

Оригинальное теоретическое исследование
 УДК 681.325.6; 681.38; 621.374.33
 DOI: 10.46418/3033-7852_2026_2_2_68-76

МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ СРАБАТЫВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СХЕМЫ D-ТРИГГЕРОМ НА ПРИМЕРЕ АВТОМАТА МУРА В ПАССАЖИРСКОМ ЛИФТЕ

Владимир Олегович Дронов

Высшая школа технологии и энергетики, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий
 и дизайна; ООО «ЦЭПИКС»; Санкт-Петербург, Россия

© Дронов В. О., 2026

e-mail: vvvvdr@mail.ru

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается метод повышения надежности систем управления пассажирским лифтом путем диагностирования контактной схемы с использованием D-триггера на примере автомата Мура. Актуальность исследования обусловлена необходимостью модернизации систем диспетчеризации, а также отсутствием единых стандартов в данной области. Цель работы — предложить метод проверки состояния контактной схемы при вызове лифта, позволяющий детектировать такие неисправности, как сваривание рабочих контактов, несанкционированное замыкание контактов, и минимизировать время простоя оборудования. В качестве методологической базы использован аппарат теории конечных автоматов, в частности модель автомата Мура, позволяющая описать последовательностные функции управления. В ходе исследования построена интегрированная таблица состояний, выполнена минимизация функций возбуждения для D-триггера аналитическим методом, получены оптимизированные логические выражения для выходных сигналов. Практическая значимость работы заключается в возможности аппаратной реализации решения в виде унифицированного интерфейсного модуля, что обеспечивает универсальность монтажа и упрощает интеграцию с существующими системами управления. Применение метода позволяет своевременно выявлять неисправности и, в отдельных случаях, завершать рабочий цикл лифта до перехода в аварийный режим, что повышает эффективность и безопасность вертикального транспорта.

Ключевые слова: техническое диагностирование контактной схемы, мониторинг состояния контактной схемы, самоподхват контакта лифта, конечный автомат Мура, D-триггер лифта, автоматическая система управления и диспетчеризации, FSM, FPGA/CPLD-based control, fault detection and diagnosis

Для цитирования: Дронов В. О. Метод верификации срабатывания контактной схемы D-триггером на примере автомата Мура в пассажирском лифте // Технология и энергетика. 2026. № 2 (2). С. 68–76. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_2_2_68-76

A METHOD FOR VERIFYING THE ACTIVATION OF A CONTACT CIRCUIT BY A D-FLIP-FLOP USING THE EXAMPLE OF A MOORE MACHINE IN A PASSENGER ELEVATOR

Vladimir Olegovich Dronov

Higher School of Technology and Energy, St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design; LLC "CEPIKS"; St.
 Petersburg, Russia

e-mail: vvvvdr@mail.ru



ABSTRACT

The article presents a method for improving the reliability of passenger elevator control systems through diagnostics of the contact circuit using a D-flip-flop, based on the example of a Moore machine. The relevance of this research is determined by the need to modernize dispatching systems and the lack of uniform standards in this domain. The purpose of this work is to propose a method for checking the contact circuit status during an elevator call, capable of detecting faults such as contact welding and unauthorized contact shorting, and minimizing equipment downtime. The methodological framework of this study is based on the theory of finite automata, specifically the Moore automaton model, which allows for the description of sequential control functions. In the course of the investigation, an integrated state table was developed, the excitation functions for the D-type flip-flop were minimized by means of an analytical method, and optimized logical expressions for the output signals were obtained. The practical value of this research lies in the feasibility of hardware implementation of the solution as a standardized interface module, ensuring universal mounting and easier integration with existing control systems. Using this method makes it possible to detect faults in a timely manner and, in certain cases, to finish the elevator's working cycle before it enters emergency mode, which enhances both the efficiency and safety of vertical transport.

Keywords: technical diagnosis of the contact circuit, contact circuit status monitoring, elevator contact self-latching, Moore finite-state machine, D-trigger of the elevator, automatic control and dispatching system, FSM, FPGA/CPLD-based control, fault detection and diagnosis

For citation: Dronov, V. O. (2026) 'A method for verifying the activation of a contact circuit by a D-flip-flop using the example of a Moore machine in a passenger elevator', Technology and Energy, vol. 2, no. 2, pp. 68–76. DOI: 10.46418/3033-7852_2026_2_2_68–76

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая схема лифтов содержит электрические и электронные аппараты, в которых коммутация осуществляется через контактную часть. Автоматическая система управления и диспетчеризации (АСУД) подает сигнал на реле, которые срабатывают, перемещая механические контакты в нужное положение. Рассмотрим ситуацию, что какой-то контакт схемы не среагировал (аварийное замыкание), в этом случае на диспетчерском пульте фиксируется сигнал «авария», и бригада электромехаников получает наряд и выезжает на место. Лифт в это время будет находиться в режиме «аварийный стоп» до устранения неисправности. В качестве примера предположим, что диагностировано несанкционированное замыкание контакта концевого выключателя положения на третьем этаже 9-этажного дома. Автоматика отрабатывает неисправность и останавливает работу электропривода. Рассмотрим ситуацию, что лифт в это время совершает цикл работы в час пик. Пассажиры не заказывают вызов на третий этаж, едут на другие. В этом случае цикл работы лифта может быть закончен выгрузкой пассажиров до перехода лифта в режим «аварийный стоп», если система способна на верификацию срабатывания сигнала технической неисправности.

