

Реализация устройства управления железнодорожным стрелочным электроприводом на программируемых логических интегральных схемах

А. В. Пашуков

Российский университет транспорта, Москва

art-pash@mail.ru

Аннотация — Описываются особенности синтеза устройств управления напольным технологическим оборудованием железнодорожной автоматики и телемеханики на программируемых логических интегральных схемах. Рассмотрен пример синтеза схемы управления стрелочным переводом в виде конечного автомата на программируемых логических интегральных схемах. Показано, что практически любой объект железнодорожной автоматики и телемеханики можно представить в виде конечного автомата с помощью логического описания всех возможных алгоритмов функционирования (как нормального, так и при возникновении неисправностей). Также рассмотрен пример кодирования состояний конечного автомата с помощью взвешенного кода с суммированием, что позволяет повысить показатели функциональной надежности и безопасности. Рассмотренный метод также позволяет реализовать дополнительные системы контроля, помимо кодирования состояний, что также повышает безопасность синтезируемого устройства.

Ключевые слова — железнодорожная автоматика и телемеханика, программируемые логические интегральные схемы, схема управления стрелочным переводом, конечный автомат, стрелочный перевод.

I. ВВЕДЕНИЕ

Для безопасного управления движением поездов на железных дорогах применяются устройства и системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) [1], [2]. На подавляющем большинстве железнодорожных станций и перегонов функционируют системы релейного типа [3], однако в последнее время идет их замена на более современные микропроцессорные системы [4], [5]. Несмотря на это, принципы их работы остаются неизменными, что позволяет их реализовывать на любой базе [6], [7].

В зависимости от того, какая элементная база выбрана, определяются соответствующие мероприятия по достижению установленных требований по безопасности и надежности изготавливаемой системы [8] – [12].

В настоящее время одним из перспективных направлений является синтез устройств на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) [13]. ПЛИС получили широкое применение в различных областях промышленности от

автомобильного транспорта до авиации и космической отрасли [14] - [17]. Однако ПЛИС еще не нашли широкого применения на железных дорогах России, хотя и существуют отдельные устройства, в состав которых входят ПЛИС [18]. В части реализации устройств и систем ЖАТ известно весьма ограниченное количество работ, описывающих применение ПЛИС. К примеру, в [19], [20] обсуждаются общие вопросы применения ПЛИС для реализации устройств электрической централизации стрелок и сигналов, а в [21] реализован аналог неконтролируемого реле на ПЛИС. В ряде зарубежных работ, например, в [22], описана система электрической централизации, реализованная в базе ПЛИС.

Несмотря на весьма узкое применение ПЛИС на железнодорожном транспорте, их также можно использовать и при синтезе схемных решений ЖАТ. Преимуществами ПЛИС перед другими технологиями является возможность выбора устройств с низким потреблением за счет технологий энергонезависимой памяти, высокая надежность относительно одиночных сбоев, высокая системная интеграция и параллельная обработка данных [23]. К тому же данная элементная база активно развивается и производится в промышленных масштабах.

II. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ СТРЕЛКАМИ

К техническим средствам управления железнодорожными стрелками относятся стрелочный электропривод и стрелочная гарнитура [24].

В зависимости от количества линейных проводов различают двухпроводную, четырехпроводную, пятипроводную и девятипроводную схемы управления стрелкой [25]. Известны работы, в которых описаны и другие типы схем управления, например, трехпроводная [26], хотя на практике распространены только обозначенные выше.

Несмотря на схемные различия, логика работы всех схем управления примерно одинаковая:

1. Поступает сигнал на перевод стрелки.
2. Производится проверка условий безопасности для перевода стрелки.

3. Производится запуск электродвигателя и осуществляется перевод стрелки.
4. При получении контроля крайнего положения стрелки перевод оканчивается.

Также любая схема управления стрелкой содержит в себе три цепи: управляющую, рабочую и контрольную [25].

Управляющая цепь необходима для исключения перевода стрелки при ее замкнутости или занятости, фиксации окончания перевода и возможности возврата стрелки в исходное положение. Рабочая цепь подключает двигатель к источнику питания, производит реверсирование двигателя в крайних или промежуточных положениях и контролирует окончание перевода стрелки. Контрольная цепь служит для постоянного контроля положения стрелки (плюсовое, минусовое и промежуточное).

III. СИНТЕЗ КОНЕЧНОГО АВТОМАТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТРЕЛКОЙ

В [27] был рассмотрен пример синтеза схемы проходного светофора, реализованного на ПЛИС, а в [28] описаны возможности синтеза схемы управления стрелкой в виде конечного автомата. Опишем здесь методику синтеза схем управления и контроля напольными объектами автоматизации с учетом специфики объектов ЖАТ (рис. 1).

