

Косьянчук Владислав Викторович – ФУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»; e-mail: kos.vl.v@gmail.com; 125319, г. Москва, ул. Викторенко, 7; тел.: +74997590069; д.т.н.; профессор; главный научный сотрудник.

Сельвесюк Николай Иванович – e-mail: niselvesuk@2100.gosniias.ru; д.т.н.; доцент; главный научный сотрудник.

Чуянов Геннадий Алексеевич – e-mail: gachuyanov@2100.gosniias.ru; тел.: +74991570747; начальник отделения.

Кравченко Сергей Викторович – ООО «Экспериментальная мастерская НаукаСофт»; e-mail: centrniiisu@yandex.ru; 125167, г. Москва, ул. 4-я 8 марта, 6А; тел.: +74995580049; к.т.н.; ведущий научный сотрудник.

Kosyanchuk Vladislav Viktorovich – FGUP «State Research Institute of Aviation Systems»; e-mail: kos.vl.v@gmail.com; 7, Viktorenko street, Moscow, 125319, Russia; phone: +74997590069; dr. of eng. sc.; professor; leading researcher.

Selvesyuk Nikolay Ivanovich – e-mail: niselvesuk@2100.gosniias.ru; dr. of eng. sc.; associate professor; leading researcher.

Chuyanov Gennadiy Alekseevich – e-mail: gachuyanov@2100.gosniias.ru; phone: +74991570747; head of department.

Kravchenko Sergey Viktorovich – Ltd. "Experimental Workshop NaukaSoft"; e-mail: centrniiisu@yandex.ru; 6А, 4-th 8 Marta street, Moscow, 125167, Russia; phone: +74995580049; cand. of eng. sc.; leading researcher.

УДК 512.563.6: 621.374.4

И.Д. Долгий, А.Г. Кулькин, С.А. Кулькин, Ю.Э. Пономарев, И.Н. Розенберг

ВВЕДЕНИЕ В БЕЗОПАСНУЮ РАДИОЧАСТОТНУЮ ЛОГИКУ

Широкое использование компьютерных технологий в системах железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) поставило новые задачи перед их разработчиками при реализации не только информационных, но и, в первую очередь, управляющих функций. При этом на первое место выходит обеспечение функциональной безопасности. Развитие микроэлектроники предопределяет использование теории самопроверяемых элементов как перспективной базы для построения безопасных функциональных элементов. Одним из достоинств радиочастотной логики является то, что частотные сигналы, используемые в качестве импульсных признаков при отказах, не трансформируются друг в друга, а только смешиваются. Поэтому при использовании частотных импульсных признаков для построения безопасных логических элементов необходимо учитывать четыре состояния: f_0 – состояние логического 0, f_1 – состояние логической 1, f_0, f_1 – смеси частот и защитное состояние Φ . В связи с этим в качестве базовых элементов при построении современных СЖАТ авторами предлагается использовать полученные на базе радиочастотной логики безопасные логические элементы «И», «ИЛИ», «НЕ». Причем обязательным условием должен являться факт перехода таких элементов в защитное состояние. Применение таких функциональных элементов предлагается не только при реализации функций безопасности систем СЖАТ, но и при построении силовых модулей управления объектами.

Радиочастотная логика; безопасный базовый элемент; защитное состояние; самопроверяемые дискретные устройства.

I.D. Dolgy, A.G. Kulkin, S.A. Kulkin, Yu.E. Ponomarev, I.N. Rozenberg

INTRODUCTION INTO THE SAFE RADIO FREQUENCY LOGIC

The extensive use of computer-aided technologies in the railroad automation and telemechanics systems (RATS) has put the development engineers to the new tasks when implementing not only the information functions but also, in the first place, control functions. At this the functional safety assurance takes the centre stage. The development of the microelectronics predetermines the usage of the theory of the self-checking elements as an advanced basis for the generation of the safe functional elements. One of the advantages of the radio frequency logic is that the frequency signals, which are used as impulse characteristics upon failure, do not transform into each other and only intermix. Therefore, when the frequency impulse characteristics are used for the generation of the safe logic elements the account must be taken of the four states: f_0 – the state of the logical 0, f_1 – the state of the logical 1, f_0, f_1 – the mixture of frequencies and the safe-guard state of \emptyset . In connection therewith, the authors suggest to use the safe logic elements AND, OR, NOT, which were obtained on the basis of the radio frequency logic, as the primitive elements during the generation of the modern railroad automation and telemechanics systems (RATS). And the actual transition of such elements into the safe-guard state must be the essential condition. It is suggested to use these functional elements during the implementation of the safety functions of the RAT systems as well as during the generation of the power modules for the entity management.

