

**АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ**

УДК 656.25 (075.8)

Д. В. КОМНАТНЫЙ, кандидат технических наук, Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого

### РАЗВИТИЕ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО РАЗРАБОТКЕ БЕЗОПАСНЫХ СХЕМ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Рассматриваются дополнения к руководящему материалу 32ЦШ1115842.01-94 в части описания безопасных схем сравнения многоканальных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Приведены функции алгебры логики, на которых основана работа этих схем. Рассмотрены вопросы синтеза безопасных схем сравнения. В качестве примера реализации предложены безопасные элементы системы LOGISAFE-GS. Таким образом, предлагаемые дополнения позволяют провести системное описание принципа действия и конструкции безопасных схем сравнения. Такое описание является актуальным на современном этапе развития систем железнодорожной автоматики.

Для обеспечения защиты от опасных отказов в современных микропроцессорных системах железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) используется структурное резервирование аппаратного и программного обеспечения. В состав системы входят несколько диверситетных вычислительных каналов; результаты обработки информации контролируются безопасными схемами сравнения [1]. Так как создание такого аппаратно-программного комплекса является сложной научной и инженерной задачей, то разработан руководящий технический материал РТМ 32ЦШ1115842.01-94 [2], фиксирующий архитектурные и схемные методы обеспечения функциональной безопасности СЖАТ. К сожалению, указанный документ не лишен недостатков в части описания безопасных схем сравнения. Во-первых, в документе приведены только отдельные примеры схемотехнических решений для безопасных схем, причем не все востребованные на практике схемы описаны. Во-вторых, не дано никакое теоретическое основание для разработки таких схем. Поэтому в статье предлагаются изменения описания безопасных схем сравнения в РТМ 32ЦШ1115842.01-94, направленные на устранение этих недостатков.

Для реализации этого представляется целесообразным следующее распределение материала о безопасных схемах сравнения в соответствующем разделе РТМ 32ЦШ1115842.01-94.

В начале раздела следует указать, что для объектов, у которых опасным отказом является ложное появление сигнала, используются решающие элементы «И» и схемы мажоритарного выбора. Также находит широкое применение схема равнозначности кодов [3–5].

Далее описываются функции алгебры логики, на которых основана работа безопасных схем сравнения. Так, логическая функция «И» хорошо известна [6]. Для повышения помехоустойчивости и обеспечения диверситета в железнодорожной автоматике сравнивается код  $v = (x_1 \dots x_n)$  и инверсия кода  $\bar{v} = (y_1 \dots y_n)$ , при правильном функционировании вычислительных каналов  $x_p = \bar{y}_p$ . Поэтому для разработки схемы равнозначности необходимо использовать логическую функцию «сумма по модулю два», иначе «отрицание

равнозначности», «исключающее ИЛИ» [3, 4, 7]. Функция алгебры логики задается формулой [6]

$$f(v, \bar{v}) = \prod_{p=1}^n x_p \oplus y_p. \quad (1)$$

Логическая функция мажоритарного выбора в железнодорожной автоматике определяется возможным количеством вычислительных каналов. Находят применение трехканальные структуры [4, 7]. Поэтому мажоритарный выбор осуществляется по правилу «два из трех». Соответствующая логическая функция имеет вид [6]

$$f = x_2 x_1 \vee x_3 x_1 \vee x_3 x_2. \quad (2)$$

Затем излагаются вопросы синтеза безопасных схем сравнения. Технологичность, миниатюризация, простота схемы обеспечиваются непосредственной реализацией логических функций на электронных элементах. Синтез функций алгебры логики в одном из классических базисов [6] в данном случае нецелесообразен, так как усложняет конструкцию схемы.

Технологичность и доступность элементной базы совместно с требуемым уровнем безопасности достигаются применением внешнего тестового автоконтроля в схемах сравнения. Как следует из [7], при таком схемном решении для реализации схем не требуются индуктивные элементы: трансформаторы либо ферритовые модули. Такие элементы всегда усложняют изготовление схемы и увеличивают ее стоимость.

В качестве руководящего образца для реализации наиболее подходящими являются элементы системы LOGISAFE-GS. Ее базовым модулем является усилитель на полевом транзисторе. Защитное свойство усилителя заключается в том, что в случае пробоя транзистора сигнал на выходе усилителя имеет низкий уровень и не приводит к ложному появлению сигнала на выходе безопасной схемы, построенной на базе усилителя. Также логические сигналы постоянного тока не пропускаются на выход и вход безопасной схемы по-

ловосыми частотными фильтрами. Схема усилителя приведена на рисунке 1 [7–9].