Шаг 1. Перед синтезом конечных автоматов необходимо дать словесное описание всем процессам, возможным во время работы того или иного объекта управления. При этом описываются как алгоритмы нормального функционирования, так и алгоритмы функционирования при каких-либо неисправностях. Например, при реализации схемы управления стрелкой нужно учесть возможность неполучения контроля при окончании перевода стрелки из-за возникшей неисправности.

Шаг 2. После составления словесного описания всех возможных алгоритмов строится таблица переходов или граф переходов.

Шаг 3. При построении таблицы переходов следующим шагом будет ее минимизация. Минимизация позволяет сократить число структурных единиц, требующихся для синтеза самой схемы. Соответственно минимум числа строк в таблице переходов есть критерий ее оптимальности. Процесс минимизации происходит путем совмещения строк, имеющих одинаковые или различные значения при одинаковых входных наборах.

Шаг 4. Затем с помощью графа переходов или таблицы переходов производится кодирование состояний. Кодирование состояний производится с помощью помехозащищенных кодов, что позволяет избежать возникновения критических состояний. При этом используются коды с расстоянием Хэмминга $d_{\min} \geq 2$.

Шаг 5. По завершению кодирования составляется кодированная таблица переходов, с помощью которой составляется таблица истинности функций управления элементами памяти и выходных функций.

Шаг 6. Последним этапом создания конечного автомата является синтез в выбранной элементной базе.



Рис. 1. Алгоритм построения конечного автомата

Для построения конечного автомата, осуществляющего управление стрелкой, необходимо выделить входные и выходные параметры, а также условия переходов между состояниями. В данном случае вектор входных параметров примет следующий вид:

$$X^C = \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9 \rangle,$$

где x_1 – устройство запуска перевода в нормальное положение («плюсовое») (0 – выключено, 1 – включено); x_2 – устройство запуска перевода в переведенное положение («минусовое») (0 – выключено, 1 – включено); x_3 – контроль плюсового положения (0 – контроля нет, 1 – контроль есть); x_4 – контроль минусового положения (0 – контроля нет, 1 – контроль есть); x_5 – контроль времени перевода (0 – время не истекло, 1 – время истекло); x_6 – проверка замыкания стрелки в маршруте (0 – разомкнута, 1 – замкнута); x_7 – проверка занятости стрелочной секции (0 – занята, 1 – свободна); x_8 – источник команды на перевод (0 – перевод по маршруту, 1 – перевод с пульта дежурного по станции (ДСП)); x_9 – проверка питания на электродвигателе (0 – питания нет, 1 – питание есть).

Выходной вектор имеет следующий вид:

$$Z^C = \langle z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6 \rangle,$$

где z_1 – подача прямой полярности на электродвигатель (0 – питания нет, 1 – питание есть); z_2 – подача обратной полярности на электродвигатель (0 – питания нет, 1 – питание есть); z_3 – достижение крайнего плюсового положения (0 – не достигнуто, 1 – достигнуто); z_4 – достижение крайнего минусового

положения (0 – не достигнуто, 1 – достигнуто); z_5 – запирающие стрелки в «+» (0 – не заперта, 1 – заперта); z_6 – запирающие стрелки в «-» (0 – не заперта, 1 – заперта).

Составив список параметров, составляем таблицу состояний и условий переходов (таблица 1), при этом введем множество входных векторов Ω_i^* , которые не соответствуют ни одному из разрешенных векторов.

Таблица 1

Таблица состояний стрелочного перевода

Состояние	Вектор параметров $\langle x_1, x_2, \dots, x_9 \rangle$	Обозначение множества векторов параметров	Значения выходного вектора $\langle z_1, z_2, \dots, z_6 \rangle$	Обозначение выходного вектора
Плюсовое положение	0 0 1 0 ~ 0 ~ 0	X_1	0 0 1 0 0 0	Z_1
Минусовое положение	0 0 0 1 ~ 0 ~ 0	X_2	0 0 0 1 0 0	Z_2
Перевод из «+» в «-»	0 1 0 0 0 0 1 ~ 1	X_3	1 0 0 0 0 0	Z_3
Перевод из «-» в «+»	1 0 0 0 0 0 1 ~ 1	X_4	0 1 0 0 0 0	Z_4
Запирание в плюсовом положении	0 0 1 0 ~ 1 1 1 0	X_5	0 0 1 0 1 0	Z_5
Запирание в минусовом положении	0 0 0 1 ~ 1 1 1 0	X_6	0 0 0 1 0 1	Z_6
Автовозврат в плюсовое положение	0 1 0 0 1 0 1 ~ 1	X_7	0 1 0 0 0 0	Z_7
Автовозврат в минусовое положение	1 0 0 0 1 0 1 ~ 1	X_8	1 0 0 0 0 0	Z_8
Взрез	0 0 0 0 1 0 ~ 0	X_9	0 0 0 0 0 0	Z_9
Защитное состояние	Ω_i^*	X_{10}	0 0 0 0 0 0	Z_{10}

