1: $U_{n1} = 6,3 \text{ B}$;
2-2 – $U_{n2} = 9 \text{ B}$; 2-3 – $U_{n3} = 5 \text{ B}$; 2-5 – $U_{n5} = 16$;
- струм вторинних обмоток: для обмотки 2-1: $I_{n1} = 0,1 \text{ A}$; 2-2 - $I_{n2} = 0,05 \text{ A}$;
2-3 - $I_{n3} = 0,05 \text{ A}$; 2-5 - $I_{n5} = 0,5 \text{ A}$;
- напруга живлення перетворювача $U_{num} = 12 \text{ B}$,
- величина індукції осердя $B = 0,1 \text{ T}$.

З результатів розрахунку зрозуміло, що не всі осердя придатні для проектного пристрою. Аналіз отриманих конструктивних величин дозволяє укласти, що деякі з них складно реалізувати на практиці, або габаритна потужність виробу необґрунтовано перевищує необхідну. Найбільш придатними для розроблюваного приладу можна визнати трансформатори з величинами габаритної потужності 16 і 21 Вт .

У тих випадках, коли визначення параметрів трансформатора зв'язано з рутинними розрахунками, у програмі «БП-ИТ» передбачений автоматизований режим їхнього визначення.

Для запуску автоматичного режиму розрахунку необхідно вихідні дані обов'язково ввести у вікна обмотки «Ун6», натиснути кнопку $\langle A \rangle$ (*AUTO*) і вибрати для пошуку величину дискретного кроку за величинами напруги $\langle U_n(+) \rangle$, або струму $\langle I_n(+) \rangle$. Зміна результатів розрахунку у відповідних вікнах інтерфейсу дозволить зупинити розрахунок при досягненні шуканого результату. Зупинку автоматичного режиму виконують натисканням кнопки $\langle STOP-RESET \rangle$.

Таблиця 5.1 – Розрахунок трансформатора імпульсного джерела електричного живлення

Зовнішній діаметр D_D , мм	Внутрішній діаметр D_d , мм	Висота осердя h , мм	Напруга первинної обмотки U_{m2} , У	Струм первинної обмотки I_{m2} , А	Кількість витків первинної обмотки	Діаметр проводу первинної обмотки, d_{m2} мм	Число витків 1-ї вторинної обмотки	Число витків 2-ї вторинної обмотки	Число витків 3-ї вторинної обмотки	Число витків 5-ї вторинної обмотки	Діаметр проводу 1-ї вторинної обмотки	Діаметр проводу 2-ї вторинної обмотки	Діаметр проводу 3-ї вторинної обмотки	Діаметр проводу 5-ї вторинної обмотки	Габаритна потужність P_2 , Вт	Потужність, споживана навантаженням P_n , Вт	Використовувана потужність трансформатора, P_{tr} , Вт	Площа осердя S_m , см ²	Площа вікна осердя S_o , см ²
40	20	30	4,51	2,59	1	0,96	1	2	1	3	0,19	0,13	0,13	0,42	75	9,33	12,13	3,0	3,14
30	15	20	4,51	2,59	2	0,96	3	4	2	7	0,19	0,13	0,13	0,42	21	9,33	12,13	1,5	1,77
30	15	15	4,51	2,59	2,5	0,96	4	5	3	9	0,19	0,13	0,13	0,42	16	9,33	12,13	1,13	1,77
60	20	10	4,51	2,59	1,5	0,96	2	3	2	5	0,19	0,13	0,13	0,42	50	9,33	12,13	2	3,14
50	30	10	4,51	2,59	2,8	0,96	4	6	3	10	0,19	0,13	0,13	0,42	56	9,33	12,13	1	7,07
70	50	8	4,51	2,59	3,52	0,96	5	7	4	13	0,19	0,13	0,13	0,42	125	9,33	12,13	0,8	19,6
10	85	10	4,51	2,59	3,76	0,96	5	8	4	13	0,19	0,13	0,13	0,42	340	9,33	12,13	0,75	56,7
10	40	10	4,51	2,59	0,9	0,96	1	2	1	3	0,19	0,13	0,13	0,42	300	9,33	12,13	3	12,5
12	10	10	4,51	2,59	2,82	0,96	4	6	3	10	0,19	0,13	0,13	0,42	630	9,33	12,13	1	78,5