Так как «единого документа, в котором были бы изложены все требования к системам диспетчеризации, в России нет» [1], необходимо повышать надежность релейно-контакторной схемы, а также

облегчать поиск и устранение неисправностей в системе электропитания лифта. При перебоях напряжения установка D-триггера может использоваться как самоподхват контактной части. В данной статье будет рассматриваться метод мониторинга состояния аппаратов контактной схемы при помощи установки D-триггера в кнопку вызова лифта.

Актуальность. Модернизация систем диспетчерского контроля должна производиться одновременно с совершенствованием методов обнаружения и устранения неисправностей. Данный метод описывается автоматом Мура, в котором определение состояния перехода соответствует выходным сигналам стандартных датчиков. При составлении программы для автомата могут быть определены различные характеристики срабатывания переходов между состояниями, учитывающие стандарты безопасности на наличие дребезгов и шумов в контактной схеме (в настоящей статье не освещаются).

Частые аварийные остановки лифта могут стать причиной его преждевременной замены. Нередко неисправность контактной части электрических аппаратов может свидетельствовать о неправильном функционировании целого узла электрической цепи. Поэтому своевременное обнаружение неисправности в электрической части схемы позволит оперативно произвести ее устранение. Предлагаемый метод верификации срабатывания поможет скорее восстановить энергоснабжение



поврежденного участка, а при составлении детального алгоритма работы механизма позволит завершить цикл работы — рейс на вызов, что даст возможность избежать «застревания» пассажиров в лифте.

Целью данной статьи является предложение метода верификации срабатывания состояния контактной схемы D-триггером при вызове лифта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Функции, значение которых зависит не только от текущих, но и от предыдущих значений входных переменных, называются последовательностными функциями, а их реализация — последовательностной цепью. Эта зависимость проявляется во времени, поэтому вместо таблиц истинности мы будем описывать математические функции конечным последовательным автоматом (с конечным числом состояний).

Конечный автомат можно представить в виде таблицы состояний. Ее строки — состояния автомата, столбцы — входные символы. Элемент, записанный в строке q_i столбца Q_j , характеризует следующее состояние и выходной символ, получаемые в том случае, если Q_j прикладывается в момент, когда автомат находится в состоянии q_i . Эти величины называются соответственно функциями перехода $N(q_i, Q_j)$ и функциями выходного сигнала $Z(q_i, Q_j)$. Для описания устройства управления (УУ) будет использоваться принцип работы микропрограммного автомата Мура: «В настоящее время программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) широко применяются для реализации схем УУ... Для уменьшения числа макроячеек ПЛИС в схеме УУ необходимо уменьшать число входных переменных и промежуточных термов в реализуемых системах булевых функций (СБФ)» [2, с. 44]; [3].

Опишем состояния схемы управления автомата Мура на языке символов:

- состояния исходного автомата Мура $Q = (q_0, q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6, q_7)$;
- входные сигналы $N = (x_1, x_2, x_3, x_4)$;
- выходные сигналы $Z = (y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6)$.

Процедура синтеза последовательных цепей производится по шагам:

- 1) Составление таблицы состояний на основании словесного описания последовательностной функции;
- 2) Реализация таблицы состояний последовательностной цепью.

Для достижения цели поставлены задачи: рассмотреть принцип работы D-триггера в лифте на примере аварийного замыкания контакта, построить блок-схему алгоритма работы, описать рабочие состояния, построить модель автомата Мура для решения задачи мониторинга состояния, оптимизировать состояния методами алгебры логики, рассмотреть возможность реализации соединения в виде унифицированного аппаратного блока.

В настоящей работе строится интегрированная таблица состояний автомата Мура для D-триггера. Таблица объединяет состояния переходов и выходов. При определении значений выходных сигналов мы воспользуемся не методом карт Карно, а аналитическим методом.

Математически автомат Мура описывается следующим образом [4, с. 27–34]:

$$\begin{cases} q(t+1) = f(q(t) + x(t)), \\ z(t) = \phi(q(t)). \end{cases} \quad (1)$$

При задании состояний автомата принято составлять таблицы кодировки тех элементов памяти, которые были выбраны для целей проектирования, в нашем случае это D-триггер, таблица 1 (см. ниже). Для нахождения количества триггеров-состояний воспользуемся формулой:

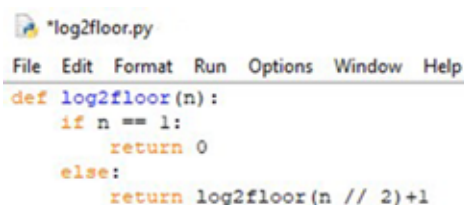
$$S_0 = \lceil \log_2 n \rceil. \quad (2)$$

Эта формула выводится из «Меры Хартли», полученная информация трактуется как уменьшение неопределенности [5, с. 4–6]. Подставим количество состояний в формулу и посчитаем количество задействованных триггеров по формуле 2:

$$S_0 = \log_2 n = S_0 = \log_2 8 = 3.$$

В проектируемой схеме будет использовано три триггера-состояния, что следует из максимального количества состояний в одном цикле: Q_1, Q_2, Q_3 .

