

УДК 621.771

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ НАДЕЖНОСТИ В
ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MULTISIM****Мальцев Андрей Анатольевич,**

доцент кафедр ФН-7 и МТ-10 МГТУ имени Н.Э. Баумана – e-mail: a.a.mal@bmstu.ru

Четвертак Юлия Сергеевна,старший преподаватель кафедры ФН-7 МГТУ имени Н.Э. Баумана – e-mail:
chetvertak@bmstu.ru**Аннотация**

В программной среде Multisim разработано электронное логическое устройство для оценки работоспособности технической системы, состоящей из муфельной электропечи и трех прокатных станов.

Ключевые слова: металлургия, электроника, работоспособность.

**IMPLEMENTATION OF THE RELIABILITY BLOCK DIAGRAM METHOD IN
THE MULTISIM SOFTWARE ENVIRONMENT****Andrey A. Maltsev,**associate professor of BMSTU ФН-7 and МТ-10 departments
e-mail: a.a.mal@bmstu.ru**Julia S. Chetvertak,**senior lecturer of BMSTU ФН-7 department
e-mail: chetvertak@bmstu.ru**ABSTRACT**

An electronic logic device has been developed in the Multisim software environment to evaluate the operability of a technical system consisting of a muffle electric furnace and three rolling mills.

Keywords: metallurgy, electronics, efficiency.

Актуальность темы исследования связана с анализом риска срыва лабораторной работы по теории прокатного производства из-за повреждения электросети и (или) поломки металлургического оборудования.

Объект исследования — техническая система, состоящая из муфельной электропечи и трех прокатных станов, подключенных к сети электропитания.

Муфельная электропечь горизонтальной загрузки (рис. 1), предназначенная для проведения термической обработки металлов и сплавов, используется для нагрева металлической заготовки до температуры прокатки. Конструкция электропечи выполнена с применением современных огнеупорных материалов, что сводит к минимуму тепловые и электрические потери.



Рисунок 1. Муфельная электропечь

Один из трех прокатных станов (рис. 2), расположенных в лаборатории и предназначенных для осуществления процесса горячей прокатки нагретой металлической заготовки [1].



Рисунок 2. Прокатный стан

Цель и задача исследования — разработать в программной среде Multisim электронное логическое устройство для оценки работоспособности объекта.

Материалы и методы исследования взяты из ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения», ГОСТ Р 51901 - 2002 «Управление надёжностью. Анализ риска технологических систем» и ГОСТ Р 51901.14 - 2005 «Менеджмент риска. Метод структурной схемы надёжности» (рис. 3).

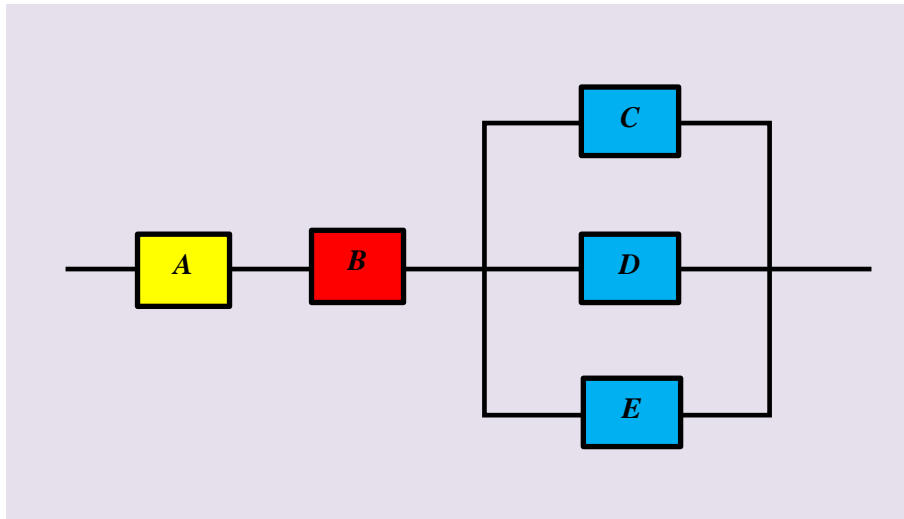


Рисунок 3. Структурная схема надежности объекта:

A – электросеть;

B – муфельная электропечь;

C – первый прокатный стан;

D – второй прокатный стан;

E – третий прокатный стан

Техническое состояние объекта – работоспособен ($F = 1$) или неработоспособен ($F = 0$) – описано таблицей истинности (табл. 1).