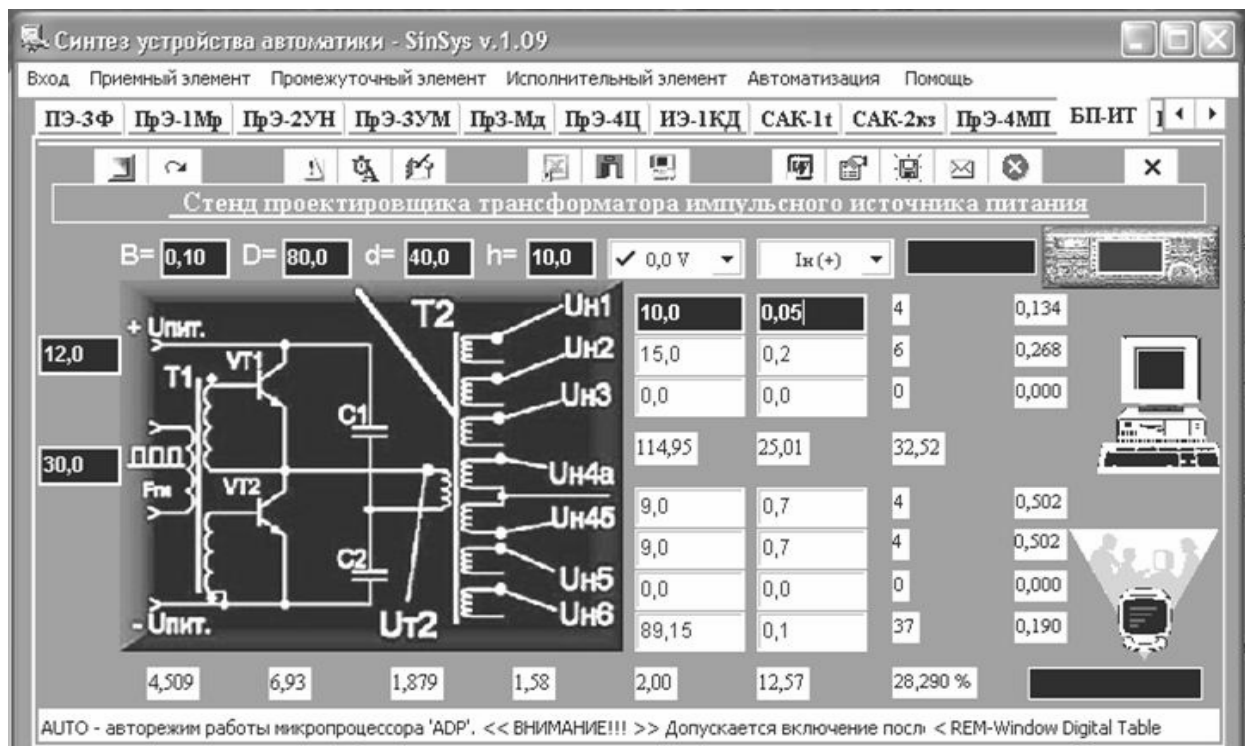


Рисунок 5.1 – Интерфейс програми «БП-ИТ»

6 Проектування технічного дизайну цифрового пристрою

Оскільки цифрові системи реалізуються на базі напівпровідникових компонентів, то такі пристрої завжди відрізняються компактністю та є вбудованими в експлуатоване електрообладнання плати з роз'ємами або малогабаритними корпусними виробами з набором друкованих плат.

Монтаж компонентів необхідно виконувати з урахуванням можливого демонтажу його, доступу для виконання налагодження, ручної діагностики, ремонту та заміни елементів, що вийшли з ладу. Дизайн цифрового пристрою наведений на рисунку 6.1.

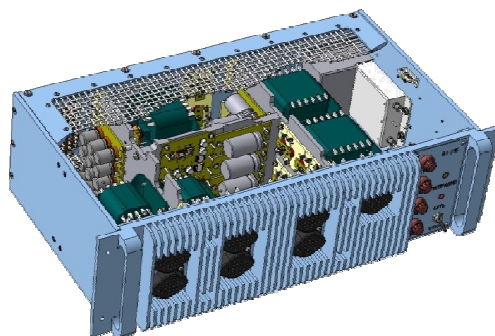


Рисунок 6.1 – Дизайн модульного цифрового пристрою

У процесі розроблення передньої панелі враховуються всі органи керування, якими повинні будуть користуватися оператор, засоби сигналізації, кнопки, перемикачі режимів роботи тощо.

Технічний дизайн панелей керування завжди потребує особливої уваги при їх проектуванні, оскільки від компоновання елементів залежить зручність у користуванні, простота освоєння прийомів, що реалізують алгоритм цифрові пристрої керування, швидке звикання до розташування органів керування та сигналізації.

Для цифрового пристрою з переліком компонентів у таблиці 6.1 приклад підготовки ескізу панелі керування ілюструється на рисунку 6.2.

Таблиця 6.1 – Перелік компонентів цифрового пристрою керування для розміщення їх на пульті

Призначення компоненту	Виконання	Напис пояснення
Включення пристрою	Кнопковий вимикач	«ВКЛ.»
Перевірка приймальних елементів	Сенсорні вимикачі	«Датчики»
Перевірка виконавчих елементів і обладнання	Кнопкові вимикачі із поверненням	«Оборудование»
Включення режимів роботи обладнання	Кнопкові вимикачі	«Ручной» «Автомат» «Выборочно» «СТОП»
Засоби сигналізації	Світлодіоди кольорові	«Вкл» «Проверка датчиков» «Проверка спецоборудования» «Ручной» «Автомат» «Селективно» «ПРОВЕРИТЬ» «РЕМОНТ» «НОРМА» «ОПАСНО» «СТОП»
Засоби відображення інформації	Мнемосхема чи екран дисплею	Символьна мультиплікація
Пам'ятка оператору	Табличка ламінована	HELP

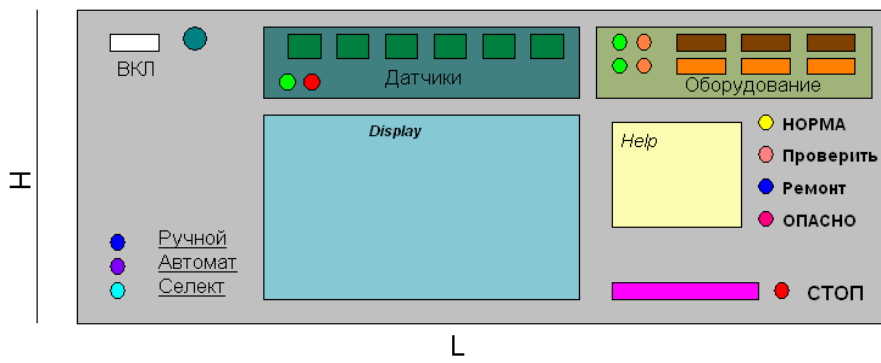


Рисунок 6.2 – Ескізний проект пульта керування автоматичного діагностичного пристрою для спеціального транспортного засобу:

L, H – габаритні розміри пульта

Приклади дизайну реалізованих навчальних цифрових пристроїв керування наведені на рисунках 6.3,6.4.