Вычисление функции $\lceil \log_2 n \rceil$, где $n \in \mathbb{N}$, можно описать на Python, см. рисунок 1.



```
*log2floor.py
File Edit Format Run Options Window Help
def log2floor(n):
    if n == 1:
        return 0
    else:
        return log2floor(n // 2) + 1
```

Рисунок 1. Рекурсивная реализация функции определения разрядности кода состояний

Figure 1. Recursive implementation of the state code bit width determination function



Автоматам присуще свойство самовосстановления, при котором автомат в исходном условии, не перешедший по сигналу синхроимпульса в целевое состояние, должен перейти в него со следующим синхроимпульсом [6]. Выходные сигналы в ошибочном состоянии должны равняться нулю. Коэффициент ложных переходов определяет вероятность перехода одной рабочей кодовой комбинации в другую под влиянием помехи кратности, равной D . Для несимметричных кодов (где число тактов в цикле различно) при D -кратной ошибке коэффициент ложных переходов определяется как среднее значение, что характеризует их отказоустойчивость [7]. В этом случае тактирование осуществляется добавлением еще одного состояния, равного начальному. На этапе проектирования это условие наиболее наглядно возможно представить в модели модифицированного графа состояния.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Итак, в качестве элемента памяти для мониторинга состояния контактной схемы будет взят D-триггер. Этот тип триггера ведет себя аналогично элементу задержки, выход у которого в момент времени t равен входу x в момент времени $t - D$; D — постоянная независимая величина задержки, значение которой определяется частотой следования импульсов синхронизации. Кодирование состояний автомата для срабатывания D-триггера показано в таблице 1.

Таблица 1. Кодирование состояний автомата

Table 1. Automaton state encoding

$q(t)$	q_0	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6	q_7
Q_3	0	0	0	0	1	1	1	1
Q_2	0	0	1	1	0	0	1	1
Q_1	0	1	0	1	0	1	0	1

Состояние входа D-триггера подается на выход без учета его текущего состояния. Приведем формулу, определяющую следующее состояние через D-триггер:

$$Q(t+1) = D \cdot \overline{Q(t)} + D \cdot Q(t) = D, \quad (3)$$

где $Q(t)$ — текущее состояние триггера в момент времени t ;

$Q(t+1)$ — следующее состояние триггера в момент времени $t+1$ после прихода синхроимпульса;

D — сигнал на входе D-триггера в момент времени t .

Срабатывание D-триггера приравнивается к независимой величине задержки Δ_n и рассматривается в сочетании со срабатыванием датчиков. Значение введенной величины дельты следования может соотноситься с временем переходных процессов, а также допустимой

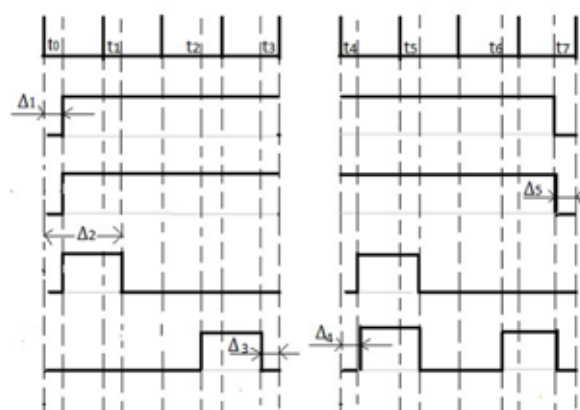


Рисунок 2. Дельта следования, способная привести к ошибке перехода: Δ_1 — сигнал, свидетельствующий о наличии питания при запуске электропривода для перемещения кабины лифта на этажный вызов, соответствует переменной x_1 ; Δ_5 — сигнал, синхронизированный с сигналом проверки по перегреву двигателя, x_4 (схематично изображен окончанием временного цикла работы); Δ_2 — проверка на отказ типа «ложное замыкание» контактов, синхронизированная с датчиком веса, на схеме соответствует переменной x_3 ; Δ_3, Δ_4 — сигнал проверки на рассогласование, синхронизированный с открыванием и закрыванием дверей кабины, соответствует переменной x_2 .

Figure 2. A succession delta that can lead to a transition error: Δ_1 — the signal indicating the presence of power when starting the electric drive for moving the elevator car to a floor call corresponds to the variable x_1 ; Δ_5 — the signal synchronized with the motor overhear verification signal, x_4 (represented schematically by the end of the operating time cycle); Δ_2 — the test for a false short-circuit type contact failure, which is synchronized with the weight sensor, is represented by the variable in the diagram x_3 ; Δ_3, Δ_4 — the mismatch check signal synchronized with the opening and closing of the elevator car doors, corresponds to variable x_2 .

точностью пуска/останова для эксплуатируемого механизма. Примем сигналы датчиков за переменные: x_1 — остановка при отсутствии питания; x_2 — отключение из-за неисправности дверей кабины лифта; x_3 — остановки из-за превышения по весу; x_4 — перегрев двигателя. Сигнал с триггера верифицирует срабатывание контактной части системы за время задержки Δ_n добавлением проверочного сигнала состояния, равного требуемому состоянию срабатывания. Вместо задержки $t-D$ вводится Δ_n , чтобы подчеркнуть возможность задания дельты срабатывания для диагностируемой системы.

Построим временную диаграмму следования сигналов для определяемых функций в виде комбинационной схемы с включенными переменными при допущении, что $\Delta_n \equiv x_n$, рисунок 2. По этой схеме определим состояния, которые необходимо учитывать при верификации срабатывания, чтобы избежать ошибки перехода.