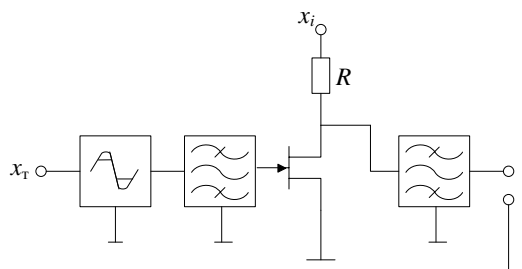


Рисунок 1 – Базовый усилитель системы LOGISAFE-GS

На базе этого усилителя строятся требуемые схемы сравнения: «И» (рисунок 2), «исключающее ИЛИ» (рисунок 3), мажоритарная «2 из 3» (рисунок 4).

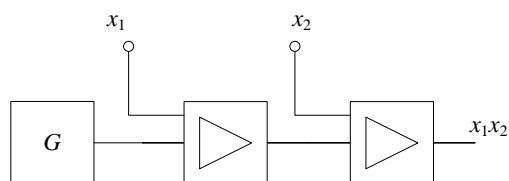


Рисунок 2 – Безопасная схема «И»

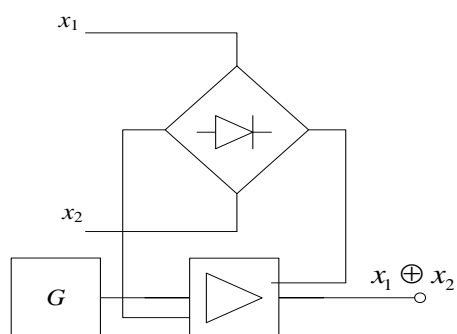


Рисунок 3 – Безопасная схема «Исключающее ИЛИ»

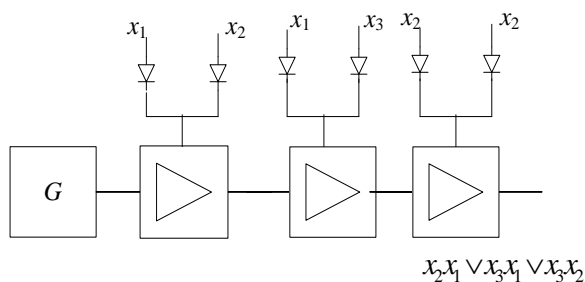


Рисунок 4 – Безопасная мажоритарная схема

В схеме на рисунке 2 сигнал на выходе появляется только в том случае, если оба усилителя получают питание от входов, на которых имеется логическая переменная высокого уровня «1». Очевидно, что при этом реализуется таблица истинности логической функции «И».

Работа схемы «исключающее ИЛИ» основана на включении усилителя в плечо диодного моста Грца. В этом мосте диоды открываются и полевой транзистор усилителя получает питание, только если на логические входы схемы поданы разные уровни входных сигналов ( $x_1 = 1, x_2 = 0$  или  $x_1 = 0, x_2 = 1$ ). Тогда на выходе

схемы появляется сигнал. В случае равенства входных логических сигналов диоды моста закрыты, усилитель не получает питания, сигнал на выходе схемы отсутствует. Очевидно, таким способом реализуется таблица истинности требуемой логической функции.

Работа мажоритарной схемы на рисунке 4 поясняется таблицей истинности (таблица 1). При ее формировании учтено, что усилитель получает питание, если на логическом ходе присутствует хотя бы один сигнал высокого положительного уровня. Также учтено, что если на тестовом входе усилителя нет сигнала, то его нет и на выходе усилителя.

Таблица 1 – Таблица истинности безопасной мажоритарной схемы

$x_1$	$x_2$	$y_1$	$x_1$	$x_3$	$y_2$	$x_2$	$x_3$	$y_3$
0	0	–	0	0	–	0	0	–0
0	0	–	0	1	–	0	1	–0
0	1	П	0	0	–	1	0	–0
0	1	П	0	1	П	1	1	П1
1	0	П	1	0	П	0	0	–0
1	0	П	1	1	П	0	1	П1
1	1	П	1	0	П	1	0	П1
1	1	П	1	1	П	1	1	П1

Как видно, на выходе схемы формируется сигнал, соответствующий значениям логической функции мажоритарного выбора (2) [6]. Диоды на логических входах усилителей предотвращают питание усилителя от высоких отрицательных уровней напряжения.

Из приведенных рисунков видно: достоинством системы LOGISAFE-GS является то, что все схемы сравнения разработаны на основе общего схемотехнического решения и одного базового модуля.