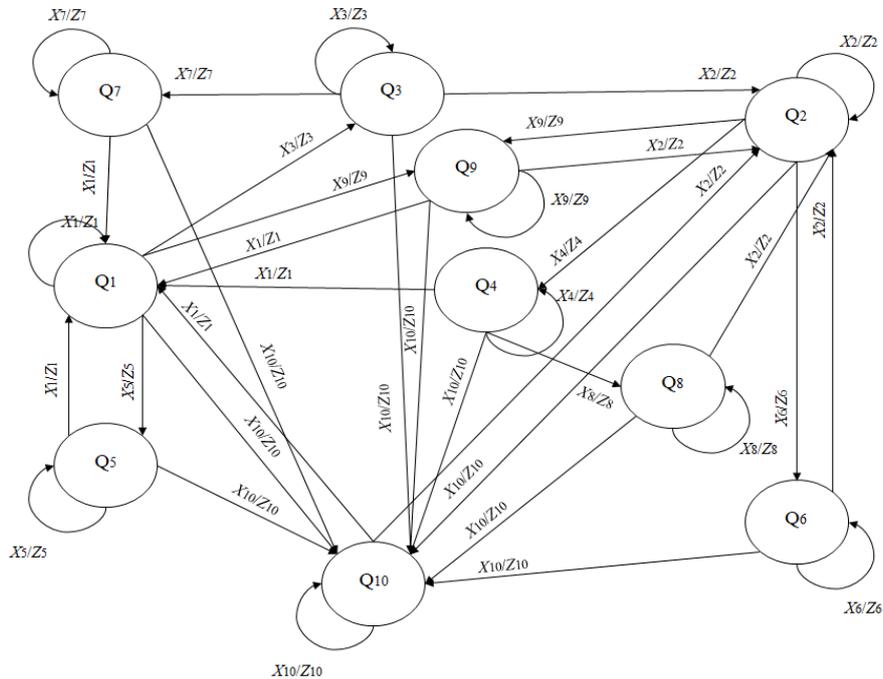


Рис 2. Граф переходов схемы управления стрелкой

С помощью таблицы 1 строится граф переходов, иллюстрирующий все алгоритмы при управлении стрелочным переводом (рисунок 2)

Из рисунка 2 видно, что в нормальном состоянии схема находится в состоянии «Плюсовое положение» или «Минусовое положение». При получении сигнала на перевод стрелка в начале уходит в состояние «Перевод из «-» в «+»» или «Перевод из «+» в «-»», а затем возвращается в одно из начальных состояний. При возникновении неисправностей стрелка уходит в защитное состояние.

Отметим, что существует вариант расширения множества неисправных состояний и добавление туда так называемых предотказных состояний [29], что может эффективно использоваться для решения задач функционального диагностирования устройств управления стрелочными электроприводами [10].

IV. РЕАЛИЗАЦИЯ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ СТРЕЛОЧНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Реализация спроектированного конечного автомата, осуществляющего управление стрелочным переводом будет осуществляться на языке программирования Verilog [30] в программной среде Quartus Prime на ПЛИС семейства MAX II типа EPM240T100C4 [31]. Для этого составим алгоритм проектирования на ПЛИС:

1. Объявляются все входные и выходные переменные, соответствующие входным параметрам и выходам системы.
2. Объявляются дополнительные переменные при их наличии. Данные переменные позволяют сократить написание условий переходов из одного состояния в другое. Данный шаг не является обязательным.
3. Присвоение дополнительным переменным значений, соответствующих условиям переходов из одного состояния в другое. Данный шаг будет отсутствовать, если предыдущий шаг не был выполнен.
4. Объявление состояний конечного автомата. Все состояния конечного автомата объявляются в двоичном виде, при этом не важно какому состоянию какой двоичный код будет соответствовать.
5. Описание состояний и условий переходов между ними. На данном этапе производится описание условий с указанием состояния, в которое должна перейти система при данном условии. Также помимо условий указываются значения выходов, которые должна принимать система в состоянии, в которое перейдет.