Повторение верификации срабатывания аналогично нажатию пассажиром кнопки вызова и включению



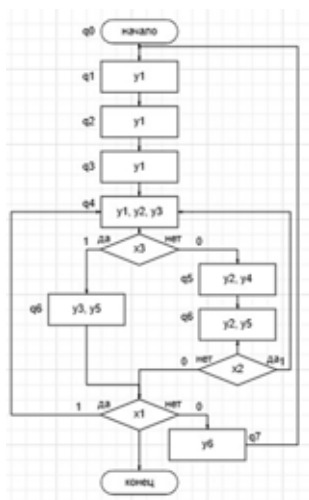


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма цикла работы лифта [8]

Figure 3. Block diagram of the elevator working cycle algorithm [8]

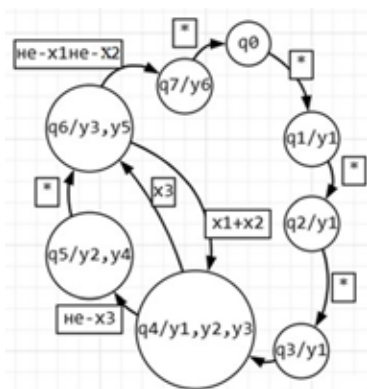


Рисунок 4. Граф-состояний автомата Мура, * – безусловный переход [9]

Figure 4. State graph of the Moore automaton, * – unconditional transition [9]

D-триггера в кнопке в наиболее вероятные моменты рассогласования работы механизма, приведенные на временной диаграмме рисунка 2.

Состояния автомата Мура опишем при помощи упрощенной блок-схемы алгоритма работы лифта, рисунок 3 (для простоты изложения исключим переменную перегрева x_4). Выходные сигналы y_1 , y_2 , y_3 свидетельствуют об исправной работе лифта в состояниях q_0 – q_4 (исходное состояние готовности к работе механизма при получении сигнала на вызов лифтом с этажной площадки). В состоянии q_4 срабатывает датчик веса, обозначаемый переменной x_3 (и отражающий необходимый сигнал D-триггера на рассогласование Δ_2). Датчик веса запрограммирован таким образом, что кабина должна быть пустая при начале нового цикла, а после прибытия на этаж вызова в кабине должен быть набран вес, иначе

лифт нельзя будет вызвать с пульта кабины. Если датчик веса $x_3=0$, лифт начинает новый цикл. В этом случае возможны два состояния:

- q_5 – выходной сигнал y_2 будет свидетельствовать, что в вызванном лифте нет пассажиров, а сигнал y_4 – что управление вызовом из кабины лифта в дальнейшем цикле осуществляется при наличии пассажиров;
- q_6 – выходной сигнал y_5 будет свидетельствовать о срабатывании сигнала на открывание и закрывание дверей (переменная x_2).

При срабатывании сигнала на открывание и закрывание дверей $x_2=1$ алгоритм возвращается в точку определения веса x_3 . Если же $x_2=0$, лифт перевызван, либо он уже едет с пассажирами в пункт вызова, состояние q_6 : выходной сигнал y_3 свидетельствует, что в лифте пассажиры, y_5 – о срабатывании сигнала на открывание и закрывание дверей кабины. На схеме не указан отдельный D-триггер для датчика веса, потому что для него нужно рассчитывать дельту времени, состояние объединено с действием открывания дверей (объединены временные диаграммы с рассогласованием Δ_2 , Δ_3 , Δ_4 – время рассогласования принято одинаковым). Сигнал y_2 будет свидетельствовать, что в вызванном лифте нет пассажиров, а сигналы y_4 , y_5 – что управление из кабины лифта осуществляется при наличии пассажиров, и он будет детектирован после получения вызова с пульта и закрывания дверей (согласно принципу работы датчика веса).

Далее алгоритм обрабатывает сигнал переменной x_1 , свидетельствующий о наличии питания, имеющий сигнал рассогласования Δ_1 . Сигнал на кнопку лифта можно «подхватывать» D-триггером при перебоях питания, чтобы лифт оставался в рабочем состоянии. Если $x_1=1$, то цикл работы продолжается. Если $x_1=0$, тогда либо отсутствует питание, либо кабина лифта в состоянии «аварийный стоп», либо лифт находится в режиме ожидания вызова (y_6).

Запрограммируем действующие состояния [3]:

- q_0 – этим символом отмечается начальное и конечное состояние;
- q_1 – состояние, свидетельствующее о наличии питания, Δ_1 , y_1 ;
- q_2 – проверка на залипание контактов Q_3 , Δ_1 , y_1 ;
- q_3 – состояние, следящее за нормой температуры в электроприводе, Δ_1 , y_1 ;
- q_4 – датчик веса, «опрашивание» Q_2 , здесь два сигнала рассогласования, Δ_1 , Δ_4 , y_1 , y_2 , y_3 ;
- q_5 – лифт вызван и останавливается на этаже, «подхват», Δ_3 , Δ_5 , y_2 и y_4 ;
- q_6 – механизм открывания и закрывания дверей, «опрашивание» Q_1 , Δ_3 , Δ_4 и Δ_5 , y_2 , y_3 и y_5 ;
- q_7 – стоп, y_6 .