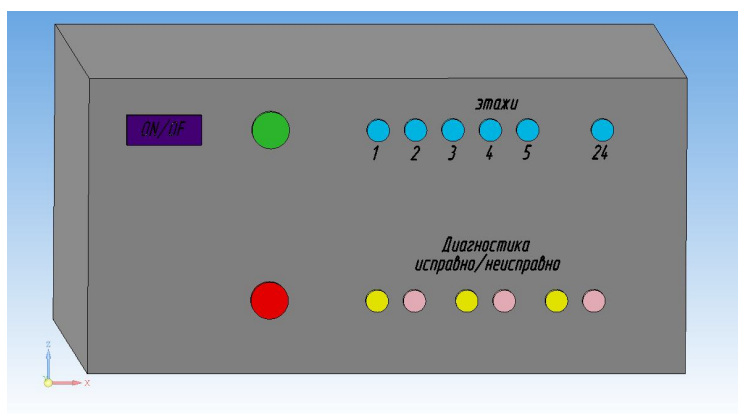


Рисунок 6.3 – Панель пристрою керування

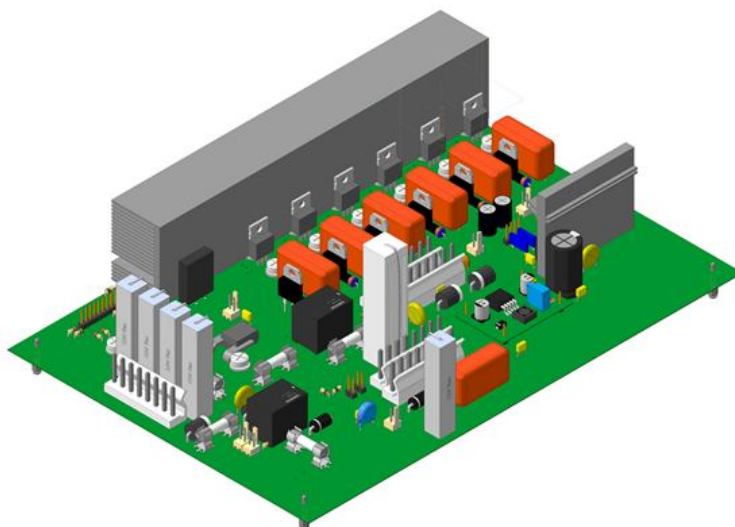


Рисунок 6.4 – 3D-модель плати системи керування приводу електромобіля

7 Економічні показники проекрованої системи автоматизації ТО

На підставі проведених розрахунків була розроблена локальна система автоматики випрямного агрегату МПК. Оскільки пропонуване технічне рішення призначене для удосконалювання наявного устаткування, то оцінка його економічних показників може бути виконана на підставі порівняння роботи функціонуючого устаткування з модернізованим варіантом.

Витрати на виготовлення нового технічного рішення можна визначити, тому що всі компоненти входять у розроблені схеми. Крім того, варто враховувати витрати на проектування, розробку програмного продукту, якщо передбачається модернізація автоматизованого робочого місця оператора корпусу.

Після виготовлення схеми звичайно виконуються роботи з її налагодження, монтажеві на діючому устаткуванні й остаточні пуско-налагоджувальні роботи всієї системи автоматики з модернізованими вузлами або блоками.

Витрати на розробку пропонуваного технічного рішення наведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Витрати на розробку системи автоматики

№	Елементи витрат	Сума, грн.
1	Дослідницькі роботи	1200
2	Проектні роботи	1300
3	Компоненти пристрою	600
4	Матеріали для виготовлення пристрою на друкованій платі	70
5	Розробка (модернізація) програмного забезпечення	800
6	Монтаж і пуско-налагоджувальні роботи	2500
ВСЬОГО		6470

Витрати на експлуатацію існуючої і пропонуваної систем автоматики можуть бути визначені при використанні даних з технологічного об'єкта.

Наприклад, для експлуатації устаткування мийно-прибирального корпусу депо, де використовується розглянута система автоматики, витрати на оплату електричної енергії можна розрахувати за формулою

$$З_I = Q \cdot T, \quad (7.1)$$

де Q – кількість використаної електроенергії, $кВт$;

T – тариф за один kВт/год. , грн.

$$Z_1 = 3600 \cdot 0,252 = 907 \text{ грн.}$$

Оскільки в новому технічному рішенні пропонується виключити релейні компоненти, то, можливо, що споживання електричної енергії напівпровідниковими схемами скоротиться, і буде становити

$$Z_{1н} = 460 \cdot 0,252 \cong 116 \text{ грн.}$$

Витрати на обслуговування релейно-контактної системи автоматики визначаються регламентом на проведення таких робіт і можуть бути розраховані за формулою

$$Z_2 = N \cdot T, \quad (7.2)$$

де T – середня місячна заробітна плата персоналу, що обслуговує конкретне устаткування;

N – кількість місяців.

$$Z_2 = 150 \cdot 12 = 1800 \text{ грн.}$$

Перевага безконтактних логічних мікросхем, що складає в їхній експлуатації без обслуговування, можливо, скоротить витрати, передбачені раніше за цією статтею. У грошовому вираженні ця величина визначиться так:

$$Z_{2н} = 28 \cdot 12 = 336 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію системи автоматики визначаються поквартально, виходячи з базової вартості устаткування на початок кварталу за встановленою нормою амортизації:

$$A = \frac{S \cdot N}{100}. \quad (7.3)$$

Оскільки пропонований пристрій можна віднести до експериментальних рішень, то, використовуючи варіанти класифікації основних фондів підприємств, норма амортизації для них складе 20%.