В листинге 1 представлен процесс кодирования состояний с помощью WS5(4,3)-кода со взвешенными коэффициентами $w_i = [4, 3, 2, 1]$, а в листинге 2 пример описания одного из состояний. Данный код выбран при синтезе схемы управления стрелкой, так как

обладает «хорошими» характеристиками обнаружения ошибок: им не обнаруживается всего 36 ошибок в информационных векторах из 240 возможных (15 %), среди которых 16 двукратных и 2 четырехкратных монотонных ошибки, 16 трехкратных асимметричных и 2 симметричных четырехкратных ошибки [32], [33]. При этом характеристики обнаружения в данном конкретном приложении еще лучше, так как при кодировании использовано 10 из 16 рабочих кодовых слова (62,5 % всех кодовых слов).

Листинг 1. Кодирование состояний

```
q1=4'b0000000, q2=4'b0001001, q3=4'b0010010,
q4=4'b0011011, q5=4'b0100011, q6=4'b0101100,
q7=4'b0110000, q8=4'b0111001, q9=4'b1000100,
q10=4'b1001000;
```

Листинг 2. Описание состояний

```
q1:
  if (a1) begin state <=q1;
    oz <= 6'b001000;
  end
  else if (a3) begin state <=q3;
    oz <= 6'b100000;
  end
  else if (a5) begin state <=q5;
    oz <= 6'b001010;
  end
  else if (a9) begin state <=q9;
    oz <= 6'b000000;
  end
  else begin state <=q10;
    oz <= 6'b000000;
  end
```

Параметры синтезированной схемы приведены в таблице 2.

Таблица 2

Параметры схемы управления стрелочным переводом

Тип микросхемы	MAX II EPM240T100C4
Количество логических ячеек	22
Количество портов входа / выхода	16
Всего ячеек	38

На рисунке 3 представлена симуляция перевода стрелки из плюсового положения в минусовое без

возникновения сбоев в работе. Выход схемы представлен в виде вектора $Z = [z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6]$.

Из рисунка видно, что изменение значения выходов происходит после поступления синхронизирующего импульса. При этом до получения первого импульса система остается в «выключенном» состоянии, а после включения и получения первого синхронизирующего импульса идентифицирует себя в одном из состояний. При этом при получении

последующих синхронизирующих импульсов при изменении входных параметров система перейдет в новое состояние. В данном случае рисунок иллюстрирует переход системы по следующей цепочке: $Q_1 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_2$.

Представим на рисунке 4 ситуацию, при которой стрелка не получит контроль при переводе и после автовозврата вернется в исходное положение.

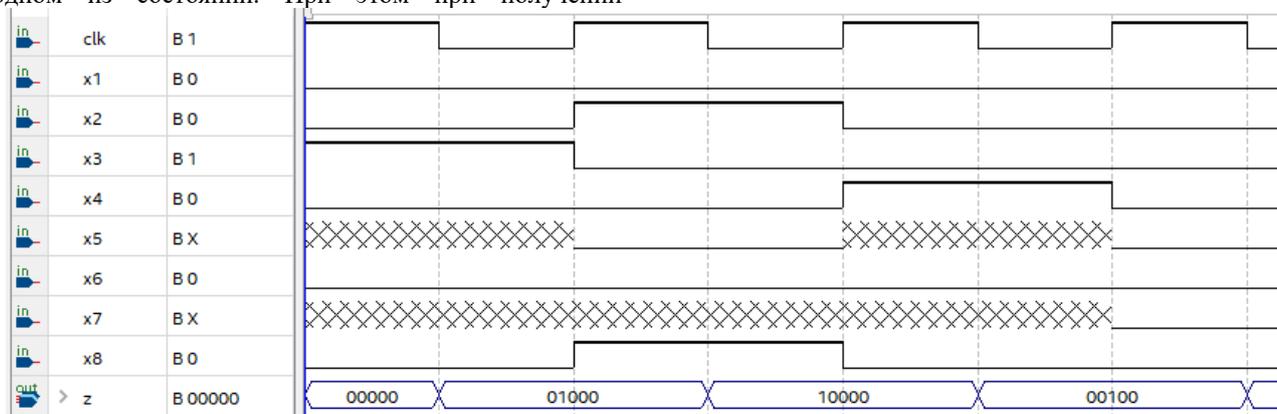


Рис 3. Симуляция работы КА, осуществляющего управление стрелкой при переводе из «+» в «->»