Таблица 1. Таблица истинности логической функции F

№	A	B	C	D	E	F
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0
2	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	1	1	0
4	0	0	1	0	0	0
5	0	0	1	0	1	0
6	0	0	1	1	0	0
7	0	0	1	1	1	0
8	0	1	0	0	0	0
9	0	1	0	0	1	0
10	0	1	0	1	0	0
11	0	1	0	1	1	0
12	0	1	1	0	0	0
13	0	1	1	0	1	0
14	0	1	1	1	0	0
15	0	1	1	1	1	0
16	1	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	1	0
18	1	0	0	1	0	0
19	1	0	0	1	1	0
20	1	0	1	0	0	0
21	1	0	1	0	1	0

22	1	0	1	1	0	0
23	1	0	1	1	1	0
24	1	1	0	0	0	0
25	1	1	0	0	1	1
26	1	1	0	1	0	1
27	1	1	0	1	1	1
28	1	1	1	0	0	1
29	1	1	1	0	1	1
30	1	1	1	1	0	1
31	1	1	1	1	1	1

Другими словами, лабораторная работа пройдет успешно, если работоспособен объект исследования ($F = 1$) – работоспособна электросеть ($A = 1$) и работоспособна муфельная электропечь ($B = 1$), и работоспособен хотя бы один из трех прокатных станков ($C = 1$) или ($D = 1$) или ($E = 1$).

Переход от таблицы истинности логической функции F к ее аналитическому выражению осуществлен по правилу представления логической функции $F(A, B, C, D, E)$ в виде совершенной дизъюнктивной нормальной форме (СДНФ):

$$\begin{aligned}
 F = 1 &= && (1) \\
 &= \text{минтерм №25} + \\
 &+ \text{минтерм №26} + \\
 &+ \text{минтерм №27} + \\
 &+ \text{минтерм №28} + \\
 &+ \text{минтерм №29} + \\
 &+ \text{минтерм №30} + \\
 &+ \text{минтерм №31} = \\
 &= A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} \cdot E + \\
 &+ A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D \cdot \bar{E} + \\
 &+ A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D \cdot E + \\
 &+ A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} \cdot \bar{E} + \\
 &+ A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} \cdot E + \\
 &+ A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot \bar{E} + \\
 &+ A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E .
 \end{aligned}$$

Минимизация логической функции $F(A, B, C, D, E)$ выполнена с помощью карты Карно [2, 3], представляющей собой матрицу из 32 клеток (табл. 2, 3, 4, 5).

Таблица 2. Карта Карно

	$\bar{A} \cdot \bar{B}$	$\bar{A} \cdot B$	$A \cdot B$	$A \cdot \bar{B}$
$\bar{C} \cdot \bar{D} \cdot \bar{E}$	0	0	0	0
$\bar{C} \cdot \bar{D} \cdot E$	0	0	1	0
$\bar{C} \cdot D \cdot E$	0	0	1	0
$\bar{C} \cdot D \cdot \bar{E}$	0	0	1	0
$C \cdot D \cdot \bar{E}$	0	0	1	0
$C \cdot D \cdot E$	0	0	1	0

$C \cdot \bar{D} \cdot E$	0	0	1	0
$C \cdot \bar{D} \cdot \bar{E}$	0	0	1	0

Таблица 3. Получение импликанты $A \cdot B \cdot C$

	$\bar{A} \cdot \bar{B}$	$\bar{A} \cdot B$	$A \cdot B$	$A \cdot \bar{B}$
$\bar{C} \cdot \bar{D} \cdot \bar{E}$	0	0	0	0
$\bar{C} \cdot \bar{D} \cdot E$	0	0	1	0
$\bar{C} \cdot D \cdot E$	0	0	1	0
$\bar{C} \cdot D \cdot \bar{E}$	0	0	1	0
$C \cdot D \cdot \bar{E}$	0	0	1	0
$C \cdot D \cdot E$	0	0	1	0
$C \cdot \bar{D} \cdot E$	0	0	1	0
$C \cdot \bar{D} \cdot \bar{E}$	0	0	1	0

$$\begin{aligned}
 & A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot \bar{E} + A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E + A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} \cdot E + A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} \cdot \bar{E} = \\
 & + A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot (\bar{E} + E) + A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} \cdot (E + \bar{E}) = \\
 & = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot 1 + A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} \cdot 1 = \\
 & = A \cdot B \cdot C \cdot D + A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} = \\
 & = A \cdot B \cdot C \cdot (D + \bar{D}) = \\
 & = A \cdot B \cdot C \cdot 1 = \\
 & = A \cdot B \cdot C
 \end{aligned}$$

