

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Факультет денної форми навчання

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра

**Розробка електронного пристрою контролю кількості завантажених
вагонеток на завантажувальному пункті шахти**

Студент гр. ЕІс2-71к

Є. В. Костирко

Науковий керівник
к.т.н., доцент

М. П. Матвієнко

Конотоп 2021

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присв'ячена розробці електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти.

Об'єктом розробки такого пристрою є підземні погрузочні пункти шахти для загрузки вагонеток на їх завантажувальних пунктах.

Метою роботи є розробка електронного пристрою для контролю кількості завантажених вагонеток на погруз пунктах шахти.

При виконанні кваліфікаційної роботи по розробці електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти розроблений алгоритм, абстрактна та структурна математичні моделі роботи такого пристрою. Задані математичні моделі, які представлені графічно у вигляді автоматів Мура.

Використовуючи структурну математичну модель роботи пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти, на основі таблиць переходів та виходів отримані канонічні рівняння його роботи. Мінімізація і аналіз цих канонічних рівнянь показали, що найкращим варіантом їх реалізації є програмуємі логічні матриці (ПЛМ) із застосуванням *RS* - тригерів.

Робота викладена на 30 сторінках, у тому числі включає 8 рисунків, 3 таблиці, список цитованої літератури із 14 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ, ШАХТНІ ВАГОНЕТКИ, ЗАВАНТАЖУВАЛЬНИЙ ПУНКТ, АБСТРАКТНА ТА СТРУКТУРНА МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ, КАНОНІЧНІ РІВНЯННЯ, ТАБЛИЦЯ ПЕРЕХОДІВ ТА ВИХОДІВ, ПЛМ, ПРОГРАМУВАННЯ ПЛМ.

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗАВАНТАЖЕННЯ ВУГІЛЛЯ У ЗАЛІЗНИЧНІ ВАГОНЕТКИ НА ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОМУ ПУНКТІ ШАХТИ	5
1.1. Види, призначення та функції пунктів завантаження вугілля у залізничні вагонетки на завантажувальних пунктах шахти	5
1.2. Технологічні залежності завантаження вугілля у залізничні вагонетки та особливості їх контролю після завантаження	6
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЕТАПІВ ПРОЕКТУВАННЯ, АЛГОРИТМУ ТА СТРУКТУРНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ЗАВАНТАЖЕНИХ ВАГОНЕТОК НА ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОМУ ПУНКТІ ШАХТИ	10
2.1. Розробка етапів проектування електронного пристрою для контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти.....	10
2.2. Розробка алгоритму роботи електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти.....	11
2.3. Розробка структурної математичної моделі та канонічних рівнянь роботи електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти.....	14
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ЗАВАНТАЖЕНИХ ВАГОНЕТОК НА ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОМУ ПУНКТІ ШАХТИ	19
3.1 Вибір елементної бази електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти.....	19
3.2. Розробка схеми електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти	27
ВИСНОВКИ	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	31

ВСТУП

Контроль кількості завантажених вагонеток вугіл'ям на погрузочному пункті шахти є однією з актуальних на сьогоднішній день завдань в шахтах де застосовується рельсовий транспорт. Звичний ручний облік вагонеток на погрузочному пункті шахти - процес тривалий, трудомісткий і тому не дозволяє ефективно управляти транспортом (часто виникає втрата вагонів, плутанина з контролем добутого вугілля, затримки з відправкою і таке інше). Впровадження електронного пристрою контролю кількості загрузених на підземному погрузочному пункті шахти вагонеток дає можливість автоматично обраховувати і передавати у диспетчерську шахти про оперативний видобуток вугілля тією чи іншою лавою шахти. Автоматичний облік завантажених вагонеток є альтернативою їх ручному підрахунку. Це в свою чергу дозволить досягти наступних цілей:

- підвищення ефективності роботи підземних завантажувальних пунктів та скорочення витрат трудозатрат при їх роботі;
- запобігання помилок при визначенні підрахунків у видобутку вугілля;
- забезпечення економічної безпеки при плануванні і фактичного стану добутого вугілля.

Такий підхід дозволить не тільки автоматизувати отримання в реальному часі даних про хід добування вугілля, але і дасть можливість визначати дислокацію одиниць рухомого складу завантажених і незавантажених вагонеток, а також забезпечити їх централізоване зберігання, прискорити пошук і полегшити аналіз фактичної інформації для поліпшення ефективності роботи підземних погрузочних пунктів.

Усе це разом дає можливість удосконалити процеси прогнозування і планування обсягів добування вугілля в лавах, його відвантаження на поверхність шахти, а також і до електростанцій і теплових мереж.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМ ЗАВАНТАЖЕННЯ ВУГІЛЛЯ У ЗАЛІЗНИЧНІ ВАГОНЕТКИ НА ПОГРУЗ ПУНКТИ ШАХТИ

1.1. Види, призначення та функції пунктів завантаження вугілля у залізничні вагонетки на завантажувальних пунктах шахти

Завантажувальні пункти призначені для перезавантаження вугілля із емностей або безпосередньо із конвеєра у залізничні вагонетки шахт для подальшого транспортування на поверхні шахти [1, 2]. Завантажувальні пункти поділяють на переносні, напівстаціонарні і стаціонарні [1, 2, 3].

Переносні завантажувальні пункти застосовують на відкаточних штреках, у містах стиковки із лавою і виконують по однорельсовій тупиковій схемі з відстаючою розминовкою або двохшляховою човниковою схемою з симетричною розминовкою [4].

Напівстаціонарні завантажувальні пункти, найбільш розповсюджені в шахтах. Їх будують на термін від кількох місяців до двох років і виконують у більшості випадків за човниковою технологічною схемою [1, 2, 4, 5].

Стаціонарні завантажувальні пункти будують на головних відкаточних виробках по двошляховій човниковій технологічній схемі з завантаженням вагонеток із накопичуючого бункера на термін експлуатації більше двох років.

Головними функціями автоматизованих навантажувальних пунктів є: навантаження вагонеток із конвеєра або накопичуючого бункера, переміщення потяга у процесі завантаження вагонетки і при зміні вагонеток, перекривання міжвагонеточного простору при заміні вагонеток, пилоподавлення, ущільнення вугілля у вагонетці, контроль ступені завантаження вагонетки і точності її розміщення [1, 3]. При цьому повинно забезпечуватися автоматичне виконання заданої послідовності технологічних операцій, необхідних захистів та блокувань.

Для автоматичного завантаження вугілля у вагонетки необхідно забезпечити [1, 2]:

- 1) рівномірне розподілення вугілля у вагонетці для максимального використання її об'єма;
- 2) припинення або змінення напрямку руху вугілля без просипання його із зміною вагонеток під завантаженням;
- 3) контролювання заповнення вагонетки вугіллям і її положення відносно завантажувального люка.

Від чіткої роботи стаціонарного завантажувального пункту залежить робота всіх ланцюгів шахтного транспорту, а в деяких випадках пропускна властивість завантажувального пункту лімітує і добування вугілля.

1.2. Технологічні залежності завантаження вугілля у залізничні вагонетки та особливості їх контролю після завантаження

Основними технологічними залежностями при завантаженні вугілля у залізничні вагонетки шахт є [2, 3, 4, 5]:

- 1) подача порожніх вагонеток до міста завантаження;
- 2) пересування вагонеток під час їх завантаження без заштибовки вугіллям між вагонеточним простором;
- 3) завантаження вагонеток.