The radio frequency logic; the safe primitive element; the safe state; the self-verification discrete devices.

Широкое использование компьютерных технологий в системах железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) поставило новые задачи перед их разработчиками при реализации не только информационных, но и в первую очередь управляющих функций. При этом на первое место выходит обеспечение функциональной безопасности. Отдельное место среди задач, стоящих перед разработчиками СЖАТ, занимает задача синтеза, заключающаяся в выборе не только методов построения безопасных систем, но и в выборе используемой элементной базы для их построения [1].

Известна классификация безопасных элементов, которые делятся на группу с **несимметричным отказом** и группу **самопроверяемых** [2]. При этом функционирование безопасного элемента могут обеспечить амплитудные, фазовые, частотные, полярные импульсные признаки и комбинированные, использующие комбинацию нескольких признаков. По способу преобразования импульсных логических сигналов они делятся на две группы: с контролем динамики входных сигналов на основе управляемых генераторов и тактируемые.

Безопасность релейных СЖАТ построена на концепции использования безопасного базового элемента с **несимметричной характеристикой отказа** и характеризуется коэффициентом асимметрии отказов K_a . Используемые при построении СЖАТ реле первого класса надежности в качестве безопасного элемента обладают специальными конструктивными особенностями, позволяющими исключить опасные отказы [3]. Таковым является использование гравитации и драгметаллов при производстве контактов, которое позволяет достичь значений коэффициента асимметрии $K_a > 10^3$. Реле первого класса надежности (*неконтролируемое реле* по классификации [4]) позволяет строить безопасные СЖАТ любой сложности и размера. Ярким примером здесь может служить широко распространенная по всей стране система блочной маршрутной релейной централизации (БМРЦ), которая обладает хорошими техническими и эксплуатационными характеристиками [5].

Концепция построения **самопроверяемых** дискретных устройств (ДУ) базируется на обеспечении непрерывного контроля в процессе функционирования, для чего применяется кодирование состояний ДУ кодом с обнаружением ошибок. Поэтому если для функционирования систем с несимметричным отказом достаточно применения двух состояний, то для самопроверяемых систем количество состояний определяется свойствами кода, использованного для кодирования внутренних состояний.

Так, например, при использовании парафазного кодирования в самопроверяемых дискретных элементах к двум основным состояниям вводится третье, защитное состояние \emptyset . Это состояние необходимо для того, чтобы при всех возможных отказах в безопасном элементе происходил переход из основных состояний «0» или «1» в защитное « \emptyset ». Для этого используется кодирование двумя битами, при этом сигнал «0» кодируется как 01, сигнал «1» как 10, а сигнал \emptyset – как 00 или 11.

Развитие микроэлектроники предопределяет использование теории самопроверяемых элементов как перспективной базы для построения безопасных функциональных элементов. Так, например, в работе [6] для построения безопасного функционального элемента предлагается использование комбинированных импульсных признаков – частота, амплитуда, фаза, модуляция, а по способу преобразования импульсных логических сигналов – контроль динамики входных сигналов и применение управляемых генераторов на выходе, и особо подчеркивается использование динамического режима работы безопасного элемента. Используемые признаки очень хорошо соответствуют классификации безопасных элементов, данной еще в 1995 г. [2]. Применение таких безопасных функциональных элементов предлагается не только при реализации функций безопасности систем микропроцессорной электрической централизации, но и при построении силовых модулей управления объектами СЖАТ [7, 8, 9].

Известны работы [10, 11, 12] по использованию элементов радиочастотной логики для построения особо ответственных радиолокационных систем, позволяющих определить цели на более раннем этапе за счет исключения из цепи принятия решения аналого-цифрового и цифроаналогового преобразований, в которых вопросам безопасного функционирования уделяется недостаточное внимание, также обходятся вопросы функционирования радиочастотной логики при отказах («обрыв» и «короткое замыкание»). Одним из достоинств радиочастотной логики является то, что частотные сигналы, используемые в качестве импульсных признаков при отказах, не трансформируются друг в друга, а только смешиваются, в отличие от TTL-логики. Поэтому при использовании частотных импульсных признаков для построения безопасных логических элементов необходимо учитывать четыре состояния: f_0 – состояние логического 0, f_1 – состояние логической 1, f_0, f_1 – смеси частот и защитное состояние \emptyset .