Таблица 4. Получение импликанты $A \cdot B \cdot D$

	$\bar{A} \cdot \bar{B}$	$\bar{A} \cdot B$	$A \cdot B$	$A \cdot \bar{B}$
$\bar{C} \cdot \bar{D} \cdot \bar{E}$	0	0	0	0
$\bar{C} \cdot \bar{D} \cdot E$	0	0	1	0
$\bar{C} \cdot D \cdot E$	0	0	1	0
$\bar{C} \cdot D \cdot \bar{E}$	0	0	1	0
$C \cdot D \cdot \bar{E}$	0	0	1	0
$C \cdot D \cdot E$	0	0	1	0
$C \cdot \bar{D} \cdot E$	0	0	1	0
$C \cdot \bar{D} \cdot \bar{E}$	0	0	1	0

$$\begin{aligned}
 & A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D \cdot E + A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D \cdot \bar{E} + A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot \bar{E} + A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E = \\
 & = A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D \cdot (E + \bar{E}) + A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot (\bar{E} + E) = \\
 & = A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D \cdot 1 + A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot 1 = \\
 & = A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D + A \cdot B \cdot C \cdot D = \\
 & = A \cdot B \cdot D \cdot (\bar{C} + C) = \\
 & = A \cdot B \cdot D \cdot 1 = \\
 & = A \cdot B \cdot D
 \end{aligned}$$

Таблица 5. Получение импликанты $A \cdot B \cdot E$

	$\bar{A} \cdot \bar{B}$	$\bar{A} \cdot B$	$A \cdot B$	$A \cdot \bar{B}$
$\bar{C} \cdot \bar{D} \cdot \bar{E}$	0	0	0	0
$\bar{C} \cdot \bar{D} \cdot E$	0	0	1	0

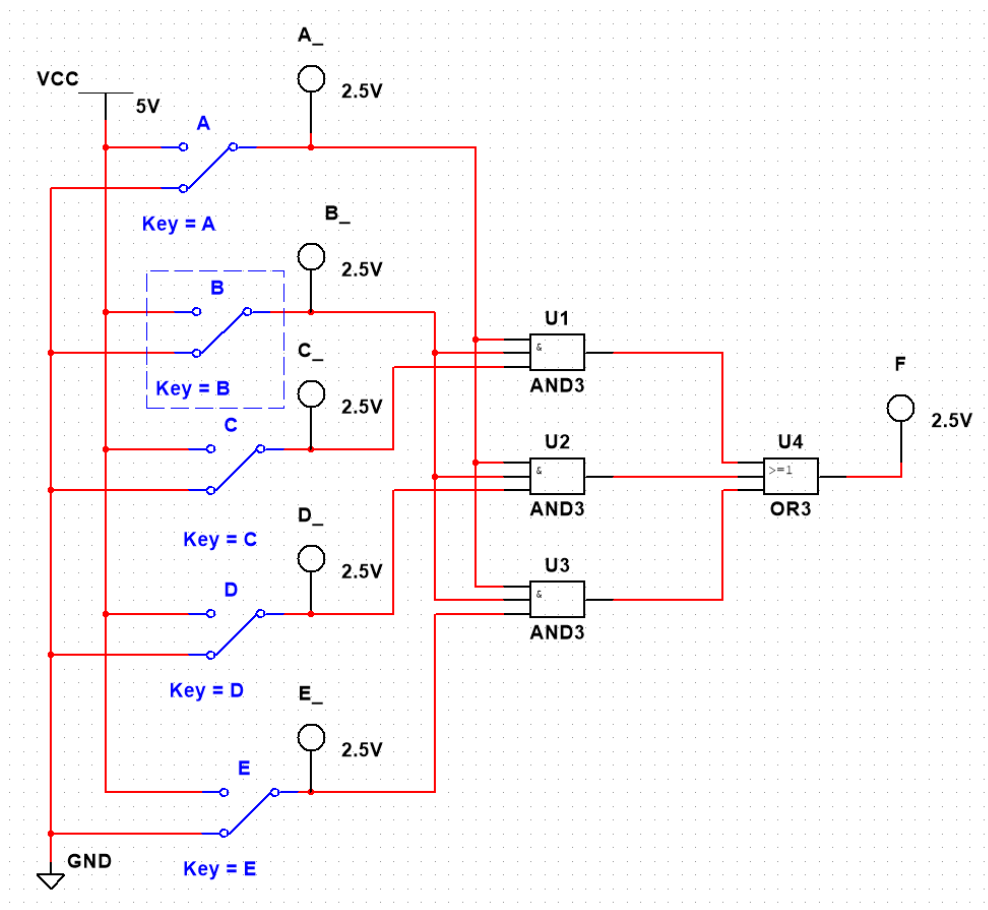
$\bar{C} \cdot D \cdot E$	0	0	1	0
$\bar{C} \cdot D \cdot \bar{E}$	0	0	1	0
$C \cdot D \cdot \bar{E}$	0	0	1	0
$C \cdot D \cdot E$	0	0	1	0
$C \cdot \bar{D} \cdot E$	0	0	1	0
$C \cdot \bar{D} \cdot \bar{E}$	0	0	1	0