Для подачі та пересування вагонеток використовуються різні типи товкачів [2, 3, 4, 5]. Для завантаження вагонеток вугіллям розроблені різні типи проміжних бункерів малої ємкості, але такої, щоб вона була розрахована на прийом вугілля із забоїв при більш або менш довгих переривах у завантаженні, що дозволить забезпечити неперервну роботу конвеєрної лінії і є дуже важливою умовою для роботи очистних забоїв, які обслуговує ця лінія [1, 2, 4, 5].

Автоматизовані комплекси завантажувальних (АКЗ) пунктів слугують для завантаження ешалонів шахтних вагонеток [1, 5]. У комплекс АКЗ входить маслостанція, гідравлічний товкач 3, перекинувач 5

міжвагонеточного простору з гідравлічним приводом 1, датчики контролю заповнення вагонетки ДПЗ і датчики положення вагонетки ДП1, ДП2 з робочим органом 2 під завантажувальним пристроєм. Типова технологічна схема автоматизованого завантажувального пункту шахти [1, 3, 4, 5] наведена на рис. 1.2.1. Вона працює наступним чином. У процесі завантаження вагонетки датчик заповнення ДПЗ

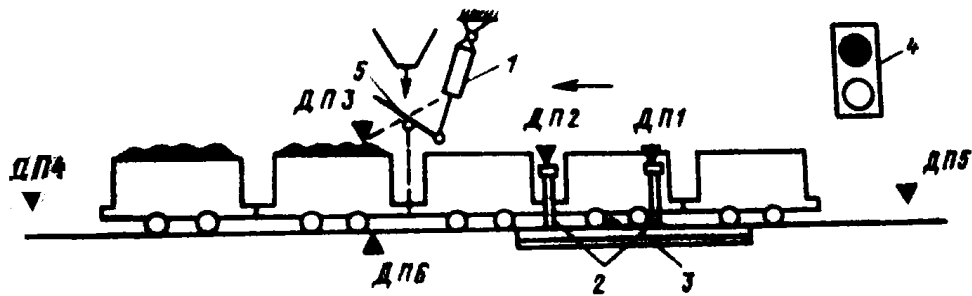


Рис. 1.2.1. Типова технологічна схема автоматизованого завантажувального пункту шахти

контролює рівень завантаження вагонетки. При підйманні конуса вугілля створки датчика піднімаються вгору і діють через трьох ходовий кран на подачу рідини в гідроциліндр товкача для проштовхування вагонетки. Насипаний конус вугілля виходить із зони дії датчика, створки його опускаються, трьох ходовий кран перекривається і зупиняється товкач на час насипання наступного конуса вугілля і т.д.

Після заповнення останнього конуса вугілля у вагонетці спрацьовує робочий орган 2 датчиків положення вагонетки і вмикається гідропривод 1 на поворот завантажувального лотка для направлення потоку вугілля у порожню вагонетку. Одночасно товкач пересуває ешалон вагонеток вперед для зайняття новою порожньою вагонеткою початкового положення для завантаження. Сигнал про початкове положення видає робочий орган 2 гідродатчиків ДП1, ДП2, товкач зупиняється, завантажувальний лоток перевертається у попереднє робоче положення, розпочинається завантаження першого конуса вугілля і цикл завантаження вагонетки повторюється.

Гідравлічний товкач 3 складається із рами, двох повзунів з кулаками, двох гідроциліндрів, крана керування гідророзподіляча. Під час роботи розпочинається змінна робота гідроприводів. При висуванні штока гідроциліндра вагонетка захватується кулаком товкача і просувається. Якщо шток досягає свого крайнього положення, шток другого циліндра втягується вгору до кінця і своїм виступаючим упором поверне пробку крана керування. При цьому відбувається перемикання потоку рідини із одного циліндра в інший, у результаті чого змінюється напрям руху кулаків.

В електричну схему комплексу входять контактні датчики положення вагонетки. Датчик ДП1 контролює надходження першої пустої вагонетки у зоні товкача і включає червоний вогонь світлофора 4, який забороняє машиністу подальшу подачу ешалона з вагонетками. Датчики ДП2 і ДП1 при відсутності вагонеток у їх зоні видають сигнал на заборону роботи завантажувального пункту і включають зелений вогонь світлофора. Датчик ДП3 контролює пересипку вагонетки. Датчик ДП4 видає сигнал на заборону роботи завантажувального пункту, щоб попередити вихід першої завантаженої вагонетки ешалона за межі розминання. Датчик ДП5 видає заборону на роботу при заході електровоза в зону розминання завантажувального пункту. Сигнал від датчика ДП6 використовується для підрахунку вагонеток при завантаженні. Цей датчик працює тільки на підрахунок завантажених вагонеток, які рухаються в одному напрямку. Якщо вагонетки розпочали рухатися в обратному напрямку, то їх кількість буде продовжувати збільшуватись, що є не допустимим, оскільки їх фактична кількість на відправку з погруз пункту буде зменшуватись, що є не допустимим. Для ліквідації цього недоліка на рис. 1.2.2. наведена технологічна схема установки двох датчиків (Д1 і Д2) замість одного датчика ДП6 для підрахунку кількості загрузених вагонеток на погруз очному пункті шахти з урахуванням їх маневрів.

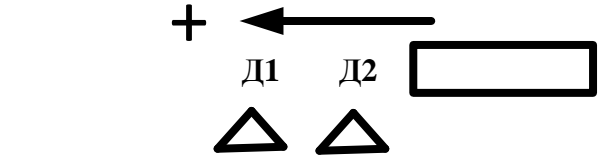


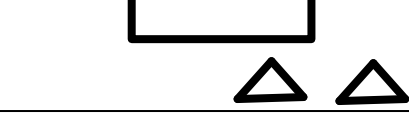
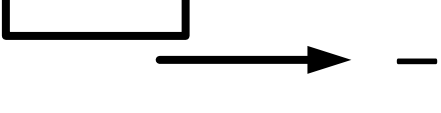
Положення шахтних вагонеток відносно датчиків	Стан датчиків
	00
	01
	11
	10
	00

Рис. 1.2.2. Технологічна схема проходження вагонетки через датчики підрахунку їх кількості

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ЕТАПІВ ПРОЕКТУВАННЯ, АЛГОРИТМУ ТА СТРУКТУРНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ЗАВАНТАЖЕНИХ ВАГОНЕТОК НА ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОМУ ПУНКТІ ШАХТИ

2.1. Розробка етапів проектування електронного пристрою для контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти

Кроки проектування електронного пристрою. Для ефективного проектування електронного пристрою для контролю кількості завантажених вагонеток на погруз пункті шахти необхідно це робити науково – обгрунтовано, показуючи, у якій послідовності і що слід виконувати на кожному кроці [6, 7]. Це спрощує весь етап проектування у цілому й підсилює його ефективність, спрощуючи апаратурну та програмну частини електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на погруз пункті шахти. Виходячи із цього, кроки проектування електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на погруз пункті шахти з використанням теорії автоматів матитуть такий зміст.

Перший крок. На цьому кроці, на підставі словесного або іншого способу задання алгоритму роботи електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на погруз пункті шахти, будують його абстрактну математичну модель, яку задають у вигляді графа автомата Мура або Мілі. Для цього дугам математичної моделі присвоюють значення вхідних змінних, а станам – вихідних.