Схема диодного моста Грца часто используется для реализации схемы «исключающее ИЛИ» в коллекторно-базовой логике [2, 4, 7]. Поэтому ее описание должно быть также включено в руководящий технический материал. В этой схеме в плечо диодного моста включается биполярный транзистор, как показано на рисунке 5. Работа схемы аналогична описанной выше.

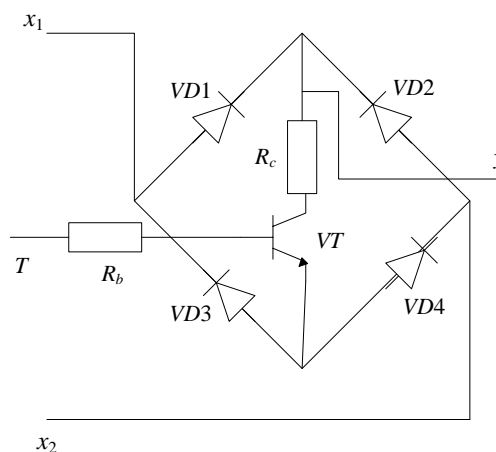


Рисунок 5 – Диодный мост Грца

В приведенной выше схеме резистор  $R_b$  обеспечивает снижение уровня тестового сигнала до уровня, при котором транзистор надежно открывается. Тогда, в случае пробоя транзистора, усиление тестового сигнала в схеме не происходит и уровень сигнала на выходе имеет низкий уровень, соответствующий логическому нулю.

Для исключения короткого замыкания резистора принимаются специальные конструкторские меры [2, 4, 7].

Предлагаемые в статье дополнения к РТМ 32ЦШ1115842.01-94 позволяют дать системное описание безопасных схем сравнения, которые применяются в микропроцессорных СЖАТ. В этих дополнениях отражено, какие схемы сравнения используются, на базе каких логических функций эти схемы работают, как эти логические функции реализуются на электронной элементной базе. Поэтому приведенные дополнения позволяют решать задачи разработки современных СЖАТ на высоком теоретическом уровне. Следовательно, доработка и улучшение руководящих технических материалов является актуальной в современных условиях перехода к новым концепциям разработки систем управления движением поездов [10].

Автор выражает искреннюю благодарность заведующему кафедрой информационно-управляющих систем и технологий Белорусского государственного университета транспорта С. Н. Харлапу за полезные обсуждения, позволившие сформировать цель и направление исследований.

#### Список литературы

1 **Бочков, К. А.** Микропроцессорные системы автоматики на железнодорожном транспорте / К. А. Бочков, А. Н. Коврига, С. Н. Харлап. – Гомель : БелГУТ, 2013. – 254 с.

2 **РТМ 32ЦШ1115842.01-94.** Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ. – Введ. 1994-06-01. – СПб. : ПГУПС, 1994. – 120 с.

3 **Кустов, В. Ф.** Разработка требований функциональной безопасности для устройств железнодорожной автоматики / В. Ф. Кустов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021. – № 2 (41). – С. 28–30.

4 **Харлап, С. Н.** Разработка микропроцессорного модуля управления для системы железнодорожной автоматики / С. Н. Харлап. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 175 с.

5 Станционные системы автоматики и телемеханики : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Вл. В. Сапожников [и др.] ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1997. – 432 с.

6 **Пухальский, Г. И.** Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах / Г. И. Пухальский, Т. Я. Новосельцева. – М. : Радио и связь, 1990. – 304 с.

7 Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников [и др.] ; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Транспорт, 1995. – 272 с.

8 **Шивек, Л. В.** Дискретные логические схемы с безопасными отказами LOGISAFE-GS / Л. В. Шивек // Железные дороги мира. – 1980. – № 11. – С. 10–18.

9 **Лисенков, В. М.** Безопасность технических средств в системах управления движением поездов / В. М. Лисенков. – М. : Транспорт, 1999. – 192 с.

10 **Рогачева, И. Л.** Эксплуатационная надежность систем электрической централизации нового поколения / И. Л. Рогачева. – М. : Маршрут, 2006. – 230 с.

Получено 08.07.2021

**D. V. Komnatny.** Development of technical manuals on safe comparison circuits of microprocessor railway automatic systems design work.

The additions to guided technical matter 32ЦШ1115842.01-94 in parts of safe comparison circuits description are considered. These circuits are used in modern microelectronic railway automatic and telemechanics systems. The Boolean algebra functions, on which operation of these circuits based, are adduced. The questions of safe comparison circuits synthesis are considered. As an example of synthesis, the elements of LOGISAFE-GS system are proposed. Proposed additions allows to conduct the systematic description of safe comparison circuits design philosophy. Such description is actual in modern stage of railway automatic systems development.