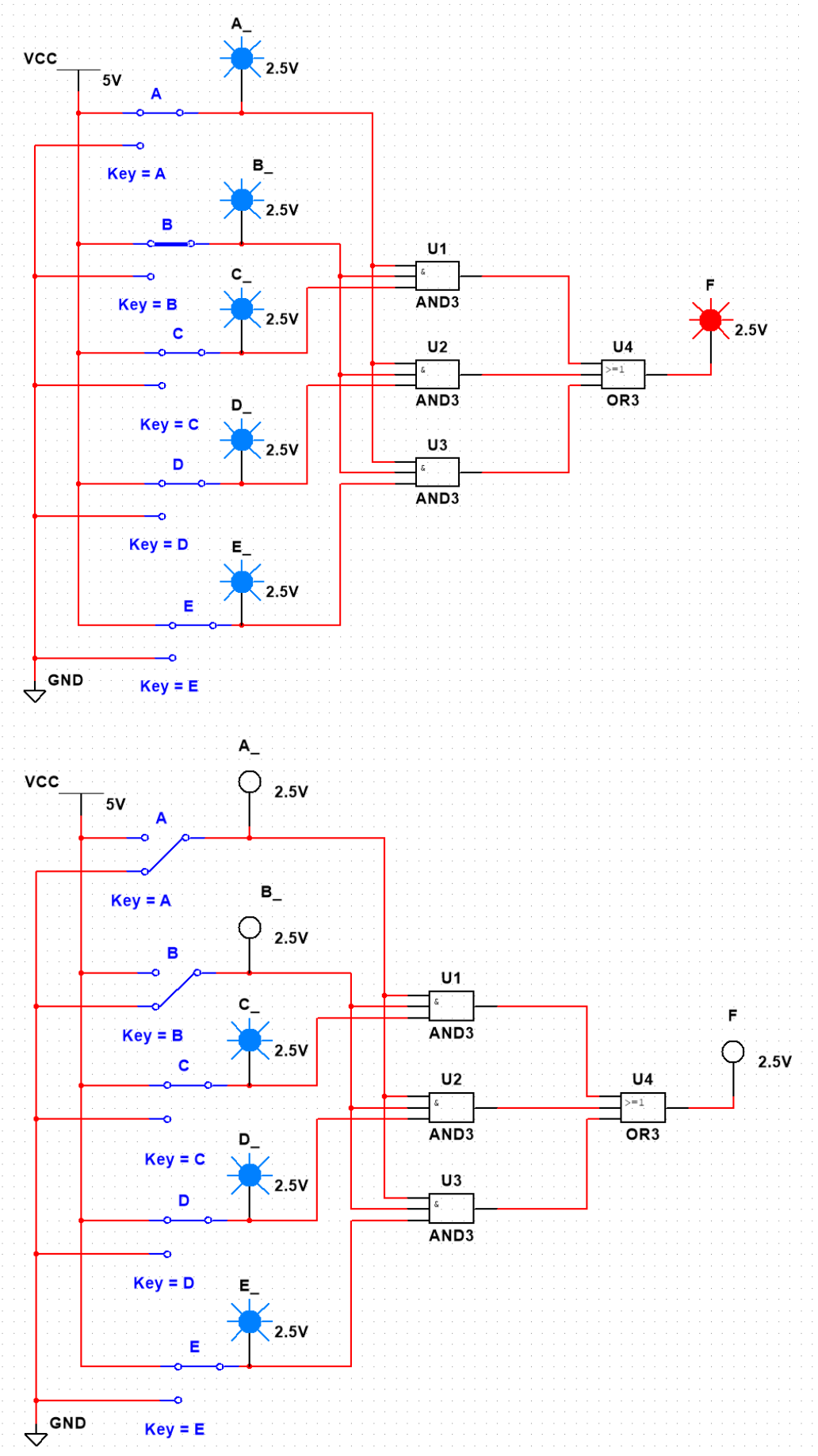
$$\begin{aligned}
 & A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot \bar{D} \cdot E + A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot D \cdot E + A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot E + A \cdot B \cdot C \cdot \bar{D} \cdot E = \\
 & = A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot E \cdot (\bar{D} + D) + A \cdot B \cdot C \cdot E \cdot (D + \bar{D}) = \\
 & = A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot E \cdot 1 + A \cdot B \cdot C \cdot E \cdot 1 = \\
 & = A \cdot B \cdot \bar{C} \cdot E + A \cdot B \cdot C \cdot E = \\
 & = A \cdot B \cdot E \cdot (\bar{C} + C) = \\
 & = A \cdot B \cdot E \cdot 1 = \\
 & = A \cdot B \cdot E
 \end{aligned}$$