Другий крок. На другому кроці, використовуючи отриману на першому кроці абстрактну математичну модель роботи електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на погруз пункті шахти у вигляді автомата Мура, визначають кількість елементів пам'яті, яку необхідно

застосувати в моделі, щоб відтворити її стани шляхом кодування і перетворюють абстрактну математичну модель у структурну, кодуючи її стани.

Третій крок. На цьому кроці будують таблицю переходів та виходів електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти.

Четвертий крок. На четвертому кроці з таблиці переходів та виходів знаходять канонічні рівняння роботи електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти.

П'ятий крок. На цьому кроці вибирають елементну базу (логічні елементи, мультиплексори, програмовані логічні пристрої тощо) і будують електронний пристрій контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти.

На основі описаних технічних вимог і першого кроку проектування електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти, алгоритм його роботи у вигляді математичної моделі графа автомата Мура [7, 8, 9], заданого абстрактно, матиме наступний зміст, див. рис. 2. 1. 1.

2.2. Розробка алгоритму роботи електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти

Використовуючи перший крок проектування для побудови електронних пристроїв контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти, таблицю виходів та користуючись технологією проходження вагонетки через датчики, див. рис. 1.2.2, можна сказати, що їх підрахунок ураховує маневри потяга із уже погрузеними вагонетками. Це дозволяє точно дати інформацію диспетчеру про фактичну кількість відправленого вугілля до поверхності шахти. Виходячи із цього алгоритм роботи для підрахунку кількості

загружених вагонеток на погрузочному участку шахти, який заданий у вигляді абстрактної математичної моделі, буде мати наступний вигляд, приведений на рис. 2.2.1.

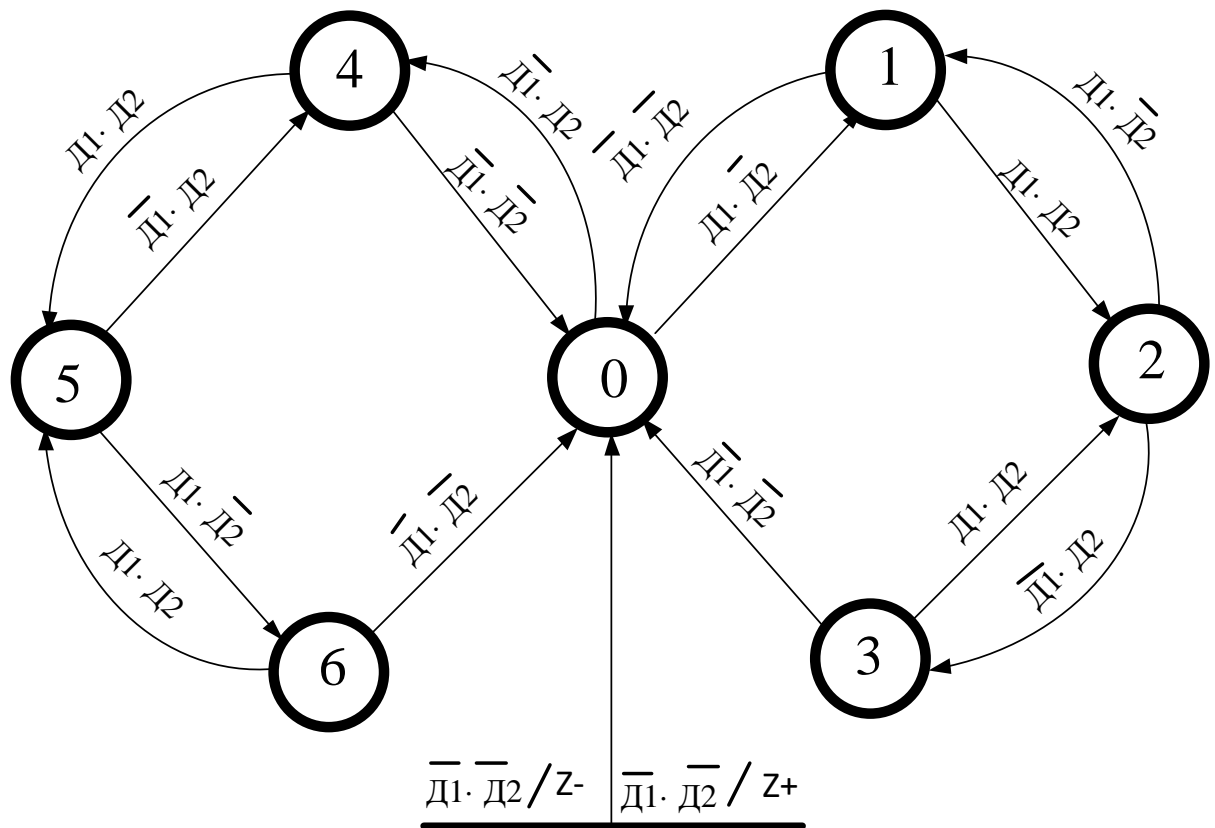


Рис. 2.2.1. Абстрактна математична модель алгоритму роботи пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти

На рис. 2.2.1 прийняти наступні позначення:

Z_+ — сигнал на додавання завантажених вагонеток на погрузочному пункті шахти;

Z_- — сигнал на віднімання завантажених вагонеток на погрузочному пункті шахти;

D_1 — сигнал від першого датчика контролю при входженні вагонетки в зону її контролю;

Д2— сигнал від другого датчика контролю при входженні вагонетки в зону її контролю.

Алгоритм роботи математичної моделі відбувається наступним чином. У початковому стані «0» вагонетка над датчиками відсутня. При наїзді вагонетки на датчик Д1 пристрій із стану «0» переходить в стан «1» і, якщо потяг із вагонетками рухається далі (іде загрузка), то при наїзді вагонетки на датчик Д2 пристрій із стану «1» перейде в стан «2». Якщо в подальшому потяг із вагонетками продовжує рухатися далі, знаходячись під загрузкою (вагонетка зїзжає із датчика Д1, але знаходиться над датчиком Д2), то пристрій із стану «2» перейде в стан «3». Якщо потяг із вагонетками продовжує загрузатись вугіллям, то вагонетка вийде із стану контролю датчика Д2 і електронний пристрій із стану «3» переходить в стан «0». У цей час електронний пристрій видасть короточасний (короткий імпульс) на суміруючий вхід реверсивного лічильника для підрахунку кількості загрузених вагонеток на погрузочному пункті шахти. Якщо після цього потяг із вагонетками розпочав рухатися в протилежному напрямку, то електронний пристрій із стану «0» перейде в стан «4» під дією датчиків Д2 і $\bar{D}1$ і т.д. Подальший рух потяга приведе до комбінації датчиків Д1·Д2 і переходу пристрою із стану «4» в стан «5», а при комбінації датчиків Д1· $\bar{D}2$ пристрій із стану «5» перейде в стан «6». Якщо в цьому стані датчики приймуть стан $\bar{D}1 \cdot \bar{D}2$, то електронний пристрій із стану «6» перейде в стан «0», видаючи в цей час короточасний (короткий імпульс) на віднімаючий вхід реверсивного лічильника для віднімання однієї вагонетки від кількості загрузених вагонеток на погрузочному пункті шахти (це пов'язано із маневрами потяга на погрузочному пункті шахти, що засвідчує про достовірність інформації яка буде надходити диспетчеру). Переходи із станів $3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow 0$; $6 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 0$ ураховують маневри загрузених вагонеток на погрузочному пункті шахти.