З огляду на розглянуті підходи, можна скласти таблицю експлуатаційних витрат на зміст системи автоматики (табл. 7.2), з огляду на існуючий (*EX*) і пропонований (*NEW*) варіанти.

Таблиця 7.2 – Експлуатаційні витрати

№	Елемент витрат	Сума, грн.	
		EX	NEW
1	Електроенергія	907	116
2	Заробітна плата персоналу	1800	336
3	Нарахування на заробітну плату	666	124
4	Амортизація (20%)	674,60	115,20
ВСЬОГО		4047,60	691,20

Таким чином, витрати на зміст існуючих і пропонованої систем автоматики складають *4045 грн* і *691 грн*, відповідно.

Витрати на виготовлення і впровадження нового обладнання Z_k вимагають капіталовкладень у розмірі *6470 грн*.

Витрати на експлуатацію системи автоматики скоротяться і забезпечать економію в розмірі

$$Y = \sum Z_{EX} - \sum Z_{NEW}, \quad (7.4)$$

$$Y = 4045 - 691 = 3354 \text{ грн.}$$

Маючи отримані дані, можна оцінити економічні показники від упровадження системи автоматики без обліку інвестицій на реалізацію поставленої задачі.

Оскільки вартість проекту складає *6470 грн*, то строк окупності $T_{ок}$ даного пристрою можна розрахувати за формулою

$$T_{ок} = \frac{Z_k}{Y}, \quad (7.5)$$

$$T_{ок} = \frac{6470}{3354} = 1,93 \cong 2 \text{ роки.}$$

Якщо для реалізації проекту передбачається використовувати кредит будь-якого банку, то до статті витрат необхідно внести і річні ставки у відсотках до суми кредиту, що визначаються банками в різних розмірах.

Попередній розрахунок дозволяє планувати, що строк окупності проекту не перевищить 2 років. У сучасних умовах господарювання такий термін є реальним і привабливим з погляду удосконалювання застарілої матеріально-технічної бази на будь-яких діючих аналогічних технологічних об'єктах.

Розглянутий розрахунок можна значно прискорити, скориставшись програмою «ПрЭ-ЭК». Інтерфейс програми проілюстрований на рисунок 7.1.

Включення програми здійснюється натисканням кнопки «Включение».

Інтерфейс програми містить списки різної технічної літератури, спеціальних періодичних видань, інформації про патенти на винаходи та ін. дані, які користувач самостійно може організувати у відповідних папках використовуваного комп'ютера.

Після вводу вихідних даних у відповідні вікна витрат на впровадження й експлуатацію технічного рішення розрахунок виконується після натискання на кнопку «СЧЕТ».

Зручність програми полягає в можливості швидкої заміни статті витрат для одержання необхідного результату від упровадження нової техніки. На підставі отриманих результатів можна сформулювати вимоги до конкретного технічного рішення для досягнення заданих економічних показників.

Крім того, програма автоматично виконує експертизу даних, що вводяться користувачем для розрахунку.



Рисунок 7.1 – Интерфейс програми «ПрЭ-ЭК»

Якщо вихідні величини для конкретного технічного рішення нелогічні або не відповідають вимогам, пропонованим до сучасних засобів автоматизації технологічних об'єктів, «експерт» програми зробить відповідні висновки. Такі особливості програми дозволяють уникнути неприпустимих помилок при проектуванні засобів автоматизації ТП або їхніх компонентів.

Результати розрахунку для технічного рішення розглянутого в розділах 1 – 4, отримані за допомогою програми «ПрЭ-ЭК», представлені в таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Результати розрахунку економічних показників

№	Статті витрат	Сума, грн.	Період окупності, рік
1	Витрати на впровадження:		
	Досліджувальні і проектні роботи	2500	
	Комплектуючі вироби	670	
	Розробка програмного забезпечення	800	
	Пуско-налагодочні роботи	2500	
	Інші	0	
2	Експлуатаційні витрати «ЕХ»:		
	Електроенергія	907	
	Заробітна плата	1800	
	Нарахування на заробітну плату	666	
	Амортизація (20%)	574,60	
	Інші	0	
3	Експлуатаційні витрати «NEW»:		
	Електроенергія	116	
	Заробітна плата	336	
	Нарахування на заробітну плату	124	
	Амортизація (20%)	115,20	
	Інші	0	
4	Скорочення експлуатаційних витрат	3356,40	
5	Окупність		1,9

ВИСНОВКИ

Проведений синтез цифрового облаштування автоматики з метою вдосконалення ТЕ дозволяє зробити наступні висновки:

- 1) на підставі аналізу технічної літератури розроблена структурна і функціональна схеми облаштування автоматики;
- 2) виконано розрахунки і розроблено схеми компонентів;
- 3) розроблено технічний дизайн цифрового пристрою автоматики;
- 4) проведене економічний аналіз розробленого прибудові автоматики.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ГОСТ 21.208-2013 Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах
2. Цыпкин Я. З. Теория линейных импульсных систем / Я. З. Цыпкин. – М. : Физматгиз, 1963. – 354 с.
3. Джури Э. Импульсные системы автоматического регулирования / Э. Джури. – М. : Физматгиз, 1963. – 268 с.
4. Острём К. Системы управления с ЭВМ / К. Острём, Б. Виттенмарк. – М. : Мир, 1987. – 246 с.
5. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления / Б. Куо. – М. : Машиностроение, 1986. – 257 с.
6. Бесекерский В. А. Цифровые автоматические системы / В. А. Бесекерский. – М. : Наука, 1976. – 298 с.
7. Chen T. Optimal sampled-data control systems / T. Chen, B. A. Francis. – New York. : Springer-Verlag, 1995. – 123 p.
8. Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления / Е. П. Попов. – М. : Наука, 1989. – 167 с.
9. Єсаулов С. М. Аналіз, синтез і проектування цифрових систем керування : навч. посібник / С. М. Єсаулов, О. Ф. Бабічева ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 146 с.
10. Бабічева О. Ф. Автоматизоване проектування електромеханічних пристроїв, компонентів цифрових систем керування та діагностичних комплексів : навч. посібник / О. Ф. Бабічева, С. М. Єсаулов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 356 с.