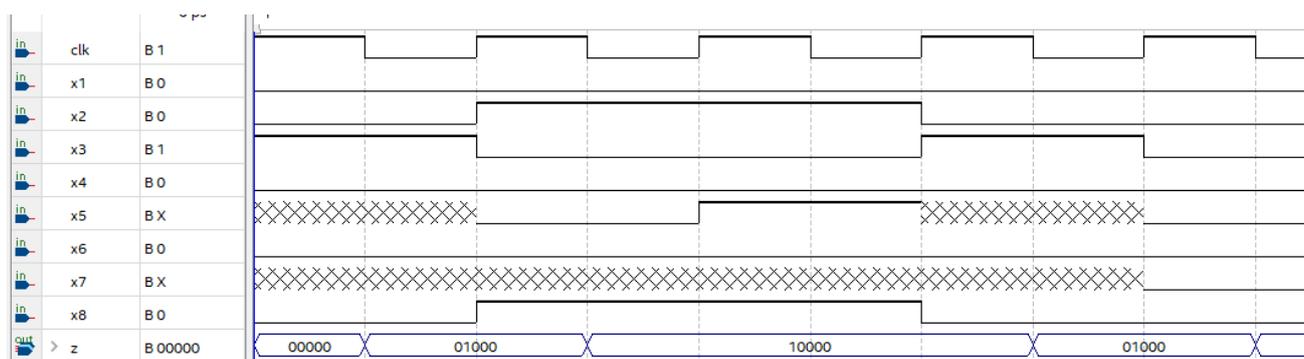


Рис 4. Симуляция работы КА, осуществляющего управление стрелкой при переводе из «+» в «->» без получения контроля минусового положения

В отличие от предыдущего рисунка, на рисунке 4 иллюстрируется переход системы по следующей цепочке: $Q_1 \rightarrow Q_3 \rightarrow Q_7 \rightarrow Q_1$. При этом стоит отметить, что при возникновении неисправности стрелка перейдет из любого состояния в защитное без возможности как-либо на нее воздействовать до устранения неисправностей.

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построение систем и устройств ЖАТ на ПЛИС в ближайшем будущем может стать перспективным направлением благодаря простоте синтеза и преимуществам самих ПЛИС. Наиболее сложным при синтезе конечного автомата на ПЛИС является описание всех условий и алгоритмов функционирования рассматриваемого объекта или системы. Но уже по готовым алгоритмам и условиям

переходов легко создать граф переходов, по которому будет построен конечный автомат.

В данной статье представлена методика синтеза конечных автоматов на ПЛИС с применением кодирования состояния взвешенным кодом с суммированием. Также стоит отметить, что для конечного автомата в целом можно синтезировать схему контроля, которая будет дополнительно обнаруживать возникающие неисправности внутри самого конечного автомата, что приведет к повышению безопасности [34].

Достоинствами такого подхода является уменьшение габаритов аппаратуры благодаря мелкозернистой структуре ПЛИС и уменьшения времени на установку маршрута из-за параллельной обработки данных. Однако, стоит отметить, что при

максимальном использовании емкостей ПЛИС увеличивается их энергопотребление.