2.3. Розробка структурної математичної моделі та канонічних рівнянь роботи електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти

Використовуючи другий крок проектування для побудови електронних пристроїв контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти та абстрактну математичну модель, див. рис. 2.2.1 для її перетворення у структурну необхідно у відповідності з [10, 11, 12, 13] закодувати їх стани. Для кодування використаємо двійковий нормальний код. Кількість розрядів двійкового нормального коду (елементів пам'яті) можна знайти з виразу [10, 12]

$$n = \lceil \log_2 Q \rceil, \quad (2.3.1)$$

де Q – кількість станів абстрактної математичної моделі; n – загальна кількість елементів пам'яті розрядів двійкового коду; $\lceil \rceil$ – знак, який показує на найбільше ціле додатне число.

Використовуючи (2.3.1), отримаємо $n = 3$. Це говорить за те, що для реалізації семи станів абстрактної математичної моделі електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти необхідно використати три елементи пам'яті. Для простоти електронного пристрою, підвищення його надійності і спрощення у ремонті використаємо RS -тригери.

Для отримання структурної математичної моделі електронного пристрою автоматичного завантаження вугілля у залізничні вагонетки шахт кодування матиме наступний вигляд: $0 \rightarrow 000$; $1 \rightarrow 001$; $2 \rightarrow 011$; $3 \rightarrow 101$; $4 \rightarrow 100$; $5 \rightarrow 111$; $6 \rightarrow 110$.

Виходячи із заданого кодування, структурна математична модель електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти, матиме вид наведений на рис. 2.3.1.

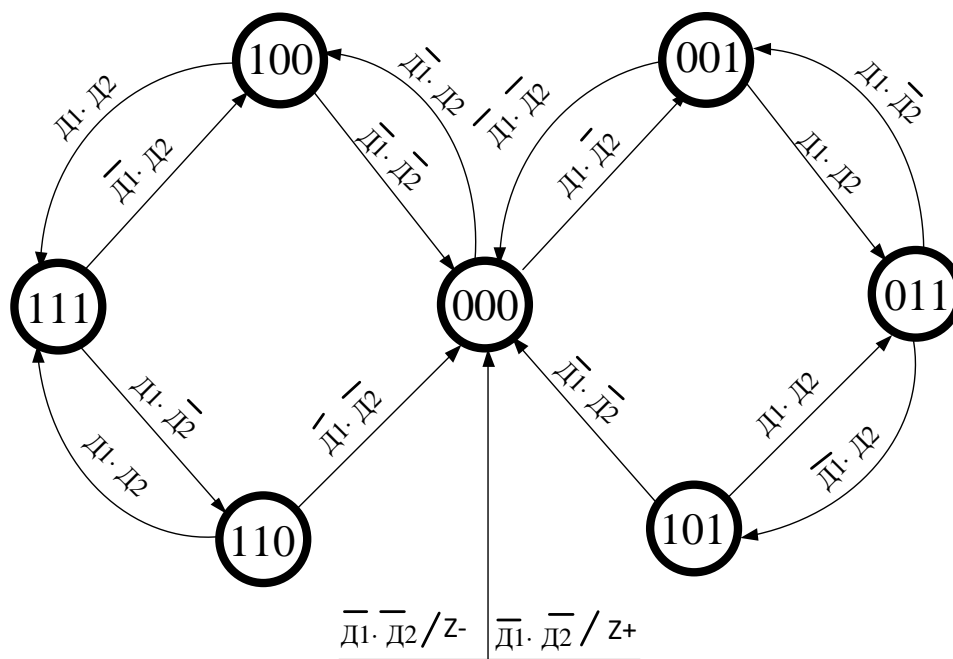


Рис. 2.3.1. Структурна математична модель пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти

Використовуючи третій крок проектування електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погрузочному пункті шахти, а також [10, 11], будемо таблицю переходів електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти, наведений в табл. 2.3.1. Таблиця виходів електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти матиме вигляд, наведений в табл. 2.3.2.

Переходи структурної математичної моделі електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти, наведені в табл. 2.3.1, а виходи – в табл. 2.3.2.

Таблиця переходів структурної математичної моделі

Таблиця 2.3.1

$Q_i \backslash D_i$	000	001	011	101	100	111	111
$D_1 \cdot \bar{D}_2$	001		001			110	
$\bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2$		000		000	000		000
$\bar{D}_1 \cdot D_2$	100		101			100	
$D_1 \cdot D_2$		011		100	111		111

Таблиця виходів структурної математичної моделі

Таблиця 2.3.2

$Q_i \backslash D_i$	000	001	101	110	100	111	111
$D_1 \cdot \bar{D}_2$							
$\bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2$			Z+	Z-			
$\bar{D}_1 \cdot D_2$							
$D_1 \cdot D_2$							

Із табл. 2.3.1, знаходимо рівняння керування трьома RS – триггерами електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти, які матимуть наступний вид:

$$\Phi_1^1 = D_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_3 \cdot \bar{y}_2 \vee D_1 \cdot D_2 \cdot y_3;$$

$$\Phi_1^0 = \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_2 \vee D_1 \cdot D_2 \cdot y_3 \cdot \bar{y}_2 \vee D_1 \cdot D_2 \cdot y_3;$$

$$\Phi_2^1 = D_1 \cdot D_2 \cdot \bar{y}_3 \cdot y_1 \vee D_1 \cdot D_2 \cdot y_3;$$

$$\Phi_2^0 = D_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_3 \cdot y_1 \vee \bar{D}_1 \cdot D_2 \cdot y_1 \vee \bar{D}_1 \cdot D_2 \cdot y_3 \vee \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_1;$$

$$\Phi_3^1 = \bar{D}_1 \cdot D_2 \cdot \bar{y}_2 \cdot \bar{y}_1 \vee \bar{D}_1 \cdot D_2 \cdot y_1;$$

$$\varphi_3^0 = \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_2 \vee \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_1,$$

де $\varphi_1^1, \varphi_2^1, \varphi_3^1$ і $\varphi_1^0, \varphi_2^0, \varphi_3^0$ – функції включення і виключення відповідно першого, другого і третього елементів пам'яті електронного пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункт шахти (структурного автомата); y_1, y_2, y_3 і $\bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{y}_3$ – сигнали на виходах першого, другого і третього RS – тригерів структурного автомата, які відповідають логічним сигналам «1» і «0» відповідно. Функція φ_1 відповідає елементу кода розміщеного справа, а φ_3 – зліва. Рівняння включення першого елемента пам'яті φ_1^1 отримують слідуєчим чином. У таблиці переходів розглядають усі переходи кодових станів цієї функції з «0» до «1» під дією вхідних змінних. У кон'юнкцію вхідних змінних також записують і змінну другого елемента пам'яті, якщо вона не міняє свій знак при цьому переході. Якщо цей перехід для функції φ_1^1 відбувається не один раз, а, наприклад, два, то знайдені кон'юнкції змінних об'єднують знаком диз'юнкції.

Рівняння виключення першого елемента пам'яті φ_1^0 отримують аналогічно описаному з тою лише різницею, що при цьому розглядають лише переходи із стану «1» до стану «0». Рівняння для функції φ_2 отримують аналогічно описаному для функції φ_1 .