ДОДАТОК А

Приклади облаштувань управління виконавчими електричними машинами і засобами сповіщення (сигналізації)

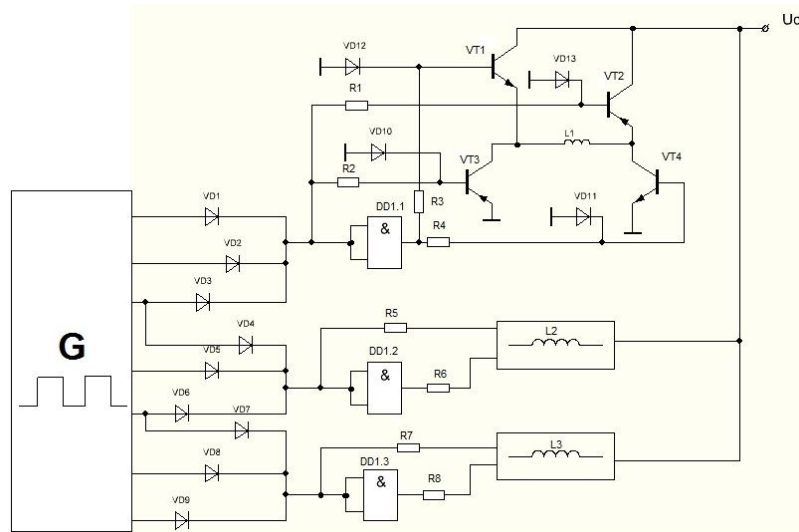


Рисунок А.1 – Управління кроковим електродвигуном

Схема вимірювального моста для резистивного датчика