Таблица 2. Интегрированная таблица состояний автомата Мура для D-триггера
Table 2. Integrated state table of the Moore automaton for the D-trigger

№	Исх.	Код исх. Сост			След.	Код сл. Сост.			Вх. Сигн.	Вых. Сигн.	Функц. Возб.		
		Q_3	Q_2	Q_1		Q_3	Q_2	Q_1			D_3	D_2	D_1
1	q_0	0	0	0	q_1	0	0	1	*	-	0	0	1
2	q_1	0	0	1	q_2	0	1	0	*	y_1	0	1	0
3	q_2	0	1	0	q_3	0	1	1	*	y_1	0	1	1
4	q_3	0	1	1	q_4	1	0	0	*	y_1	1	0	0
5	q_4	1	0	0	q_5	1	0	1	$\overline{x_3}$	y_1, y_2, y_3	1	0	1
6	q_4	1	0	0	q_6	1	1	0	x_3	y_1, y_2, y_3	1	1	0
7	q_5	1	0	1	q_6	1	1	0	*	y_2, y_4	1	1	0
8	q_6	1	1	0	q_4	1	0	0	$x_1 + x_2$	y_3, y_5	1	0	0
9	q_6	1	1	0	q_7	1	1	1	$\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$	y_3, y_5	1	1	1
10	q_7	1	1	1	q_0	0	0	0	*	y_6	0	0	0

На рисунке 4 изображен граф состояний в соответствии с кодированием алгоритма работы механизма. Вершины графа обозначают состояния автомата q_0-q_7 , каждому из которых поставлен в соответствие определенный выходной сигнал y_i , характеризующий работу механизма в данном такте. Учтено условие, что две разные операторные вершины графа не могут быть обозначены одним и тем же символом. На графе состояния можно увидеть 10 переходов, значит в автомате Мура будет задействовано 10 состояний. Эти состояния описываются интегрированной таблицей состояний автомата Мура для D-триггера, таблица 2. К этой таблице относятся кодированные состояния автомата Q_1, Q_2, Q_3 из таблицы 1.

По структурной совмещенной таблице 2 составляем функции возбуждения для каждого триггера. Так как у нас много переменных: 3 переменных Q и 3 переменных x ($2^6 = 64$ переменных), мы не будем использовать метод карт Карно, воспользуемся аналитическим методом [10].

Пример. Вес функции возбуждения D_3 измеряется шестью истинностными значениями ($D_3 = 1$) по таблице 2. Первое истинностное значение № 4: $q_3 = \overline{Q_3}Q_2Q_1$. Объединенные в функцию суммы произведений шести истинностных значений функции возбуждения D_3 выражаются в совершенной дизъюнктивной нормальной форме (СДНФ). Эта функция может быть упрощена по методу Куайна — Мак-Класки [11] следующим образом:

Имеем функцию состояния q_6 :

$$Q_3Q_2\overline{Q_1}(x_1 + x_2) + Q_3Q_2\overline{Q_1}(\overline{x_1}\overline{x_2});$$

— по закону де Моргана $(x_1 + x_2) = (\overline{x_1} \cdot \overline{x_2})$, значит $(x_1 + x_2)$ и $(\overline{x_1} \cdot \overline{x_2})$ являются одной переменной с противоположным значением истинности, что говорит

о возможности исключения этой переменной из описания состояния, так как она не влияет на выходной сигнал;

— получившееся выражение $Q_3Q_2\overline{Q_1} + Q_3Q_2\overline{Q_1} = Q_3Q_2\overline{Q_1}$ преобразуется согласно логическому закону идемпотентности;

— при минимизации суммы произведений истинностных состояний функции возбуждения используется также операция склеивания: отличающиеся на одну переменную с противоположным знаком терм-произведения склеиваются $Q_3Q_2\overline{Q_1} + Q_3Q_2Q_1 = Q_3Q_2$.

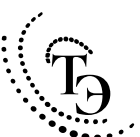
Выпишем сумму произведений, которые дают единицы для каждой функции возбуждения, и оптимизируем функции возбуждения:

$$\begin{aligned} D_3 &= q_3 + q_4\overline{x_3} + q_4x_3 + q_5 + q_6(x_1 + x_2) + q_6(\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}) = \\ &= \overline{Q_3}Q_2Q_1 + Q_3Q_2\overline{Q_1}\overline{x_3} + Q_3Q_2\overline{Q_1}x_3 + Q_3Q_2Q_1 + \\ &+ Q_3Q_2\overline{Q_1}(x_1 + x_2) + Q_3Q_2\overline{Q_1}(\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}) = \overline{Q_3}Q_2Q_1 + Q_3Q_2\overline{Q_1} + \\ &+ Q_3Q_2Q_1 + Q_3Q_2\overline{Q_1} = \overline{Q_3}Q_2Q_1 + Q_3Q_2\overline{Q_1} + Q_3Q_2Q_1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_2 &= q_1 + q_2 + q_4x_3 + q_5 + q_6(\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}) = \\ &= \overline{Q_3}Q_2Q_1 + \overline{Q_3}Q_2\overline{Q_1} + Q_3Q_2\overline{Q_1}x_3 + Q_3Q_2\overline{Q_1}(\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}) = \\ &= \overline{Q_3}Q_1 + \overline{Q_3}Q_2\overline{Q_1} + Q_3Q_2\overline{Q_1}x_3 + Q_3Q_2\overline{Q_1}(\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_1 &= q_0 + q_2 + q_4\overline{x_3} + q_6(\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}) = \\ &= \overline{Q_3}Q_2\overline{Q_1} + \overline{Q_3}Q_2Q_1 + Q_3Q_2\overline{Q_1}\overline{x_3} + Q_3Q_2\overline{Q_1}(\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}) = \\ &= \overline{Q_3}Q_1 + Q_3Q_2\overline{Q_1}\overline{x_3} + Q_3Q_2\overline{Q_1}(\overline{x_1} \cdot \overline{x_2}). \end{aligned}$$