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка системы, реализованной на ПЛИС, осуществляющей управление движением поездов как на перегонах, так и на станциях. В этих случаях конечная система будет управлять уже множеством конечных автоматов, отвечающих за управление тем или иным объектом ЖАТ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бочков К.А., Коврига А.Н., Харлап С.Н. Микропроцессорные системы автоматики на железнодорожном транспорте. – Гомель: БелГУТ, 2013, 254 с.
- [2] Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking: 3ed Edition. – Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020, 552 p.
- [3] Efanov D., Lykov A., Osadchy G. Testing of Relay-Contact Circuits of Railway Signalling and Interlocking // Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29 – October 2, 2017, pp. 242-248, doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110095.
- [4] Ефанов Д.В., Осадчий Г.В. Концепция современных систем управления на основе информационных технологий // Автоматика, связь, информатика. – 2018. – №5. – С. 20-23.
- [5] Власенко С.В., Лунев С.А., Соколов М.М. Централизованная и децентрализованная архитектура постов управления станциями // Автоматика, связь, информатика. 2019. №3. С. 22-25.
- [6] Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Христов Х.А., Гавзов Д.В. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики. – Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995, 272 с.
- [7] Сапожников Вл.В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов. – М.: Наука, 2021, 229 с.
- [8] Гавзов Д.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем // Автоматика и телемеханика. – 1994. – №8. – С. 3-50.
- [9] Бестемьянов П.Ф. Методы обеспечения безопасности и надежности микропроцессорных устройств железнодорожной автоматики и телемеханики // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2007. – Т. 2. – С. 273-274.
- [10] Ефанов Д.В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016, 171 с.
- [11] Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Основы теории надежности и технической диагностики. – Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2019, 588 с.
- [12] Бестемьянов П.Ф. Методы обеспечения безопасности аппаратных средств микропроцессорных систем управления движением поездов // Электротехника. – 2020. – №9. – С. 2-8.
- [13] Navabi Z. Embedded Core Design with FPGAs. – McGraw-Hill Education, 433 p.
- [14] Lange M., Dewey T. Achieving Quality and Traceability in FPGA/ASIC Flows for DO-254 Aviation Projects // IEEE Aerospace Conference, Big Sky, MT, USA, 1-8 March 2008, doi: 10.1109/AERO.2008.4526687.
- [15] Drozd O., Antoniuk V., Nikul V., Drozd M. Hidden Faults in FPGA-Built Digital Components of Safety-Related Systems // Proceedings of the 14th International Conference “TCSET’2018, Lviv-Slavsko, Ukraine, 2018, pp. 805-809, doi: 10.1109/TCSET.2018.8336320.
- [16] Bhavani M., Devi D.A. Design of Smart Monitor for Automobiles Using FPGA Based Data Logger // International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES), Coimbatore, India, 17-19 July 2019, doi: 10.1109/ICCES45898.2019.9002034.
- [17] Пасынков С.В., Ильясов Р.Ф. Оценка использования систолических массивов при реализации алгоритмов умножения матриц на ПЛИС // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). – 2021. – №3. – С. 76-80. – 10.31114/2078-7707-2021-3- 76-80.
- [18] Малиновский, М.Л. Перспективы использования FPGA-технологий в системах железнодорожной автоматики / М.Л. Малиновский, Д.А. Аленин, В.И. Барсов, Н.В. Коноваленко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені ПетраВасиленка. Технічні науки. – Харьков, 2012. – Вип. 130 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – С. 79–81.
- [19] Гладков И.В. Реализация алгоритмов электрической централизации на базе программируемых логических интегральных схем // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2008. – №4. – С. 99-109.
- [20] Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Ефанов Д.В. Применение кодов с суммированием при синтезе систем железнодорожной автоматики и телемеханики на программируемых логических интегральных схемах // Автоматика на транспорте. – 2015. – Том 1. – №1. – С. 84-107.
- [21] Кабецкий А.Г., Марков Д.С. Методы и инструментальные средства построения логических устройств электрической централизации на базе программируемых логических интегральных схем // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – № 2. – С. 168-173.
- [22] Dobiáš R., Kubátová H. FPGA Based Design of Railway’s Interlocking Equipment // Proceedings of EUROMICRO Symposium on Digital System Design, Rennes, France, 2004, pp. 467-473, doi: 10.1109/DSD.2004.1333312.
- [23] Пикле П. Ключевые особенности ПЛИС для взаимосвязанного мира // Компоненты и технологии. – 2014. – №12. – С. 10-11.
- [24] Сапожников В.В., Кокурин И.М., Кононов В.А., Лыков А.А., Никитин А.Б. Эксплуатационные основы автоматики и телемеханики. – М.: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2006, 247 с.
- [25] Сапожников Вл.В., Елкин Б.Н., Кокурин И.М., Кондратенко Л.Ф., Кононов В.А. Станционные системы автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1997, 432 с.
- [26] Офенгейм Х.Г., Красногоров А.А., Крупицкий А.З., Татиевский С.А. Трехпроводная схема управления стрелкой в блочном исполнении // Автоматика, связь, информатика. 2014. №9. С. 7-10.
- [27] Пашуков А.В. Синтез устройств управления объектами напольной автоматизации железнодорожного транспорта на программируемых логических интегральных схемах // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем

- (МЭС). – 2021. – №1. – С. 61-69. – 10.31114/2078-7707-2021-1-61-69.
- [28] Пашуков А.В. Синтез устройств управления стрелочным переводом на программируемых логических интегральных схемах // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XI международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч.1 / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская ж.д., Белорусский государственный университет транспорта; под общей редакцией Ю.И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2021. – С. 201-203. – ISBN 978-985-891-052-5 (ч. 1).
- [29] Сапожников Вл.В., Лыков А.А., Ефанов Д.В. Понятие предотказного состояния // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – №12. – С. 6-8.
- [30] Хаханов, В.И. Проектирование и верификация цифровых систем на кристаллах / В.И. Хаханов, И.В. Хаханова, Е.И. Литвинова, О.А. Гузь. – Харьков: ХНУРЭ. – 2010. – 528 с.
- [31] MAX II Device Handbook, Vol. 1, Altera Corporation, 2006, 102 p.
- [32] Efanov D.V., Pashukov A.V. The Weight-Based Sum Codes in the Residue Ring by Arbitrary Modulus for Synthesis of Self-Checking Digital Computing Systems // Proceedings of 19th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2021), Batumi, Georgia, September 10-13, 2021, pp. 170-179, doi: 10.1109/EWDTS52692.2021.9581032.
- [33] Ефанов Д.В., Пашуков А.В. Взвешенные коды с суммированием в кольце вычетов по произвольному модулю для синтеза цифровых вычислительных устройств // Известия вузов. Приборостроение. – 2022. – Т. 65. – №4. – С. 231-246. – DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-4-231-246.
- [34] Ефанов Д.В., Зуева М.В. Логическое дополнение до модульных кодов с суммированием для синтеза схем встроенного контроля комбинационных устройств автоматики и вычислительной техники // Проблемы разработки перспективных микро- и нанoeлектронных систем (МЭС). – 2021. – №1. – С. 52-60. – DOI: 10.31114/2078-7707-2021-1-52-60.