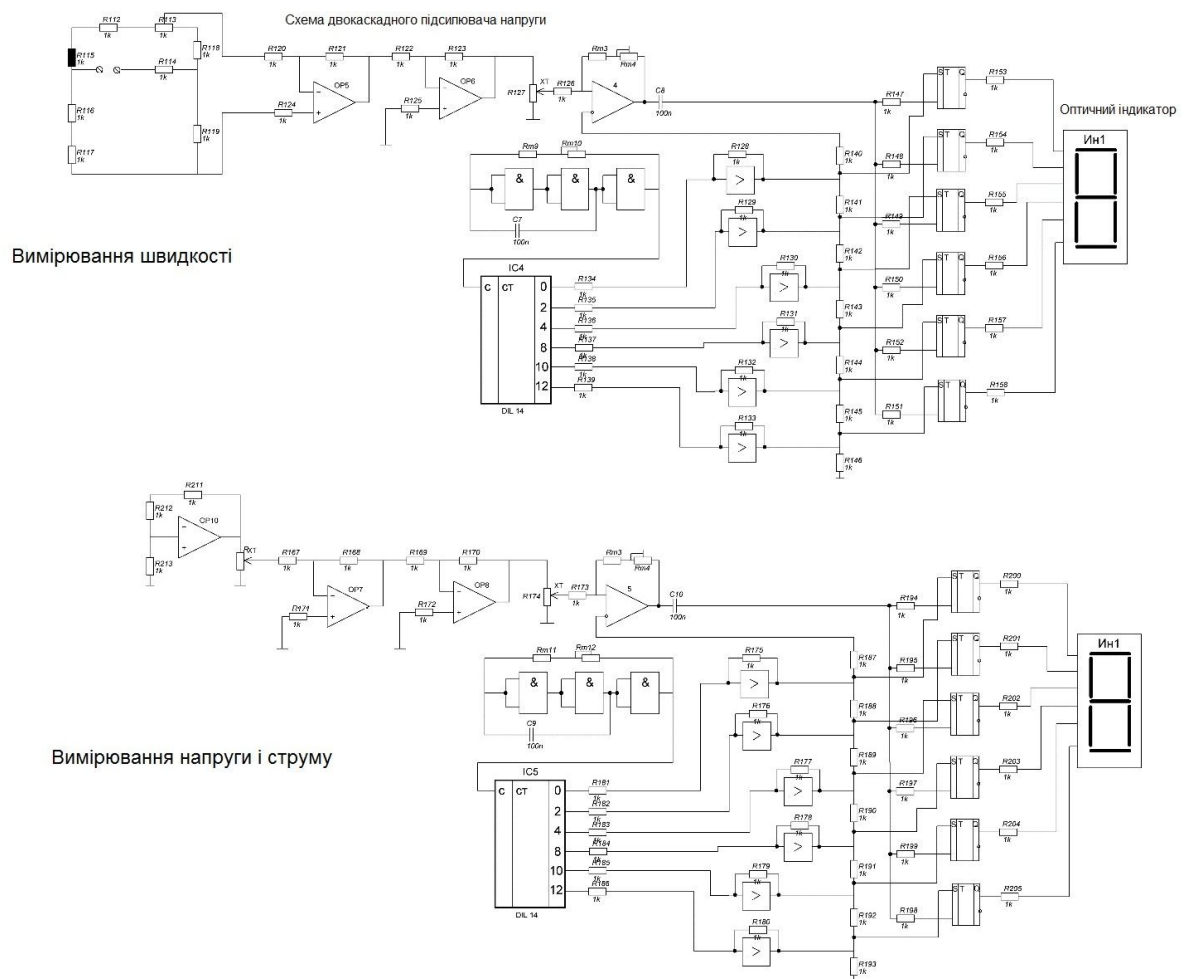


Рисунок А.2 – Приклади засобів відображення інформації

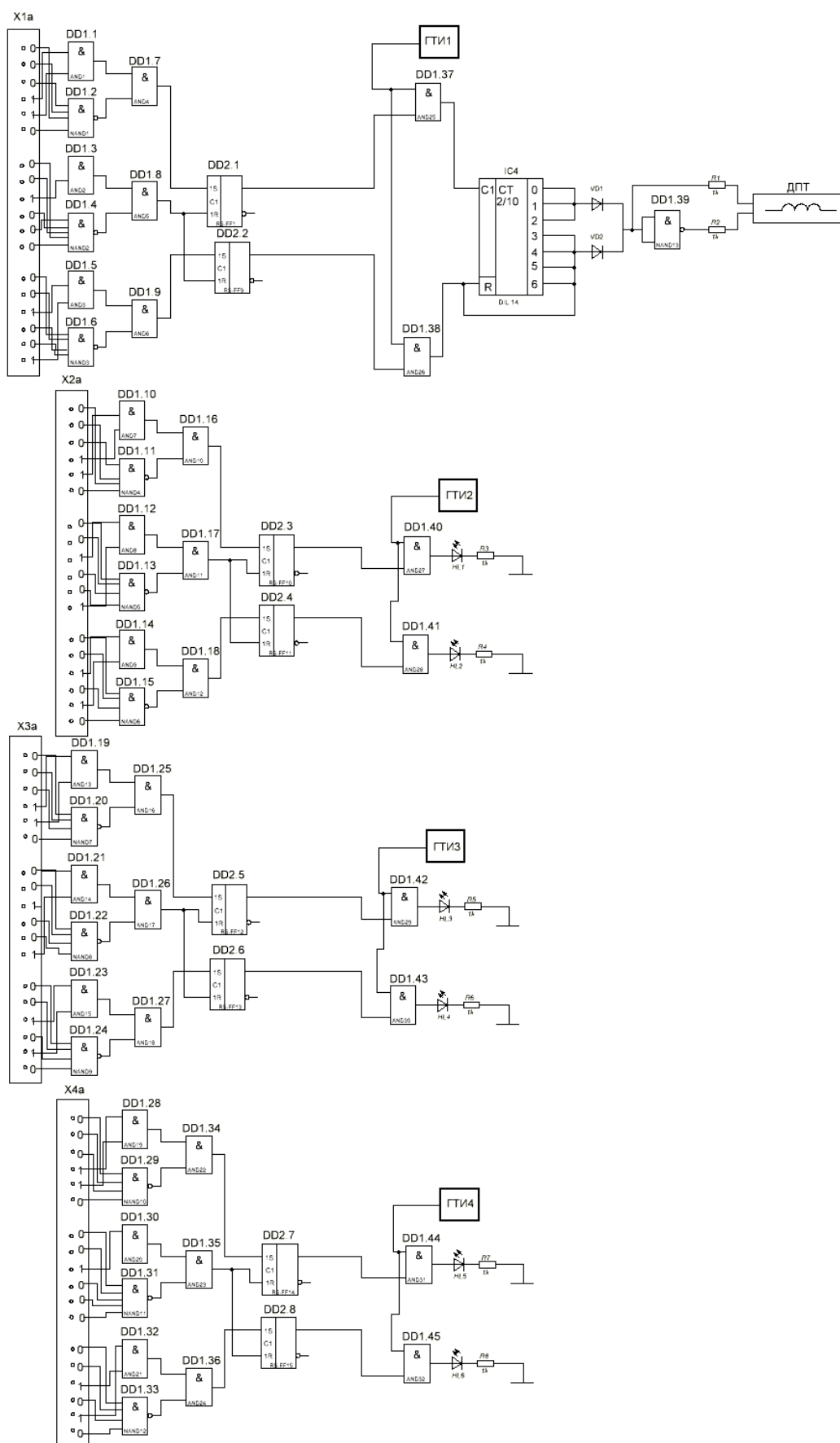


Рисунок А.3 – Приклади дешифраторів засобами керування електричною машиною постійного струму і сигналізації