По полученным функциям D_1, D_2, D_3 строится схема проектируемой цепи, которая обеспечивает заданный выходной сигнал. Для автомата Мура выходной сигнал зависит только от внутреннего состояния [2]. По таблице 2 получим функции выхода:



$$\begin{aligned}
 y_1 &= q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = \\
 &= \bar{Q}_3 \bar{Q}_2 Q_1 + \bar{Q}_3 Q_2 \bar{Q}_1 + \bar{Q}_3 Q_2 Q_1 + Q_3 \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 = \\
 &= \bar{Q}_3 Q_1 + \bar{Q}_3 Q_2 + Q_3 \bar{Q}_2 \bar{Q}_1; \\
 q_4 + q_4 + q_5 &= q_4 + q_5 = Q_3 \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 + Q_3 \bar{Q}_2 Q_1 = Q_3 \bar{Q}_2; \\
 y_3 &= q_4 + q_4 + q_6 + q_6 = q_4 + q_6 = Q_3 \bar{Q}_2 \bar{Q}_1 + Q_3 Q_2 \bar{Q}_1 = Q_3 \bar{Q}_1; \\
 y_4 &= q_5 = Q_3 \bar{Q}_2 Q_1; \\
 y_5 &= q_6 = Q_3 Q_2 \bar{Q}_1; \\
 y_6 &= q_7 = Q_3 Q_2 Q_1.
 \end{aligned}$$

Мы произвели процедуру проектирования переключа- тельной цепи с D-триггером для верификации сраба- тывания контактной схемы. Полученные сигналы были оптимизированы. Симуляция электрической цепи может быть проведена в программах Proteus, LTSpice и др.

В настоящее время основная масса электронных компо- нентов, составляющих базу современных технических устройств, не являются стандартным вариантом для производителей, из этого следует увеличение сроков их проектирования и производства [12]. Поэтому в данной статье предлагается аппаратная реализация посредством проектирования унифицированного интерфейсного мо- дуля. На рисунке 5 изображен пример сборочного черте- жа проекта кабельного модуля, который сконструирован для подключения лифтового оборудования. В проекте инженер распределяет контакты оптимизированного нами числа сигналов между доступными пинами разъ- ема. Монтажник собирает кабельный жгут, который является важным элементом коммутации: осуществляет передачу сигналов контактной схемы во время работы механизма. На рисунке показан типовой разъем DB-9, через который может быть передан массив информации

в коде протоколов RS-232, RS-485 или проприетарных протоколов FSF (собственническое программное обе- спечение) [13]. Информация поступает на пульт управ- ления, обеспечивая качественную обратную связь при появлении неисправности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье предложен и теоретически обоснован метод верификации срабатывания контактной схемы с ис- пользованием D-триггера, реализованный на модели автомата Мура применительно к системе управления пассажирским лифтом. В отличие от традиционных подходов, фиксирующих аварию лишь после полного отказа механизма и перехода в состояние «аварийный стоп», предложенное решение позволяет на этапе про- ектирования электрической цепи заложить алгоритмы раннего обнаружения таких неисправностей, как отказ типа «ложное замыкание» контактов или кратковремен- ное отсутствие питания в сети. Посредством минимиза- ции функций возбуждения D-триггеров аналитическим методом и построения интегрированной таблицы состо- яний достигнуто сокращение числа логических элемен- тов, что упрощает техническую реализацию устройства. Практическая ценность работы подтверждена возмож- ностью воплощения метода в виде унифицированного интерфейсного модуля, что обеспечивает бесшовную интеграцию разработки в существующие линейки лиф- тового оборудования без кардинальной замены станции управления [14, 15].

Перспективы использования предложенного мето- да выходят далеко за пределы лифтового хозяйства. Алгоритмическая основа, базирующаяся на детекции

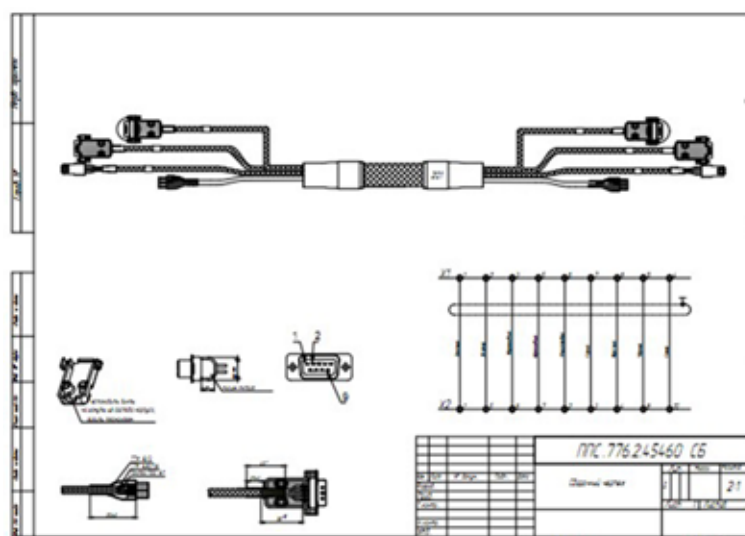


Рисунок 5. Сборочный чертеж проекта унифицированного интерфейсного модуля

Figure 5. Assembly drawing for the standardized interface module project

располагания временных интервалов (дельта следования) через D-триггеры, может быть адаптирована для систем мониторинга состояния промышленных релейно-контакторных схем, в частности в станкостроении и на конвейерных линиях. Кроме того, в контексте развития проектов «Умный дом» данный подход применим для повышения отказоустойчивости систем автоматического управления зданий (инженерное оборудование, вентиляция, насосные станции), где критически важна своевременная техническая диагностика исполнительных механизмов. Возможность программной имплементации полученных логических выражений в программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) и контроллеры открывает путь к созданию универсальных модулей «умного опроса», востребованных в любой сфере, где требуется высокая надежность дискретного управления и оперативное устранение неисправностей без остановки технологического цикла.