Целью научной разработки является создание базовых **безопасных** радиочастотных логических элементов «НЕ», «И», «ИЛИ» (в дальнейшем элементы «НЕ», «И», «ИЛИ»), функцией которых является генерация выходного сигнала Y с частотами f_0 или f_1 при поступлении на вход этих элементов сигналов $X1$ и/или $X2$ с частотами f_0 или f_1 согласно представленным для каждого элемента таблицам истинности. Причем **обязательным условием должен являться факт перехода таких элементов в безопасное состояние** согласно таблицам истинности.

Наиболее близкими к предлагаемым базовым элементам по функциональным особенностям являются представленные в [13] радиочастотные логические элементы, однако недостатком таких элементов является то, что в результате появле-

ния на одном или обоих входах элементов смеси сигналов $X1$ и $X2$ с частотами f_0 и f_1 такие элементы пропускают на выход суммарный сигнал этих частот. Такая ситуация может возникнуть при коротком замыкании в аппаратном устройстве, что недопустимо для критичных систем, таких как системы управления железнодорожным транспортом.

Основные концепции, изложенные выше, легли в основу создания нового типа **безопасных** радиочастотных логических элементов. В этих элементах за счет введения новых блоков и связей между ними обеспечивается переход в безопасное состояние в случае появления на входе смеси сигналов $X1$ и $X2$, которая может возникнуть при коротком замыкании в аппаратном устройстве. То есть в случае, не предусмотренном условиями безопасного функционирования элементов, сигнала на выходе быть не должно.

Устройства содержат следующие элементы: смеситель информационных частот (См) входного информационного сигнала f_0 (f_1) и частоты сдвига Δf ; полосовые фильтры (ПФ), выделяющие частоты f_0 и f_1 соответственно; элементы ВОС, производящие вычисление огибающей сигнала с помощью преобразования Фурье; сумматоры (Сум); пороговые элементы (ПЭ), выполняющие генерацию логической единицы в случае присутствия полезного управляющего сигнала; сумматоры по модулю два (СУМ |2|), работающие по принципу: если на входе два нуля или две единицы – на выходе ноль; классические логические элементы «И»; аналоговые ключи с двумя управляющими входами (АК), роль которых состоит в том, чтобы пропускать полезный сигнал частотой f_0 или f_1 , если на управляющих входах присутствуют логические единицы.

Рассмотрим структуры и принципы работы безопасных элементов подробнее. Для этого сформируем таблицы истинности, определяющие логику работы таких элементов (табл. 1 – 3).

Таблица 1

Таблица истинности безопасного радиочастотного элемента «НЕ»

Вход	$X1 (f_0)$	$X2 (f_1)$	\emptyset	$X1 (f_0) X2 (f_1)$
Выход	$X2 (f_1)$	$X1 (f_0)$	\emptyset	\emptyset

Для реализации требований, представленных в табл. 1, была разработана структурная схема элемента «НЕ» (рис. 1). В отличие от структуры, представленной в [7], в данную структуру были введены блоки 7–15 и соответствующие связи.

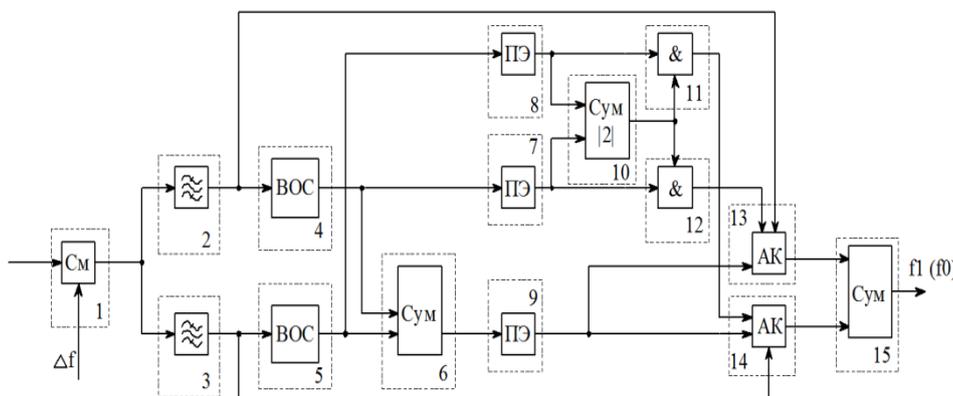


Рис. 1. Структурная схема безопасного логического элемента «НЕ»:

1 – смеситель; 2, 3 – полосовой фильтр; 4, 5 – вычислитель огибающей сигнала; 6, 15 – сумматор; 7, 8, 9 – пороговый элемент; 10 – сумматор по модулю 2; 11, 12 – логические элементы «И»; 13, 14 – аналоговый ключ

Рассмотрим порядок работы логического элемента «НЕ». В условиях нормального режима работы входной информационный сигнал $X1$ с частотой f_0 и амплитудой A поступает на вход См 1 вместе с частотой сдвига Δf , равной разнице частот f_1 и f_0 . Результирующий сигнал $f_0 + \Delta f$ и $f_0 - \Delta f$ подается на полосовые фильтры 2 и 3, пропускающие частоты f_0 и f_1 соответственно. Так как на вход подавался сигнал с частотой f_0 , то фильтр 2, соединённый с АК 13, отсеивает поступивший на вход после См 1 сигнал $f_0 - \Delta f$, а фильтр 3 выделяет частоту f_1 и передает ее на вход аналогового ключа 14. С выходов ПФ 2 и 3 сигнал поступает на входы АК 13 и 14 соответственно, а также на элементы ВОС 4 и 5 соответственно, где происходит вычисление огибающих сигналов с помощью преобразования Фурье. Далее с выходов элементов ВОС 4 и 5 преобразованные сигналы (на выходе элемента ВОС 4 нулевой сигнал, а на выходе элемента ВОС 5 – огибающая сигнала с амплитудой A) поступают на Сум 6, где происходит сложение сигналов по амплитуде, и на ПЭ 7 и 8 соответственно. С выхода Сум 6 сигнал поступает на ПЭ 9. ПЭ 7, 8 и 9 функционируют следующим образом: если на вход элемента поступает сигнал с амплитудой больше порогового значения, то на выходе появляется сигнал, соответствующий логической единице, в противном случае – логическому нулю. Таким образом, на выходе ПЭ 8 будет логическая единица, на выходе ПЭ 7 – логический ноль, на выходе ПЭ 9 – логическая единица. Выход ПЭ 9 соединен с входами АК 13 и 14, имеющих два управляющих входа, работа которых сводится к трансляции аналогового сигнала, если на управляющих входах будут присутствовать две логические единицы. Выходы ПЭ 7 и 8 соединены с сумматором по модулю два 10 и с логическими элементами «И» 11 и 12 соответственно.

Таким образом, на выходе СУМ |2| 10 будет логическая единица, на выходе элемента «И» 11 – логическая единица, на выходе элемента «И» 12 – логический ноль. В результате на управляющих входах АК 13 будут соответственно логический ноль и единица, что не приведет к пропуску сигнала от фильтра 2 в соответствии с принципом работы АК. Напротив, на управляющих входах АК 14 будут присутствовать обе логические единицы, и соответственно сигнал $X2$ с частотой f_1 будет пропущен дальше на сумматор 15. В результате работы всей схемы при поданном на вход сигнале $X1$ с частотой f_0 на выходе получим сигнал $X2$ с частотой f_1 . Принцип работы схемы при подаче на вход сигнала $X2$ с частотой f_1 аналогичный, но на выходе получаем сигнал $X1$ с частотой f_0 .

В случае короткого замыкания, при котором на вход элемента «НЕ» попадет смесь частот, функционирование будет осуществляться следующим образом: фильтры 2 и 3 выделяют частоты f_0 и f_1 соответственно и передадут их на вход АК 13 и АК 14 соответственно. С выходов элементов ВОС 4 и 5 вычисленные огибающие сигналов будут переданы на входы ПЭ 7 и 8 соответственно, а также на вход Сум 6. В результате с выходов ПЭ 7 и 8 на вход Сум |2| 10 поступят логические единицы, что в соответствии с условиями работы Сум |2| даст на выходе логический ноль. В результате с выходов логических элементов «И» 11 и 12 на входы АК 13 и 14 поступят логические нули, что приведет к тому, что сигналы, поступившие на вход АК 13 и 14 с фильтров 2 и 3 соответственно, пропущены не будут. В результате на выходе схемы будет нулевой сигнал, что удовлетворяет требованиям, представленным в табл. 1. Структуры элементов «И» и «ИЛИ» функционируют аналогичным образом.