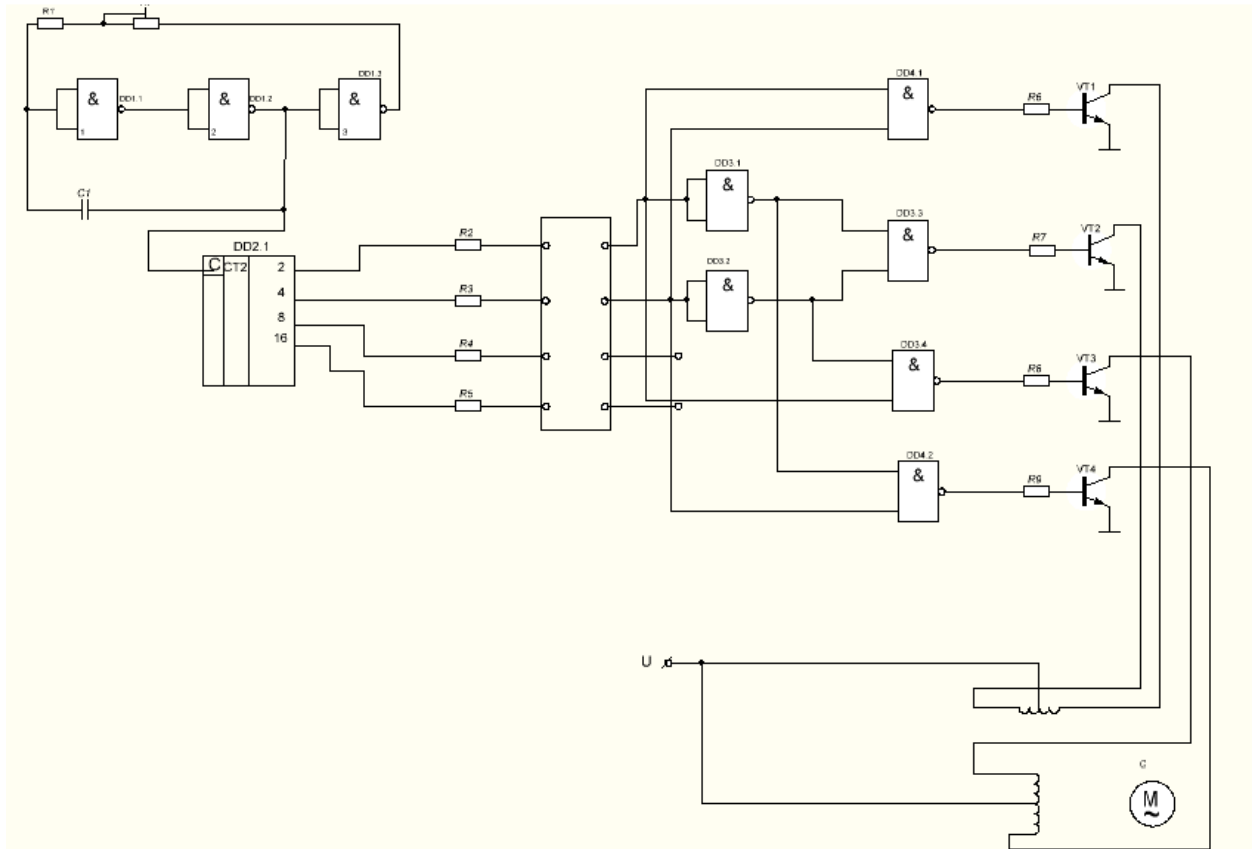


Рисунок А.4 – Приклад реалізації реверсивного керування кроковим електродвигуном

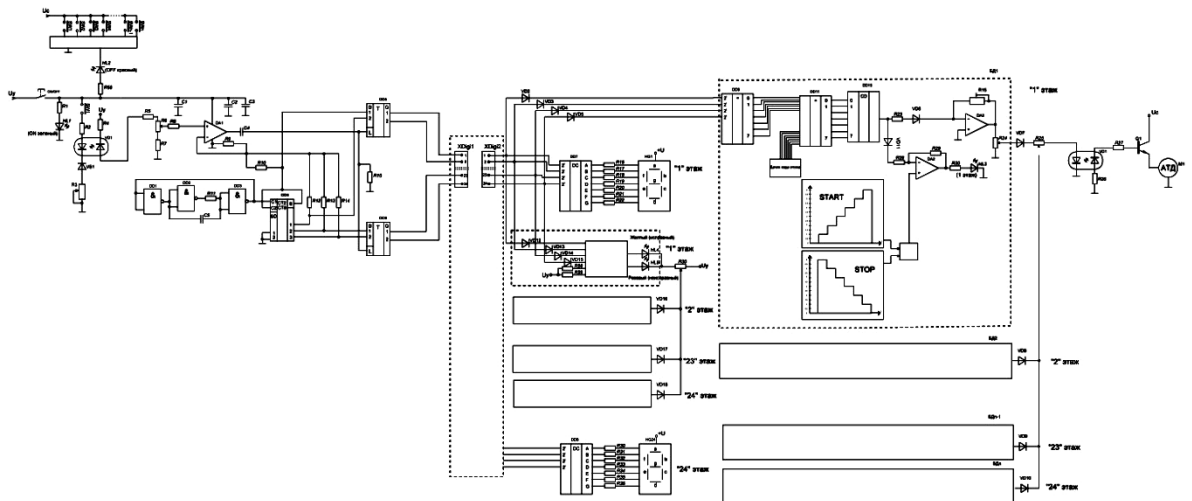


Рисунок А.5 – Приклад принципової схеми цифрового керування тяговим електродвигуном швидкісного ліфта

ДОДАТОК Б

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

1. Відповідно до індивідуального завдання (табл. Г1) підготувати короткий характеристику технологічного об'єкта.
2. Описати призначення і принцип роботи об'єкта керування, з огляду на технологічні умови експлуатації (табл. Г1–Г3), вимоги до системи автоматизації, що розкривають керування об'єктом у ручному й автоматичному режимах, і взаємодія САР з локальною комп'ютерною мережею підприємства.
3. Досліджувати статичні характеристики ОК і підготувати висновок про отримані результати.
4. Досліджувати динамічні властивості ОК, включаючи оцінку його стійкості на основі побудови годографа, і сформулювати висновок про його поведінку при різних збуреннях.
5. Обґрунтувати пропозиції щодо синтезу функціональної схеми системи регулювання процесом і описати її роботу.
6. Запропонувати розрахункову схему системи автоматизації ОК.
7. Виконати розрахунок компонентів схеми, використовуючи вихідні (табл. Г1–табл. Г3) і довідкові дані.
8. Зробити економічний аналіз проекрованої системи автоматизації ТП.
9. Відповідно до вимог ДСТ підготувати функціональну і принципову електричну схеми розробленої автоматичної системи регулювання ТО. Представити перелік усіх компонентів САР.
10. Оформити розрахунково-пояснювальну записку до розробленого технічного рішення відповідно щодо вимог ДСТ технічної документації.