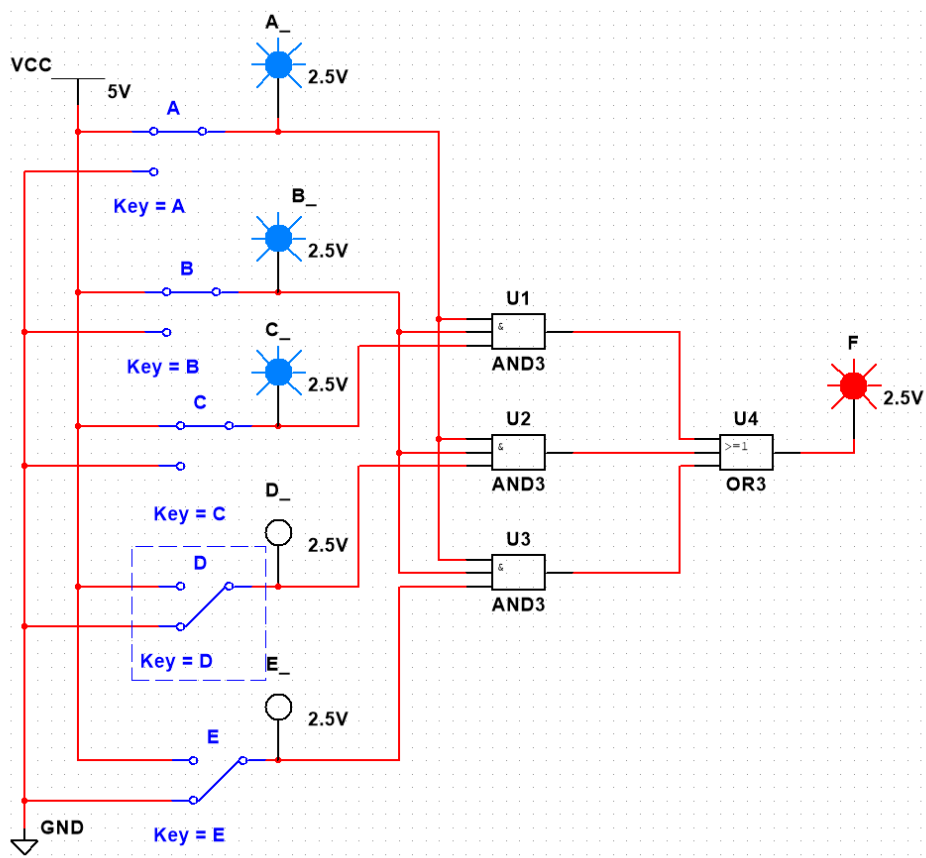
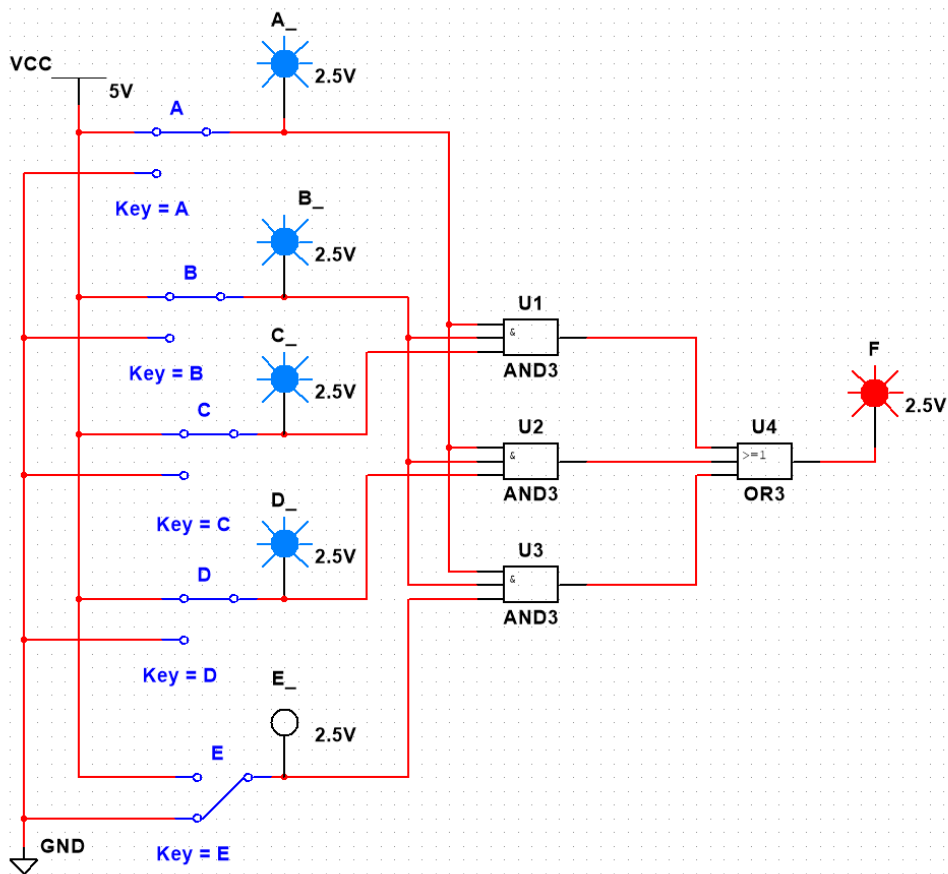
Таким образом была получена логическая функция F в минимальной дизъюнктивной нормальной форме (МДНФ):