Список литературы

1. Попов А. Г. Системы диспетчеризации: взгляд производителя и интегратора // Информатизация и системы управления в промышленности. 2017. № 4 (70). С. 41–45.
2. Баркалов А. А., Мальчева Р. В., Солдатов К. А. Оптимизация схемы автомата Мура, реализуемой в базе ПЛИС / Радиоэлектроника, информатика, управления, 2012. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-shemy-avtomata-mura-realizuemoy-v-bazise-plis/viewer>.
3. Barkalov A., Titarenko L., Mielcarek K., Chmielewski S. Logic Synthesis for FPDА-Based Control Units. Structural Decomposition in Logic Design. Springer Nature Link, 2020. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-38295-7>.
4. Борисенко Н. Технические аспекты построения управляющих автоматов при проектировании цифровых устройств на основе современных ПЛИС // Компоненты и технологии. 2011. № 12. С. 27–34. URL: <https://kit-e.ru/tehnicheskie-aspekty-postroeniya-upravlyayushhih-avtomatov-pri-proektirovaniicifrovyyh-ustrojstv-na-osnove-sovremennyh-plis>.
5. Луценко Е. В. Количественная мера информации Хартли как частный случай энтропийной меры информации Больцмана, мера Шеннона как применение меры Хартли для сложного сообщения и мера Харкевича как обобщение меры Хартли для неравновероятных событий // Научный журнал КубГАУ. 2023. № 185 (01). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kolichestvennaya-mera-informatsii-hartli-kak-chastnyy-sluchay-entropiynoy-mery-informatsii-boltsmana-mera-shennona-kak-primenenie-mery-hartli-dlya-slozhnogo-soobsheniya-i-mera-harkevicha-kak-obobsheniye-mery-hartli-dlya-neravnoveroyatnykh-sobytiy>.
6. Тахаан О. Разработка корректирующих кодов для информационной защиты телекоммуникаций компьютерных сетей: дисс. ... канд. техн. наук. ВлГУ: Волгоград, 2012. 172 с.
7. Шубинский И. Б. Надежные отказоустойчивые информационные системы. Методы синтеза. М.: Надежность, 2016. 546 с.

8. Единая система программной документации (ЕСПД). ГОСТ 19.701–90 Схемы Алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения.
9. Опе О. Теория графов. М.: Либроком, 2009. 352 с.
10. Klimovich A. S., Solov'ev V. V. (2011) A method for minimizing Moore finite-state machines by merging two states. *Journal of Computer and Systems Sciences International*. Vol. 50, no. 6. Pp. 907–920. DOI: 10.1134/S1064230711040113.
11. Bedhouche L., Koalal M., Ayed A., Biskri I. (2023) Efficient Association Rules Minimization Using a Double-Stage Quine-McCluskey-Based Approach. *Proceedings of Communicational Collective Intelligence*, 15th International Conference, ICCCI 2023, Budapest, Hungary, September 27–29. Pp. 245–255. DOI: 10.1007/978-3-031-41456-5_19.
12. Кобер П. Особый подход: почему кастомизация техники стала ключевым трендом в машиностроении / Исследовательское подразделение медиахолдинга «Эксперт». Эксперт Урал, 2026. URL: <https://expert-ural.com/articles/osobiypodhodpochemu-kastomizatsiya-tehniki-stalaklyuchevim-trendom-v-mashinostroenii.html>.
13. Бидвелл Д. 30 лет свободного ПО // Linux Format. 2015. № 12 (203). С. 44–47.
14. Kubica M., Kania D. and Kulisz J. (2019) A Technology Mapping of FSMs Based on a Graph of Excitations and Outputs. *IEEE Access*. Vol. 7. Pp. 16123–16131. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2895206.
15. Al-Kodmany K. (2023) Smart Elevator Systems. *Journal of Mechanical Materials and Mechanics Research*. Vol. 6, no. 1. Pp. 41–54. DOI: 10.30564/jmmmr.v6i1.5503.
16. Geku D. (2025) Fault Detection and Diagnosis in Control Systems: Methods for detecting and diagnosing faults in control systems. *International Journal of Research (IJR)*. Pp. 531–548. DOI: 10.5281/ZENODO.15529493.
17. Chae H., Lee J.-E., Oh K.-Y. (2022) Fault Diagnosis of Elevator Doors Using Control State Information. *IEEE Access* PP (99). Pp. 1–9. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3141074.
18. Технологии разработки и отладки сложных технических систем // Сб. ст. VI Всероссийской научно-практической конференции / Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Центр инженерных технологий и моделирования «Экспонента». Москва, 27–28 марта 2019 г. М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2019. 242 с.