Використовуючи четвертий крок проектування для побудови електронних пристроїв контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункт шахти та таблицю виходів, знайдемо вихідні керуючі сигнали електронного пристрою, які матимуть наступний вигляд:

$$Z_+ = \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot (\bar{y}_3 \cdot y_2 \cdot \bar{y}_1 - \bar{y}_3 \cdot \bar{y}_2 \cdot \bar{y}_1);$$

$$Z_- = \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot (y_3 \cdot y_2 \cdot \bar{y}_1 - \bar{y}_3 \cdot \bar{y}_2 \cdot \bar{y}_1);$$

Наведені вище рівняння отримали так. Якщо у таблиці виходів на вході діють якісь вхідні змінні, то їх значення записується до значення вихідного сигналу з урахуванням значення стану де це відбувається. Якщо дій змінних немає, то до вихідної змінної записується тільки значення стану електронного пристрою.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОННОГО ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ЗАВАНТАЖЕНИХ ВАГОНЕТОК НА ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОМУ ПУНКТІ ШАХТИ

3.1. Вибір елементної бази електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти

На п'ятому кроці вибираємо елементну базу (логічні елементи, мультиплексори, програмовані логічні пристрої, лічильники тощо,) і будуємо електронний пристрій контролю кількості завантажених вагонеток на погруз пункті шахти. Проектування електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на погрузочному пункті шахти включе як стандартні частини (пам'ять, логічні схеми, лічильники та ін.), так і нестандартні, специфічні для даного проектування частини. Це насамперед схеми керування модулями електронного пристрою та схеми забезпечення їхньої взаємодії. Реалізація нестандартних частин історично була пов'язана із застосуванням мікросхем малого й середнього рівнів інтеграції, оскільки виготовлення на замовлення спеціалізованих ВІС пов'язано зі значними витратами засобів і часу. Використання схем малого й середнього рівнів інтеграції визиває різке зростання кількості корпусів ІС, ускладнює монтаж, знижує надійність.

Такі недоліки приводять до розроблення мікросхем з програмованими структурами. Одні з таких мікросхем виготовляються як закінчені стандартні вироби і потім програмуються користувачами згідно з вимогами конкретних проектів [7, 10, 14]. Споживач у цьому випадку позбавляється необхідності замовляти для себе дорогі спеціалізовані мікросхеми. Інші різновиди виготовляються як напівфабрикати й далі спеціалізуються за допомогою зменшеної кількості технологічних операцій. У цьому випадку споживач

істотно зменшує витрати на створення необхідного електронного пристрою [10, 12,14].

Першими представниками мікросхем з програмованою структурою стали [14] програмовані логічні матриці ПЛМ (*PLA, Programmable Logic Array*); програмована матрична логіка ПМЛ (*PAL, Programmable Array Logic*);

вентильні матриці ВМ (*GA, Gate Array*), частіше їх називають у вітчизняній літературі базовими матричними кристалами (БМК).

Мікросхеми *PLA* (ПЛМ) і *PAL* (ПМЛ) об'єднуються терміном *SPLD, Simple Programmable Logic Devices* (прості програмовані логічні пристрої).

Поява ПЛМ, ПМЛ і БМК ознаменувала початок найважливішого напряму в розвитку цифрової компонентної бази при проектуванні електронних пристроїв, у рамках якого економічно можливо застосовувати мікросхеми високого рівня інтеграції і в проектах з незначним тиражем випуску. Розробка ВІС/НВІС з програмованою та репрограмованою структурою виявилася надзвичайно перспективною і привела до нових ефективних засобів створення спеціалізованих ІС: *CPLD (Complex Programmable Logic Devices)*, *FPGA (Field Programmable Gate Arrays)*, *SGA (Structured Gate Arrays)*, *SOPC (System On Programmable Chip)* [7] та ін.

Доцільність застосування для проектування того чи іншого типу спеціалізованих програмованих ІС залежить від конкретних умов і великою мірою від обсягу випуску проєктованих електронних пристроїв.

Усі спеціалізовані програмовані ІС поділяються на програмовані користувачем логічні ІС (ПЛІС) і програмовані виробником ІС [7]. В обох випадках йдеться про програмування структури, тобто зміну схеми згідно з вимогами проєкту. Програмування користувачем або виробником істотно змінює характер проектування електронних пристроїв [7, 9, 12].

Серед програмованих користувачем мікросхем слід виділити [7, 9] :

1) **прості програмовані логічні пристрої**, зарубіжне позначення - *SPLD (Simple Programmable Logic Devices)*, які є першим поколінням мікросхем з

програмованою структурою, до числа яких належать мікросхеми ПЛМ і ПМЛ;

2) **складні програмовані логічні пристрої**, зарубіжне позначення - *CPLD (Complex Programmable Logic Devices)*;

3) **програмовані користувачем вентиляльні матриці**, зарубіжне позначення - *FPGA (Field Programmable Gate Arrays)*, які вирізняються максимальною складністю та максимальними функціональними можливостями.

До мікросхем, програмованими виробником (точніше - за його участю), належать напівзамовні й замовні ІС. До напівзамовних ІС входять:

1) **базові матричні кристали (БМК)**, з яких слід виділити **стандартні БМК**; зарубіжне позначення - *GA (Standard Gate Arrays)*;

2) **структуровані БМК**, зарубіжне позначення - *Structured GA*, що з'явилися останнім часом.

Повністю замовні мікросхеми виділяються найкращими технічними характеристиками, але й найдорожчим проектуванням. Вони поділяються на [7]:

1) схеми, що розробляються методом стандартних комірок, зарубіжне позначення - *SCL (Standard Cell Logic)*, тобто з широким використанням готових бібліотечних фрагментів схем;

2) повністю замовні, зарубіжне позначення - *FCL (Fully Custom Logic)*, що проектуються індивідуально аж до транзисторного рівня.

Важливим видом ВІС/НВІС стали й **системи на кристалі**. До систем на кристалі належать схеми, що об'єднують у собі всі основні функціональні елементи кінцевого продукту (процесор, пам'ять, апаратні швидкодіючі блоки різного функціонального призначення, інтерфейсні схеми і т. д.). Розроблення систем на кристалі потребує нових підходів до завдань їх проектування. Що стосується засобів реалізації систем на кристалі, то вони можуть бути різними. **Жорсткі системи**, зарубіжне позначення - *SOC (Systems On Chip)*, можуть бути реалізовані на повністю замовних або

напівзамовних схемах, **програмовані системи**, зарубіжне позначення - *SOPC* (*Systems On Programmable Chip*), у яких за основу, як правило, використовують програмовані користувачем вентильні матриці; зарубіжне позначення - *FPGA*.

Лівовою часткою інженерних розробок електронних пристроїв в умовах сучасної України, мабуть, якраз і буде використання схем з програмованою структурою для створення необхідних електронних пристроїв. При цьому програмовані ІС можуть використовуватися як у вигляді автономних електронних пристроїв, так і в складі мікропроцесорних систем [7, 9].

ПЛІС завдяки структурній збитковості та переналагоджуваності як в організації їх блоків, так і зв'язків між ними раціонально застосовувати для відпрацювання прототипів майбутнього електронного пристрою або навіть ранніх етапів його проектування [7, 14].

Як слідує із розділу 2, § 2.3, що знайдені канонічні рівняння роботи електронного пристрою автоматичного завантаження вугіллям у залізничні вагонетки шахт у вигляді досконалої нормальної форми, то, як слідує із вище сказаного, для їх реалізації найбільш підходять програмуємі логічні матриці (ПЛМ) [7, 9, 14]. Дані матриці представляють собою логічну схему для перетворення множини вхідних значень змінних $X = \{ x_1, x_2, \dots, x_m \}$ у відповідну множину вихідних значень змінних $Y = \{ y_1, y_2, \dots, y_m \}$ виражених у двійковому коді [7,10].