Полученная структура позволяет добиться поставленной задачи. Временные диаграммы работы радиочастотного безопасного логического элемента «НЕ» приведены на рис. 2, где представлена временная последовательность поступления на вход устройства следующих сигналов: $X1$ с частотой f_0 ; $X2$ с частотой f_1 ; смеси сигналов $X1$ и $X2$; при отсутствии сигнала на входе. Первая осциллограмма представляет собой временные отчеты для каждого события. Вторая осциллограмма – сигналы на входе элемента. Третья – сигналы на выходе обычного радиочастотного элемента «НЕ». Четвертая – сигналы на выходе предлагаемого безопасного радиочастотного элемента «НЕ».

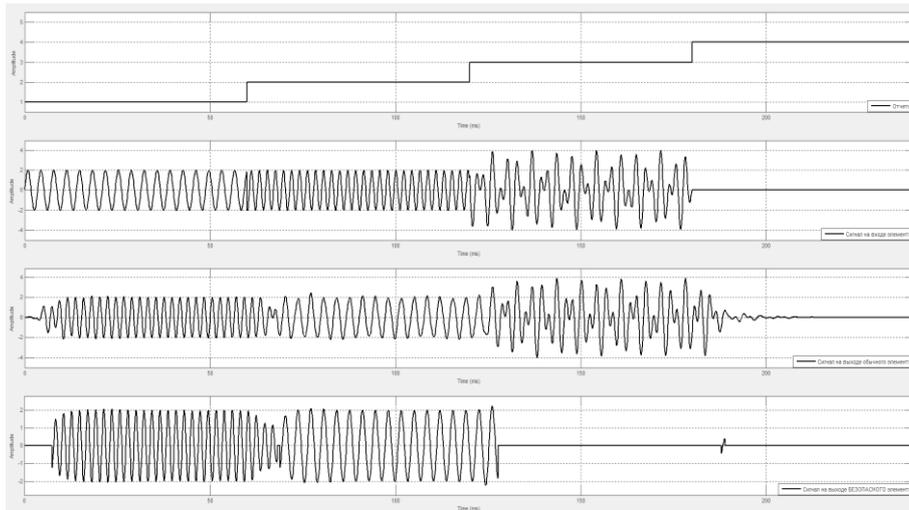


Рис. 2. Осциллограммы работы безопасного радиочастотного логического элемента «НЕ»

Как видно из осциллограммы, безопасный элемент «НЕ» в случае подачи на вход смеси сигналов $X1$ и $X2$ переходит в безопасное состояние (осциллограмма 4), чего нельзя сказать о классическом элементе (осциллограмма 3).

Таблица 2

Таблица истинности безопасного радиочастотного элемента «И»

		Вход $X1$			
		\emptyset	f_0	f_1	f_0, f_1
Вход $X2$	\emptyset .	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset
	f_0	\emptyset	f_0	f_0	\emptyset
	f_1	\emptyset	f_0	f_1	\emptyset
	f_0, f_1	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset

Требованиям, представленным в табл. 2, соответствует разработанная структурная схема элемента «И» (рис. 3). В отличие от структуры, представленной в [7], в данную структуру были введены блоки 9–17 и соответствующие связи.

Работа элемента «И» представлена на рис. 4: 1 – осциллограмма подачи на первый вход элемента смеси частот f_0 и f_1 ; 2 – осциллограмма подачи на второй вход частоты f_1 ; 3 – осциллограмма сигнала на выходе классического радиочастотного элемента «И»; 4 – осциллограмма на выходе безопасного радиочастотного элемента «И»