References

1. Popov A. G. (2017) 'Dispatching systems: a manufacturer's and integrator's view', *Informatization and Control Systems in Industry*, vol. 70, no. 4, pp. 41–45.
2. Barkalov A. A., Malcheva R. V. and Soldatov K. A. (2012) 'Optimization of the Moore automaton scheme implemented in the FPGA basis', *Radioelectronics, Informatics, Management*, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-shemy-avtomata-mura-realizuemoy-v-bazise-plis/viewer>.
3. Barkalov A., Titarenko L., Mielcarek K. and Chmielewski S. (2020) Logic Synthesis for FPDА-Based Control



- Units. Structural Decomposition in Logic Design. Springer Nature Link. Available at: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-38295-7>.
4. Borisenko N. (2011) 'Technical aspects of constructing control automata in the design of digital devices based on modern FPGAs', *Components and Technologies*, no. 12, pp. 27–34. Available at: <https://kit-e.ru/tehnicheskie-aspekty-postroeniya-upravlyayushhih-avtomatov-pri-proektirovanii-czi-frovih-ustroystv-na-osnove-sovremennyh-plis>.
 5. Lutsenko E. V. (2023) 'Hartley quantitative measure of information as a special case of Boltzmann's entropy measure of information, Shannon's measure as an application of Hartley's measure for complex messages, and Kharkevich's measure as a generalisation of Hartley's measure for unequal probability events', *Scientific Journal of KubSAU*, vol. 185, no. 1. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/kolichestvennaya-mera-informatsii-hartli-kak-chastnyy-sluhay-entropiynoy-mery-informatsii-boltsmana-mera-shenona-kak-primenenie/viewer>.
 6. Takhaan O. (2012) Development of correcting codes for information protection of telecommunications in computer networks. PhD thesis. Vladimir State University (VIGU), Volgograd.
 7. Shubinsky I. B. (2016) Reliable fault-tolerant information systems. Synthesis methods. Moscow: Nadezhnost.
 8. GOST 19.701–90 (1990) Unified System for Program Documentation (USPD). Diagrams of algorithms, programs, data and systems. Conventions and execution rules.
 9. Ore O. (2009) Graph Theory. Moscow: Librokom.
 10. Klimovich A. S. and Solov'ev V. V. (2011) 'A method for minimizing Moore finite-state machines by merging two states', *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 50 (6), pp. 907–920. DOI: 10.1134/S1064230711040113.
 11. Bedhouche L., Koalal M., Ayed A. and Biskri I. (2023) 'Efficient Association Rules Minimization Using a Double-Stage Quine-McCluskey-Based Approach', in Proceedings of Communicational Collective Intelligence, 15th International Conference, ICCCI 2023, Budapest, Hungary, September 27–29, pp. 245–255, DOI: 10.1007/978-3-031-41456-5_19.
 12. Kober P. (2026) 'A special approach: why customisation of equipment has become a key trend in mechanical engineering', *Expert Ural (Research division of the Expert media holding)*. Available at: <https://expert-ural.com/articles/osobiy-podhod-pochemu-kastomizatsiya-tehniki-stala-klyuchevim-trendom-v-mashinostroenii.html>.
 13. Bidwell D. (2015) '30 years of free software', *Linux Format*, 12 (203), pp. 44–47.
 14. Kubica M., Kania D. and Kulisz J. (2019) 'A Technology Mapping of FSMs Based on a Graph of Excitations and Outputs', *IEEE Access*, 7, pp. 16123–16131. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2895206.
 15. Al-Kodmany K. (2023) 'Smart Elevator Systems', *Journal of Mechanical Materials and Mechanics Research*, vol. 6, no. 1, pp. 41–54. DOI: 10.30564/jmmmr.v6i1.5503.
 16. Geku D. (2025) 'Fault Detection and Diagnosis in Control Systems: Methods for detecting and diagnosing faults in control systems', *International Journal of Research (IJR)*, pp. 531–548. DOI: 10.5281/ZENODO.15529493.
 17. Chae H., Lee J.-E. and Oh K.-Y. (2022) 'Fault Diagnosis of Elevator Doors Using Control State Information', *IEEE Access*, 99, pp. 1–9. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3141074.
 18. Technologies for development and debugging of complex technical system. Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference, Moscow, 27–28 March 2019. Moscow State Technical University named after N. E. Bauman & Exponent Centre for Engineering Technologies and Modelling. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Press.

■ Информация об авторе

Дронов Владимир Олегович, студент, Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, ул. Ивана Черных, д. 4, Россия;

а также инженер в ООО «ЦЭПукс», Санкт-Петербург, Поэтический бульвар, д. 2; ORCID: 0009-0002-4177-3651, e-mail: vvvvdr@mail.ru.

■ Information about the author

Vladimir Olegovich Dronov, student of the Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, 4 Ivan Chernykh Street,

St. Petersburg, 198095 and engineer at LLC «CEPIKS», St. Petersburg, Poeticheskoy Boulevard, 2; ORCID: 0009-0002-4177-3651, e-mail: vvvvdr@mail.ru.

Корректировки

В предыдущем выпуске журнала (01) 2026 редакцией были утверждены корректировки по просьбе авторов статей. На стр. 43–46 был добавлен еще один автор; исправлена фактическая ошибка в сведениях о предприятии «Светогорский ЦБК». Приносим свои извинения читателям; в электронной версии произведена коррекция: из статьи изъят «Кейс» о предприятии. Основной смысл статьи и выводы авторов достоверны. На стр. 58 откорректировано имя автора: Виктор Александрович Марков.