Біполярні ПЛМ з'явилися у середині 70-х років ХХ ст. Основою програмованих матриць є елементи «І» і «АБО», вхідні підсилювачі (ВП) і вихідні каскади (ВК). ВП перетворюють однофазні вхідні сигнали на парафазні і видають сигнали необхідної потужності для живлення матриці з елементів «І». ВК забезпечують навантажувальну здатність виходів, дозволяють або забороняють вихід ПЛМ на зовнішні шини, використовуючи сигнал *CS* (дозвіл вибірки кристалу).

ВІС, які виготовляє електронна промисловість світу, мають базову структуру ПЛМ, яка складається із матриці кон'юнкторів (матриця «І») і

матриці диз'юнкторів (матриця «АБО»). Структуру біполярної ПЛМ, мікросхема К556РТ1 [14], наведено на рис. 3.1.1.

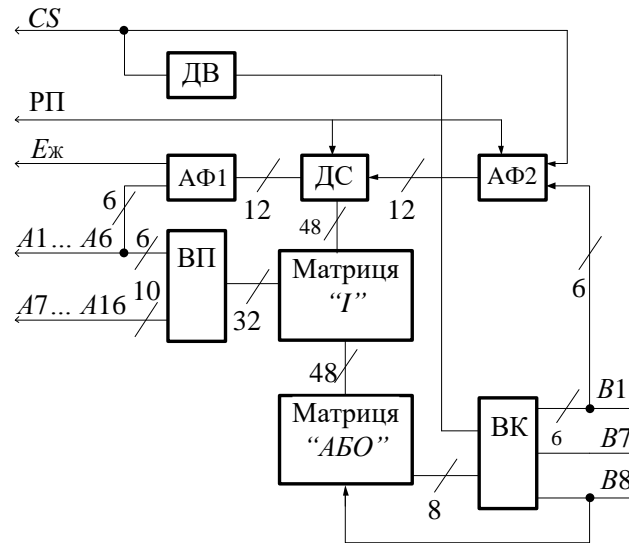


Рис. 3.1.1. Структура біполярної ПЛМ, мікросхема К556РТ1

Вона включає матрицю кон'юнкторів (матрицю «I»), матрицю диз'юнкторів (матрицю «АБО»), блок ВП, блок ВК, схему вибірки кристалу (ДВ), програмований дешифратор, програмовані адресні формувачі (АФ1, АФ2). Вхідні підсилювачі видають прямі та інверсні значення вхідних змінних за всіма шістнадцятьма входам (A_1, \dots, A_{16}) [14].

Дшифратор (ДС) і програмовані адресні формувачі (АФ1, АФ2) використовують тільки в режимах програмування й контролю НВІС.

Для наглядності й розуміння принципу побудови і роботи ПЛМ розглянемо базову функціональну схему мікросхеми серії К556РТ1 (рис. 3.1.2), де ВП1, ..., ВП16 – вхідні підсилювачі; К1, ..., К48 – кон'юнктори матриці «I»; Д1, ..., Д8 – диз'юнктори матриці «АБО»; ВК1, ..., ВК8 – вихідні каскади; P1, ..., P48 – шини кон'юнкцій; S1, ..., S8 – шини диз'юнкцій; F1, ..., F1928 – плавкі ніхромові перемикачі; VD1, ..., VD1536 – діоди Шоттки; VT1, ..., VT34 – транзистори; R1, ..., R6 – резистори.

Вхідні підсилювачі (ВП1, ..., ВП16) [14] формують прямі й інверсні значення змінних, які поступають у матрицю «I». Для управління вхідними

підсилювачами є входи ($A1, \dots, A16$). Вхідні підсилювачі побудовані на основі послідовно включених буферних схем «I-II» [14].

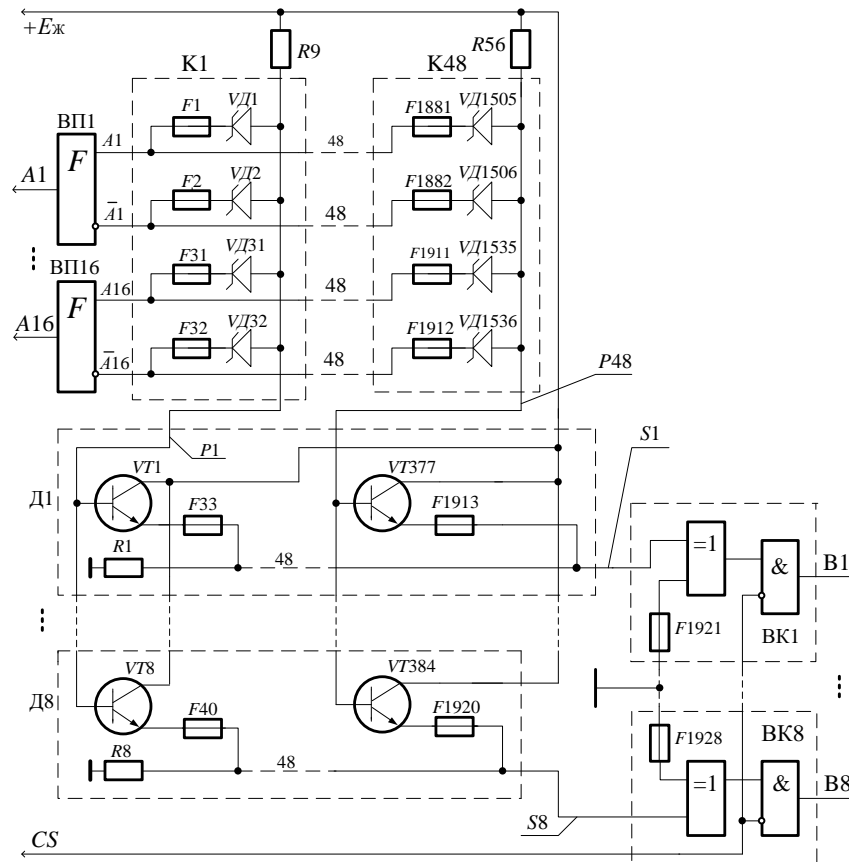


Рис. 3.1.2. базову функціональну схему мікросхеми серії K556PT1

Основними вузлами мікросхеми K556PT1 є матриці «I» та «АБО», які реалізують логічні функції. Перший рівень ПЛМ складається із 48 кон'юнкторів (матриця «I»), які з'єднані за допомогою плавких ніхромових перемичок з будь-яким із шістнадцяти спільних входів за допомогою буферних схем. Матриця «I» реалізує кон'юнкції вхідних змінних, причому кожна вхідна змінна входить в кон'юнкцію прямо або інверсно, або не входить зовсім. Вхідні сигнали, які з'являються на вхідних шинах матриці «I», уводяться у матрицю «АБО», яка утворює другий логічний рівень і реалізує диз'юнкції заданих кон'юнкцій. Матриця «АБО» створює вісім диз'юнкторів, кожний із яких може бути вибірково з'єднаний з будь-яким із сорока восьми кон'юнкторів [14].

Шини, які з'єднують ці дві матриці, називають шинами кон'юнкцій і позначають P_1, \dots, P_{48} , а шини, які з'єднують матрицю «АБО» з вихідними каскадами, називають шинами диз'юнкцій і позначають S_1, \dots, S_8 .