ДОДАТОК В

Приклад оформлення титульної сторінки

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

Кафедра електричного транспорту

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

з дисципліни «Проектування цифрових систем керування»
на тему: (вказати обрану тему)

Виконав: студент групи МСА-2018
5 курсу Антоненко М. А.

Перевірив: доц. Єсаулов С. М.

Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2018

ДОДАТОК Г

Таблиця Г1 – Варіанти індивідуальних завдань

№ варіанта	Технологічний об'єкт	Об'єкт керування	Вимоги до ОК			
			Авток ерування	Ручне керування	Дистанційна передача	Уніфіковані вихідні сигнали
1	Мийно-прибиральний корпус депо	Випрямний агрегат	+	+	+	+
2			+	+	+	+
...			+	+	-	-
n						

Примітка: «+» - передбачається; «-» – не передбачається.

Таблиця Г2 – Варіанти завдань

Варіант	$\sim U_{10}, \text{В}$	$I_{10}, \text{А}$	$=U_{20}, \text{В}$	$I_{00}, \text{А}$	$U_{00}, \text{В}$	$=U, \text{В}$	$Q_1, ^\circ\text{C}$	$Q_2, ^\circ\text{C}$
1	220	10	90	4,4	90	20	15	85
2								
...								
n								

Примітка: при використанні реальних елементів для розроблюваної системи автоматики дані про припустимі інтервали варіювання змінних узяти з технічних умов їхньої експлуатації. При відсутності довідкових даних величини інтервалів варіювання факторів прийняти рівними: $U_1 = \pm 20\%$; $I_1, U_0, I_0, U_2, I_2 = \pm 40\%$.

Таблиця Г3 – Варіанти завдань

Варіант	$U, \text{В}$	$m, \text{кг}$	$S, \text{м}^2$	$V, \text{м/с}$	$d, \text{м}$
1	5,3	0,1	0,01	100	0,15
2					
...					
n					

Таблиця Д2 – Дані деяких електричних мікромашин

Тип	Опір обмотки якоря, Ом	Струм, А	Струм збудження, А	Напруга, В	Потужність, Вт	Швидкість, об/хв.
Тахогенератори.: Д101	330	0,1	0,065	=110	-	1500
ТГ-3	430	0,01	0,5	=27	-	4000
ТД-201	780	0,2	0,1	=110	-	1000
Виконавчі двигуни: СЛ-221	117	0,35	0,05	=110	13	3700
СЛ-281	1,15	2,4	0,26	=24	26	5200
СЛ-321	25,8	0,7	0,11	=110	38	3000
СЛ-621	3	2,3	0,16	=110	172	2400
Двигуни з пост. магнітом: ДПМ-20.1	-	0,15	-	=27	-	9000
ДПМ-20.2	-	0,15	-	=27	-	6000
ДПМ-20.3	-	0,15	-	=27	-	4500
ДПМ-25.1	-	0,65	-	=12	-	9000
ДПМ-25.2	-	0,6	-	=12	-	6000
ДПМ-25.3	-	0,52	-	=12	-	4500
ДПМ-25.4	-	0,28	-	=12	-	2500
Двигуни постійного струму: ПЯ-5	-	1,65	-	=6	5	3000
ПЯ-50	-	7,5	-	=12	50	3000
ПЯ-250	-	9,5	-	=36	250	3000
ПЯ-500	-	13,8	-	=48	500	3000
Мікродвигуни: ДПР-12.1	-	0,034	-	=12	-	9000
ДПР-12.2	-	0,04	-	=6	-	4500
ДПР-32	-	0,082	-	=27	-	6000
Асинхронні однофазні: АОЛ-011-2	-	0,49	-	~220	30	2880
АОЛ-11-2	-	1	-	~220	120	2890
АОЛБ-22-2	-	2,7	-	~220	270	2890
АОЛБ-11-4.1	-	1,1	-	~110	50	1420
АОЛБ-12-4.1	-	1,45	-	~110	80	1420
Асинхронні мікродвигуни: УАД-12	-	0,055	-	~220	1,5	2700
УАД-32	-	0,11	-	~220	2	2700
УАД-72.1	-	0,4	-	~110	70	3700
УАД-44	-	0,13	-	~220	6	1280
УАД-44.1	-	0,15	-	~110	8	2700
УАД-54	-	0,17	-	~220	9	1280
Конденсаторні: УАД-12	-	0,055	-	~220	1	2750
УАД-22	-	0,08	-	~220	3	2750
УАД-32.1	-	0,16	-	~110	6	2750
УАД-54.1	-	0,16	-	~110	7	1300
УАД-44	-	0,14	-	~220	4	1300
Асинхронні виконавчі: АСМ-50	-	-	-	=110	0,67	1300
АСМ-100	-	-	-	=110	1,32	1280
АСМ-200	-	-	-	=110	2,4	1180
АСМ-400	-	-	-	=110	4,6	1120
ДИД-1ТА	-	-	-	=36	1	11800
ДИД-5ТА	-	-	-	=36	2	10800
АДП-120	-	-	-	=110	2,4	4000
АДП-262	-	-	-	=110	9,5	1850
АДП-362	-	-	-	=110	19	1750

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до проведення практичних занять та розрахунково-графічної роботи
з навчальних дисциплін

ПРОЕКТУВАННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

*(для студентів 5-6 курсів усіх форм навчання
освітнього рівня «магістр»
спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **ЄСАУЛОВ** Сергій Михайлович,
БАБІЧЕВА Ольга Федорівна

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархаєв*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2018 поз. 191 М

Підп. до друку 24.09.2018. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,4

Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса : rectorat@kname.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.