Implementation of a control device for a railway switch electric drive on FPGA

Artem V. Pashukov

Russian University of Transport (MIIT), Moscow

art_pash@mail.ru

Abstract — The features of the synthesis of control devices for floor technological equipment of railway automation and telemechanics on FPGA are described. An example of the synthesis of a switch control circuit in the form of a finite state machine on FPGA is considered. It is shown that almost any object of railway automation and telemechanics can be represented as a finite automaton using a logical description of all possible algorithms of functioning (both normal and in case of malfunctions). An example of encoding the states of a finite automaton using a weighted code with summation is also considered, which makes it possible to increase the indicators of functional reliability and safety. The considered method also makes it possible to implement additional control systems, in addition to encoding states, which also increases the safety of the synthesized device.

Keywords — railway automation and telemechanics, programmable logic integrated circuits, switch control circuit, state machine, switch.

REFERENCES

- [1] Bochkov K.A., Kovriga A.N., Kharlap S.N. Microprocessor automation systems in railway transport. – Gomel: BelGUT, 2013, 254 p.
- [2] Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking: 3ed Edition. – Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020, 552 p.
- [3] Efanov D., Lykov A., Osadchy G. Testing of Relay-Contact Circuits of Railway Signaling and Interlocking // Proceedings of 15th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2017), Novi Sad, Serbia, September 29 – October 2, 2017, pp. 242-248, doi: 10.1109/EWDTS.2017.8110095.
- [4] Efanov D.V., Osadchy G.V. The concept of modern control systems based on information technologies // Automation, communications, informatics. – 2018. – No. 5. – pp. 20-23.
- [5] Vlasenko S.V., Lunev S.A., Sokolov M.M. Centralized and decentralized architecture of station control posts // Automation, communications, informatics. 2019. No. 3. pp. 22-25.
- [6] Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.V., Hristov H.A., Gavzov D.V. Methods of constructing safe micro-electronic systems of railway automation. – Edited by V.V. Sapozhnikov. – M.: Transport, 1995, 272 p.
- [7] Sapozhnikov V.V. Synthesis of train traffic control systems at railway stations with the exclusion of dangerous failures. – M.: Nauka, 2021, 229 p.
- [8] Gavzov D.V., Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.V. Methods of ensuring the safety of discrete systems // Automation and telemechanics. – 1994. – No. 8. – pp. 3-50.
- [9] Bestemyanov P.F. Methods of ensuring the safety and reliability of microprocessor devices of railway automation and telemechanics // Proceedings of the International Symposium "Reliability and quality". – 2007. – Vol. 2. – pp. 273-274.
- [10] Efanov D.V. Functional control and monitoring of railway automation and telemechanics devices. – St. Petersburg: FGBOU VO PGUPS, 2016, 171 p.
- [11] Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.V., Efanov D.V. Fundamentals of reliability theory and technical diagnostics. – St. Petersburg: Publishing House "Lan", 2019, 588 p.