Програмованим елементом матриці «I» є діод Шоттки з плавкою ніхромовою перемичкою, а матриці «АБО», включені за схемою емітерного повторювача, є $n-p-n$ транзистором з плавкою ніхромовою перемичкою в емітері [14].

Каскади ВК1, ..., ВК8 включають логічні схеми «Виключаюче АБО» і підсилювачі зчитування. Наявність на вході каскаду логічної схеми «Виключаюче АБО» дає змогу інвертувати рівень вихідного сигналу залежно від сигналу на вході, тобто програмувати або активний високий, або активний низький рівень вихідного сигналу. Заземлення (підключення до сигналу «0») одного з двох входів логічної схеми «Виключаюче АБО» через плавку перемичку веде до того, що активним рівнем виходу стає вихідна напруга високого рівня, а виплавлення цієї перемички приводить до вихідної напруги низького рівня [14].

ВІС, як базова програмована логічна матриця, у режимі оброблення інформації працює наступним чином. Вхідні змінні A_1, \dots, A_{16} через блок вхідних підсилювачів у прямому чи інверсному значенні поступають на матрицю «I», де за допомогою діодів Шоттки й плавких ніхромових перемичок утворюють необхідні кон'юнкції P_1, \dots, P_{48} , які логічно сумуються матрицею «АБО», утворюючи функції S_1, \dots, S_8 , які надходять у вихідні каскади для подальшого їх перетворення й видачі на виходи B_1, \dots, B_8 [14].

Дана ПЛІС включає матрицю кон'юнкторів (матрицю «I») матрицю диз'юнкторів (матриця «АБО»), блок вхідних підсилювачів (ВП), блок вихідних каскадів (ВК), схему дозвону виборки кристалу (ДВ), програмуємий дешифратор, програмуємі адресні формірователі (АФ1, АФ2). Вхідні підсилювачі формують прямі і інверсні значення вхідних змінних по всім шістнадцяти входам ($A_1 \dots A_{16}$).

Програмуємий дешифратор (ДС) і програмуємі адресні формірователі (АФ1, АФ2) використовують тільки у режимах програмування і контролю.

Основними вузлами мікросхеми К556РТ1 є матриці «I» і «АБО» [14], які реалізують двохрівневі логічні функції. Перший рівень ПЛМ складається із 48 кон'юнкторів (матриця «I»), які з'єднані за допомогою плавких ніхромових перемичок з будь-яким із шістнадцяти спільних входів через буферні схеми. У матриці «I», реалізують кон'юнкції вхідних змінних, причому кожна вхідна змінна може входити в кон'юнкцію або прямим або інверсним значенням, або не входити зовсім. Вхідні сигнали, які появляються на вхідних шинах матриці «I», вводяться у матрицю «АБО», яка утворює другий логічний рівень і реалізує диз'юнкції заданих кон'юнкцій. Матриця «АБО» утворює вісім диз'юнкторів, кожен із яких може бути вибірково з'єднаний з будь-яким із сорока восьми кон'юнкторів.

Програмуємим елементом матриці «I» є діод Шотткі з плавкою ніхромовою перемичкою, а матриці «АБО» включені по схемі емітерного повторювача, *n-p-n* транзистор з плавкою ніхромовою перемичкою в емітері.

Вихідні каскади ВК1...ВК8 включають логічні схеми «Виключаюче АБО» і підсилювачі зчитування. Наявність на вході каскаду логічної схеми «Виключаюче АБО» дозволяє інвертувати рівень вихідного сигналу в залежності від сигналу на вході, тобто дозволяє програмувати або активний високий, або активний низький рівень вихідного сигналу. Заземлення (підключення до сигналу «0») одного із двох входів логічної схеми «Виключаюче АБО» через плавку перемичку веде до того, що активним рівнем виходу стає вихідна напруга високого рівня, а виплавлення цієї перемички веде до того, що активним рівнем стає вихідна низька напруга.

Графічне позначення мікросхеми ПЛМ К556РТ1 [14] зображено на рис. 3.1.3,

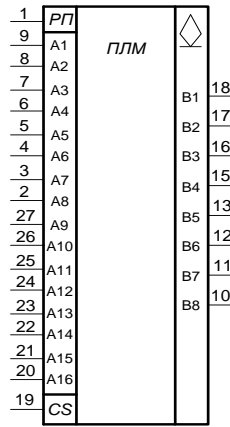


Рис. 3.1.2. Графічне зображення мікросхеми ПЛМ К556РТ1

На рис. 3.1.3. входи для підключення вхідних змінних та управління і програмування розміщені ліворуч, а результати виконання функцій мікросхемою – праворуч.

3.2. Розробка схеми електронного пристрою кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти

Використовуючи знайдені канонічні рівняння роботи електронного пристрою, ПЛМ повинна відповідати наступним параметрам. Кількість диз'юнкторів у ній повинно бути не менше 3, вхідних змінних не більше 16, вихідних 15 (6 - для управління *RS* – тригерами і 2 – для управління кількістю подружених вагонеток. Найближчою до таких параметрів є мікросхема ПЛМ [9, 14], мікросхема серії К556РТ1, яка має входи для 16 змінних, 8 виходів для реалізації функцій і 48 кон'юнкторів. Для визначених у § 3.3 функцій:

$\Phi_1^1, \Phi_1^0, \Phi_2^1, \Phi_2^0, \Phi_3^1, \Phi_3^0, Z_+, Z_-$, присвоюємо номери їх кон'юнкторам:

$$k_1 = D_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_3 \cdot \bar{y}_2; \quad k_2 = D_1 \cdot D_2 \cdot y_3; \quad k_3 = \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_2; \quad k_4 = D_1 \cdot D_2 \cdot y_3 \cdot y_2;$$

$$k_5 = D_1 \cdot D_2 \cdot y_3; \quad k_6 = \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_3 \cdot y_1; \quad k_7 = D_1 \cdot D_2 \cdot \bar{y}_3 \cdot y_1; \quad k_8 = \bar{D}_1 \cdot D_2 \cdot y_1;$$

$$k_9 = \bar{D}_1 \cdot D_2 \cdot y_3; \quad k_{10} = \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_1;$$

$$k_{11} = \bar{D}_1 \cdot D_2 \cdot \bar{y}_2 \cdot \bar{y}_1; \quad k_{12} = \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_3 \cdot y_2 \cdot \bar{y}_1; \quad k_{13} = \bar{D}_1 \cdot \bar{D}_2 \cdot \bar{y}_3 \cdot \bar{y}_2 \cdot \bar{y}_1;$$

$k_{14} = \bar{D}1 \cdot \bar{D}2 \cdot y_3 \cdot y_2 \cdot \bar{y}_1$; Використовуючи [7, 14], програмуємо отримані функції і їх результати заносимо у табл. 3.2.1.

Введемо наступні позначення вхідних змінних для таблиць програмування: $D1 \rightarrow a$; $D2 \rightarrow b$; $v \rightarrow y_3$; $z \rightarrow y_2$; $d \rightarrow y_1$.