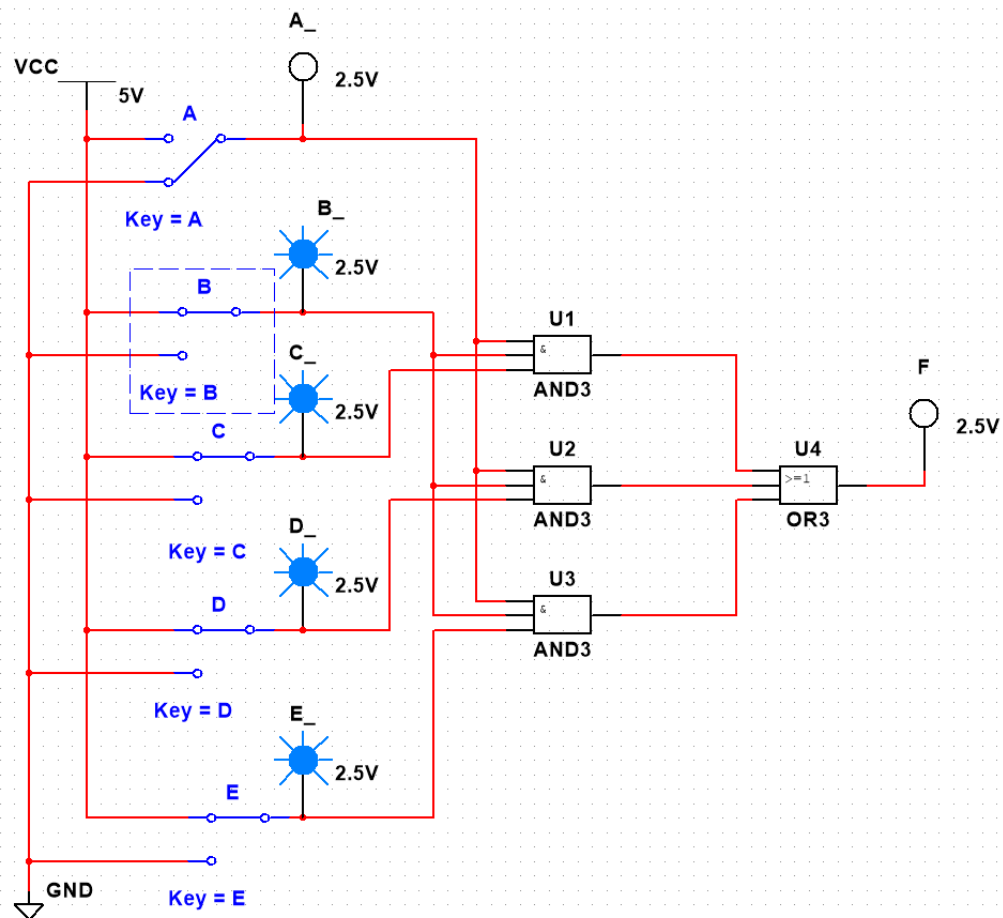
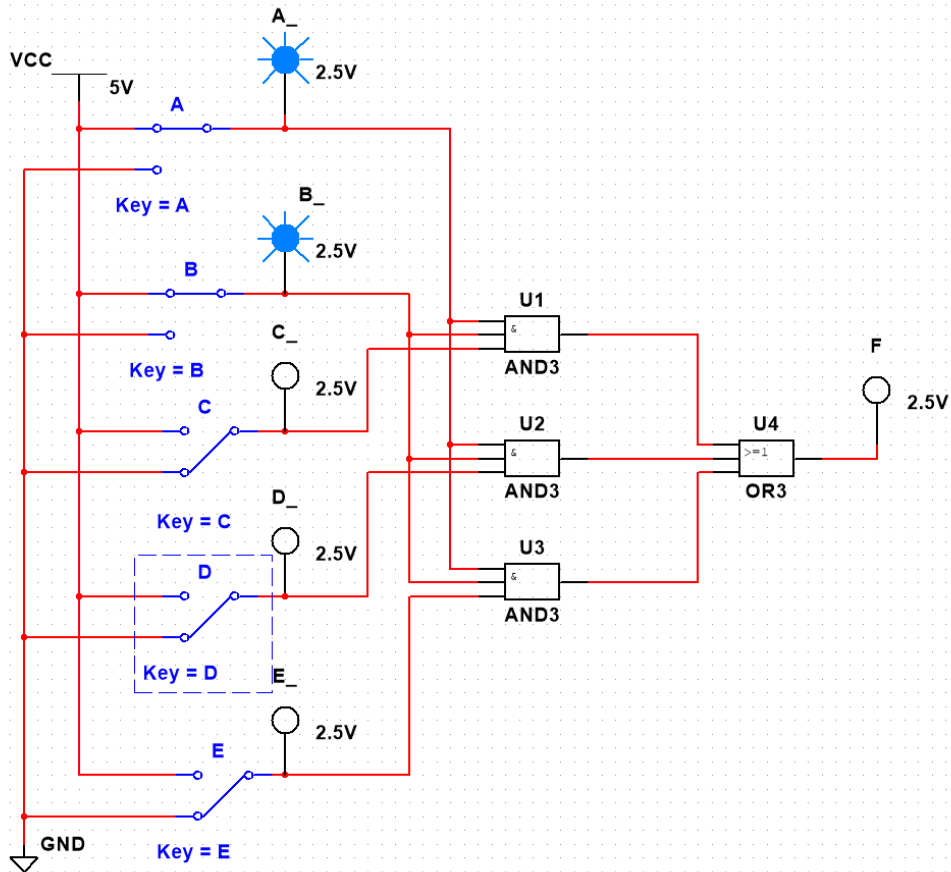
$$F = A \cdot B \cdot C + A \cdot B \cdot D + A \cdot B \cdot E = 1. \tag{2}$$