- [12] Bestemyanov P.F. Methods of ensuring the safety of hardware of microprocessor-based train control systems // *Electrical Engineering*. – 2020. – No. 9. – pp. 2-8.
- [13] Navabi Z. *Embedded Core Design with FPGAs*. – McGraw-Hill Education, 433 p.
- [14] Lange M., Dewey T. Achieving Quality and Traceability in FPGA/ASIC Flows for DO-254 Aviation Projects // *IEEE Aerospace Conference*, Big Sky, MT, USA, 1-8 March 2008, doi: 10.1109/AERO.2008.4526687.
- [15] Drozd O., Antoniuk V., Nikul V., Drozd M. Hidden Faults in FPGA-Built Digital Components of Safety-Related Systems // *Proceedings of the 14th International Conference "TCSET" 2018*, Lviv-Slavsko, Ukraine, 2018, pp. 805-809, doi: 10.1109/TCSET.2018.8336320.
- [16] Bhavani M., Devi D.A. Design of Smart Monitor for Automobiles Using FPGA Based Data Logger // *International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES)*, Co-imbatore, India, 17-19 July 2019, doi: 10.1109/ICCES45898.2019.9002034.
- [17] Pasynkov S.V., Ilyasov R.F. Evaluation of the use of systolic arrays in the implementation of matrix multiplication algorithms on FPGA // *Problems of development of promising micro- and nanoelectronic systems (MES)*. – 2021. – No. 3. – pp. 76-80. – 10.31114/2078-7707-2021-3-76-80.
- [18] Malinovsky M. L., Alenin D. A., Barsov V. I., Konovalenko N. V. Perspektivy issledovaniya FPGA-tekhnologii V sistemy zheleznodorozhnaya Avto-Matika [prospects of using FPGA technologies in railway vehicle systems]. *Technical sciences*. - Kharkiv, 2012. - Issue 130 "problems of energy supply and energy protection in the agro-industrial complex of Ukraine". - P.79-81.
- [19] Gladkov I. V. implementation of algorithms of electrical centralization on the basis of programmable logical integral schemes // *Izvestiya Peterburgskogo uni-sitet PU-Ty messages*. 2008, No. 4, pp. 99-109.
- [20] Sapozhnikov V.V., Sapozhnikov V.V., Efanov D.V. Application of codes with summation in the synthesis of railway automation and telemechanics systems on programmable logic integrated circuits // *Automation in transport*. - 2015. – Volume 1. – No. 1. – pp. 84-107.
- [21] Kaibitsky A.G., Markov D.S. Methods and tools for constructing logic devices of electrical centralization based on programmable logic integrated circuits // *News of the St. Petersburg University of Railway Transport*. - 2010. – No. 2. – pp. 168-173.
- [22] Dobiáš R., Kubátová H. FPGA Based Design of Railway's Interlocking Equipment // *Proceedings of EUROMICRO Symposium on Digital System Design*, Rennes, France, 2004, pp. 467-473, doi: 10.1109/DSD.2004.1333312.
- [23] Pekle P. Key features of FPGAs for the interconnected world // *Components and Technologies*. – 2014. – No. 12. – pp. 10-11.
- [24] Sapozhnikov V.V., Kokurin I.M., Kononov V.A., Lykov A.A., Nikitin A.B. *Operational fundamentals of automation and telemechanics*. - M.: Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport, 2006, 247 p.
- [25] Sapozhnikov V.V., Elkin B.N., Kokurin I.M., Kondratenko L.F., Kononov V.A. *Station automation and telemechanics systems*. – M.: Transport, 1997, 432 p.
- [26] Ofenheim H.G., Krasnogorov A.A., Krupitsky A.Z., Tatishchevsky S.A. Three-wire arrow control circuit in block design // *Automation, communications, informatics*. 2014. No.9. pp. 7-10.
- [27] Pashukov A.V. Synthesis of control devices for objects of floor automation of railway transport on programmable logic integrated circuits // *Problems of development of promising micro- and nanoelectronic systems (MES)*. – 2021. – No.1. – pp. 61-69. – 10.31114/2078-7707-2021-1-61-69.
- [28] Pashukov A.V. Synthesis of switch control devices on programmable logic integrated circuits // *Problems of security at the transport: materials of the XI International Scientific and Practical Conference: at 2 p.m. I / Ministry of Transport and Communications of the Republic of Belarus, Belorusskaya railway, Belorussky State University of Transport; under the general editorship of Yu.I. Kulazhenko*. – Gomel: Bel-GUT, 2021. – pp. 201-203. – ISBN 978-985-891-052-5 (part 1).
- [29] Sapozhnikov V.V., Lykov A.A., Efanov D.V. The concept of a pre-failure state // *Automation, communications, informatics*. - 2011. – No. 12. – pp. 6-8.
- [30] Khakhanov, V.I. Design and verification of digital systems on crystals / V.I. Khakhanov, I.V. Khakhanova, E.I. Litvinova, O.A. Guz. – Kharkiv: KHNURE. – 2010. – 528 p.
- [31] *MAX II Device Handbook*, Vol. 1, Altera Corporation, 2006, 102 p.
- [32] Efanov D.V., Pashukov A.V. The Weight-Based Sum Codes in the Residue Ring by Arbitrary Modulus for Synthesis of Self-Checking Digital Computing Systems // *Proceedings of 19th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2021)*, Batumi, Georgia, September 10-13, 2021, pp. 170-179, doi: 10.1109/EWDTS52692.2021.9581032.
- [33] Efanov D.V., Parshukov A.V. Weighted codes with a sum in the ring of deductions according to an arbitrary model for the synthesis of digital computing devices // *Izvestiya vuzov. Instrumentation*. – 2022. – Vol. 65. – No. 4. – pp. 231-246. – DOI: 10.17586/0021-3454-2022-65-4-231-246.
- [34] Efanov D.V., Zueva M.V. Logical addition to modular codes with summation for synthesis of integrated control circuits of combinational devices of automation and computer technology // *Problems of development of promising micro- and nanoelectronic systems (MES)*. – 2021. – No. 1. – pp. 52-60. – DOI: 10.31114/2078-7707-2021-1-52-60.