Таблиця програмування ПЛМ

Таблиця 3.2.1

	Кон'юнктори														Рівень активності								
	Вхідні змінні														1	1	1	1	1	1	1	1	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>z</i>	<i>d</i>											Вихідні функції							
	Номер програмуемого входу														Φ_1^1	Φ_1^0	Φ_2^1	Φ_2^0	Φ_3^1	Φ_3^0	Z_+	Z_-	
	A																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	
k_1	1	0	0	0											A								
k_2	1	1	1												A								
k_3	0	0		0												A				A			
k_4	1	1	1	1												A							
k_5	1	1	1													A	A						
k_6	1	1	0		1												A						
k_7	1	0	0		1													A					
k_8	0	1			1													A	A				
k_9	0	1	1															A					
k_{10}	0	0			0													A		A			
k_{11}	0	1		0	0														A				
$k_{10} k_{12}$	0	0	0	1	0																A		
$k_{10} k_{13}$	0	0	0	0	0																A	A	
$k_{10} k_{14}$	0	0	1	1	0																	A	

Електронна схема пристрою контролю кількості загрузених вагонеток на погруз пункті шахти, яка виконана із застосуванням ПЛМ, реверсивного лічильника і електронного табло, наведена на рис. 3.2.1.

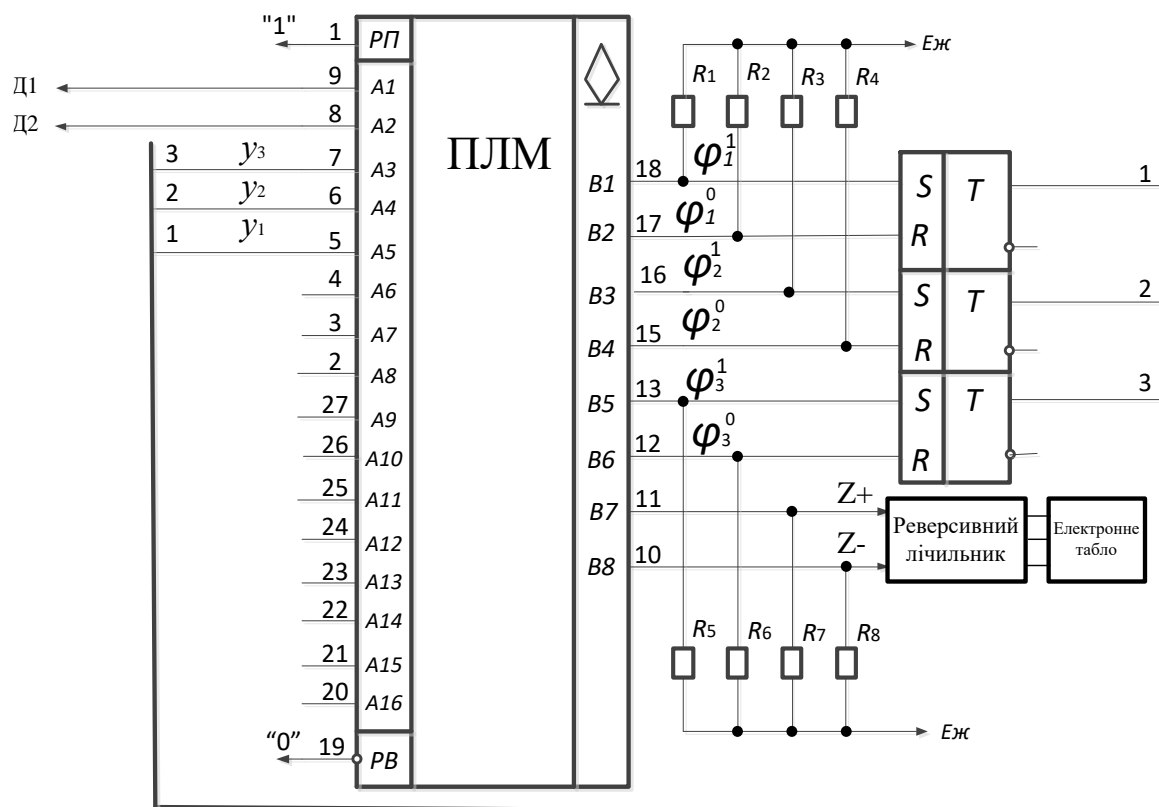


Рис. 3.2.1

Із рис. 3.2.1. слідує, що сигнали (Z_+ і Z_-) поступають на реверсивний лічильник, а з нього на електронне табло, де і висвітлюється кількість загрузених вагонеток на погрузочному пункті шахти.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було поставлене завдання розробити електронний пристрій контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти з використанням сучасних засобів мікроелектроніки. Даний електронний пристрій розроблений з використанням теорії комп'ютерної логіки, теорії автоматів та теорії алгоритмів і графів.

У процесі кваліфікаційної роботи були розроблені технічні вимоги, кроки проектування електронного пристрою та алгоритм контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти.

На підставі розробленого алгоритму були розроблені абстрактна та структурна математична модель, на основі яких, використовуючи теорію автоматів, отримані канонічні рівняння роботи електронного пристрою.

Аналіз отриманих канонічних рівнянь показав, що їх реалізацію найкраще виконати, використовуючи програмуємі логічні матриці (ПЛМ). У кваліфікаційній роботі показано, що для ПЛМ найкраще підходять ПЛМ серії K556PT1. На основі цих ПЛМ і стандартних логічних елементів розроблено електронний пристрій контролю кількості завантажених вагонеток на погрузочному пункті шахти. Даний електронний пристрій запрограмований на мові програмування використаної ПЛМ.

Розробка даної кваліфікаційної роботи показала можливість проектування електронних пристроїв контролю кількості завантажених вагонеток на погрузочному пункті шахти з використанням комп'ютерної логіки і теорії автоматів, що в свою чергу дало можливість застосовувати сучасну елементну базу, наприклад, ПЛМ.

Застосування даної роботи дозволить у значній мірі підвищити надійність роботи електронного пристрою контролю кількості завантажених вагонеток на завантажувальному пункті шахти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рудничный транспорт и механизация вспомогательных работ. Под общ. ред. Братченко Б.Ф. М.: Недра, 1978. – 423с.
2. Мухопад М. Д. Транспортні машини. — Харків: Вид-во «Основа» при Харк. ун-ті, 1993. — 192 с.
3. Автоматизация подземных горных работ /Под ред. Проф. А.А. Иванова – К.: Вища школа, 1987–328с.
4. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004—2013.
5. Пономаренко В.А., Клеймер Е. Л., Дунаев Г. А. и др Системы подземного транспорта на угольных шахтах. М: «Недра», 1975 - 309с.
6. Баранов С. И. Синтез микропрограммных автоматов. Ленинград; Энергия, 1979 – 232с.
7. Матвієнко М.П. Комп'ютерна логіка , Київ: Видавництво «Ліра-К», 2012 - 364с.
8. Матвієнко М. П. Пристрої цифрової електроніки К: «Ліра-К», 2015 - 392с.
9. Матвієнко М.П. Проектування цифрових пристроїв, Київ: Видавництво «Ліра-К», 2018 - 364с.
10. Жабин В.И. и др. Логические основы и схемотехника ЭВМ. - К: ВЕК+, 1999 – 128с.
11. Матвієнко М.П. Комп'ютерна схемотехніка , Київ: Видавництво «Ліра-К», 2013 - 192с.
12. Жабін В.І., Жуков І.А., Клименко І.А., Ткаченко Прикладна теорія цифрових автоматів. Видавництво НАУ , 2007 - 364с.
13. Жураковський Ю.П., Полторак В.П. Теорія інформації та кодуванн.. К: «Вища школа» , 2001 – 255с.
14. Отраслевой стандарт. ОСТ 11.340.915-82. Микросхемы интегральные серии 556(556РТ1, 556РТ2), Р556(Р556РТ1, Р556РТ2). Руководство по применению ОКП. 623 000.-51с