В результате исследования верифицировано виртуальное цифровое комбинационное логическое устройство (рис. 4), разработанное авторами для оценки работоспособности технической системы, состоящей из нагревательной печи и трех прокатных станов.









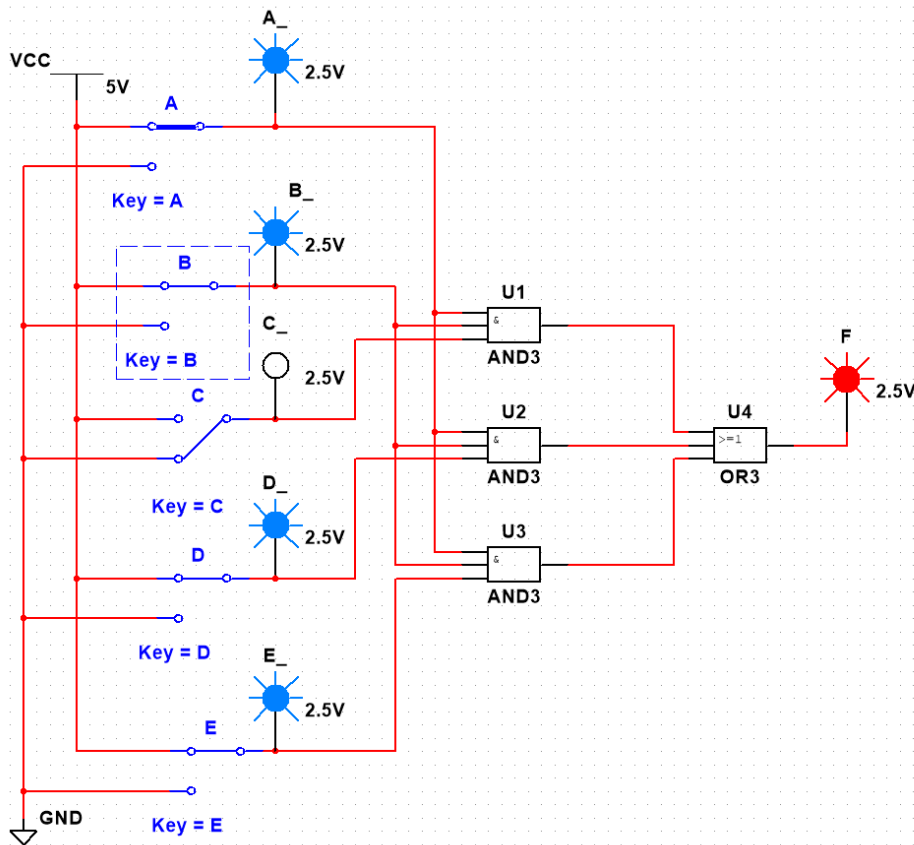
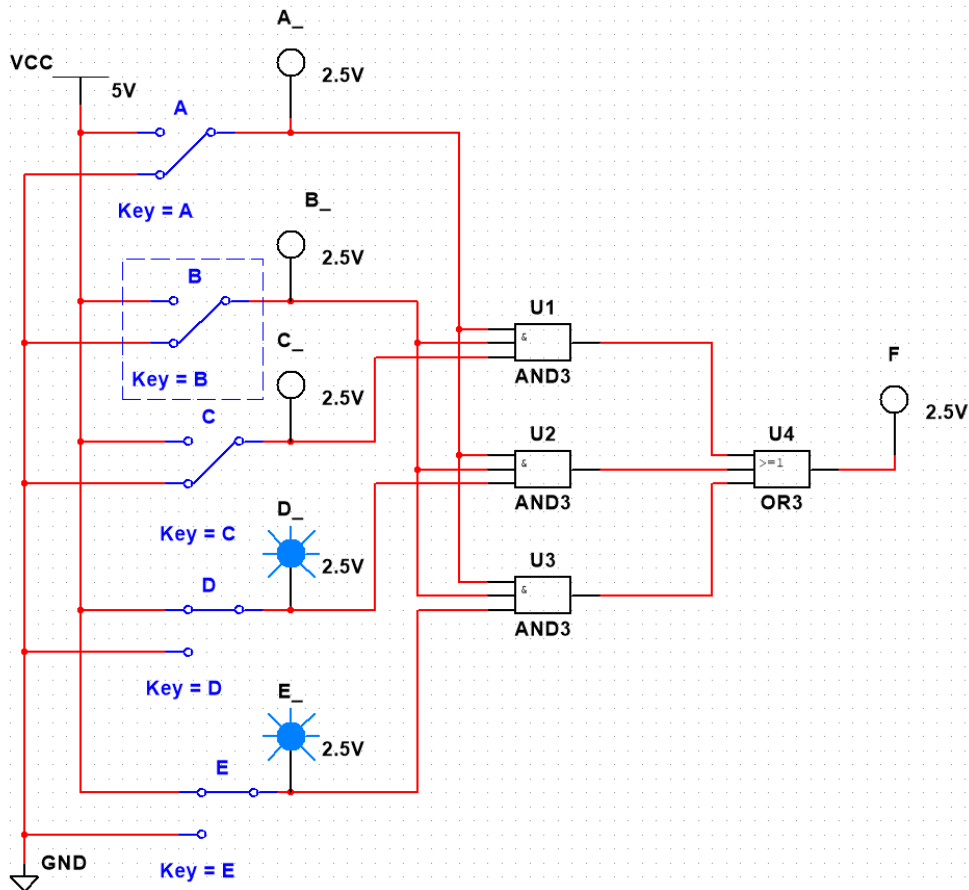


Рисунок 4. Логическая схема в среде Multisim (верификация строк таблицы истинности):
 U1, U2, U3 – логические элементы «И»;

U4 – логический элемент «ИЛИ»;

A, B, C, D, E – ключи;

A_, B_, C_, D_, E_, F – светодиоды (порог срабатывания 2,5 В)

VCC – напряжение питания 5 В (логическая единица);

GND – заземление (логический ноль)

Заключение: результат исследования будет востребован для написания раздела «Реализация метода структурной схемы надежности в программной среде Multisim» электронного учебника по дисциплине «Основы динамики и надежности металлургического оборудования».

Список литературы:

1. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Том. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката: учебник для вузов. – Москва: Металлургия, 1988. – 680 с.
2. Васильев И.А., Люминарская Е.С. Исследование и проектирование комбинационных логических устройств в программной среде Multisim: методические указания к выполнению лабораторной работы. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. – 21 с.
3. Соболев В.А., Соловьев В.А. Проектирование дискретного комбинационного цифрового устройства на интегральных микросхемах: учебно-методическое пособие. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. – 70 с.

References:

1. Tselikov A.I., Polukhin P.I., Grebenik V.M. et al. Machines and aggregates of metallurgical plants. Vol. 3. Machines and units for the production and finishing of rolled products: textbook for universities. – Moscow: Metallurgy, 1988. – 680 p.
2. Vasiliev I.A., Luminarskaya E.S. Research and design of combinational logic devices in the Multisim software environment: methodological guidelines for laboratory work. – Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2018. – 21 p.
3. Sobolev V.A., Soloviev V.A. Design of a discrete combinational digital device on integrated circuits: an educational and methodical manual. – Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 2022. – 70 p.