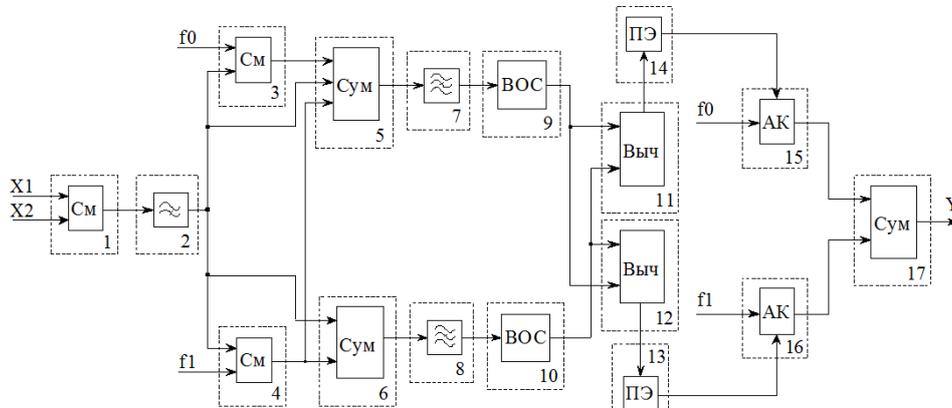


Рис. 3. Структурная схема безопасного логического элемента «И»:

1, 3, 4 – смеситель; 2 – фильтр верхних частот; 5, 6, 17 – сумматор; 7, 8 – полосовой фильтр; 9, 10 – вычислитель огибающей сигнала; 11, 12 – вычитатель; 13, 14 – пороговый элемент; 15, 16 – аналоговый ключ

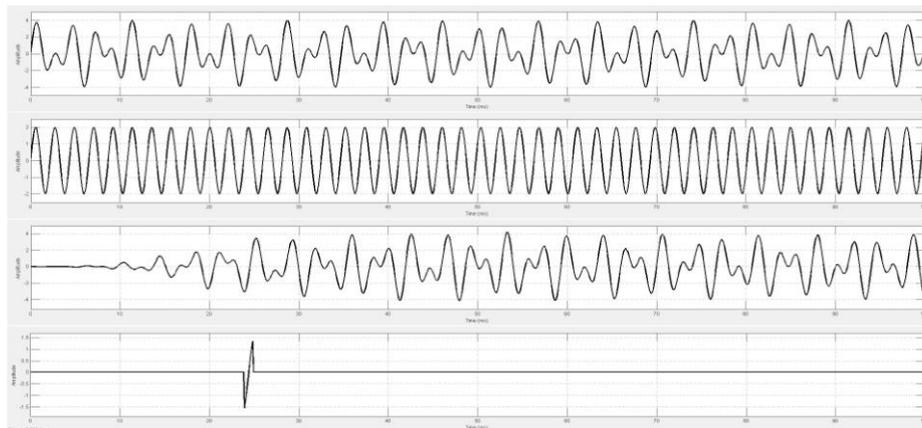


Рис. 4. Осциллограммы работ безопасного радиочастотного логического элемента «И»

Представленная осциллограмма позволяет сделать вывод о полноте реализации требований к логическому элементу. В отличие от прототипа (осциллограмма 3) безопасный элемент «И» в случае подачи на вход $X1$ смеси сигналов с частотами f_0 и f_1 , а на вход $X2$ частоты f_1 переходит в безопасное состояние (осциллограмма 4).

Таблица 3

Таблица истинности безопасного радиочастотного элемента «ИЛИ»

		Вход $X1$			
		\emptyset	f_0	f_1	f_0, f_1
Вход $X2$	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset	\emptyset
	f_0	\emptyset	f_0	f_1	\emptyset
	f_1	\emptyset	f_1	f_1	f_1
	f_0, f_1	\emptyset	\emptyset	f_1	\emptyset

Для реализации требований, представленных в табл. 3, была сформирована структурная схема элемента «ИЛИ» (рис. 5). В отличие от структуры, представленной в [7], в данную структуру были введены блоки 9–17 и соответствующие связи.

Временные диаграммы работы элемента «ИЛИ» приведены на рис. 6. Представлена ситуация поступления на вход логических радиочастотных элементов «ИЛИ», описанного в [7], и «безопасного» следующих сигналов: $X1$ с частотой f_0 и f_1 ; $X2$ с частотой f_0 и f_1 . Первая осциллограмма представляет собой смесь сигналов с частотами f_1 и f_0 , поступившую на вход $X1$. Вторая осциллограмма – смесь сигналов с частотами f_1 и f_0 на входе $X2$. Третья – сигналы на выходе обычного радиочастотного элемента «ИЛИ». Четвертая – сигналы на выходе предлагаемого радиочастотного безопасного элемента «ИЛИ».

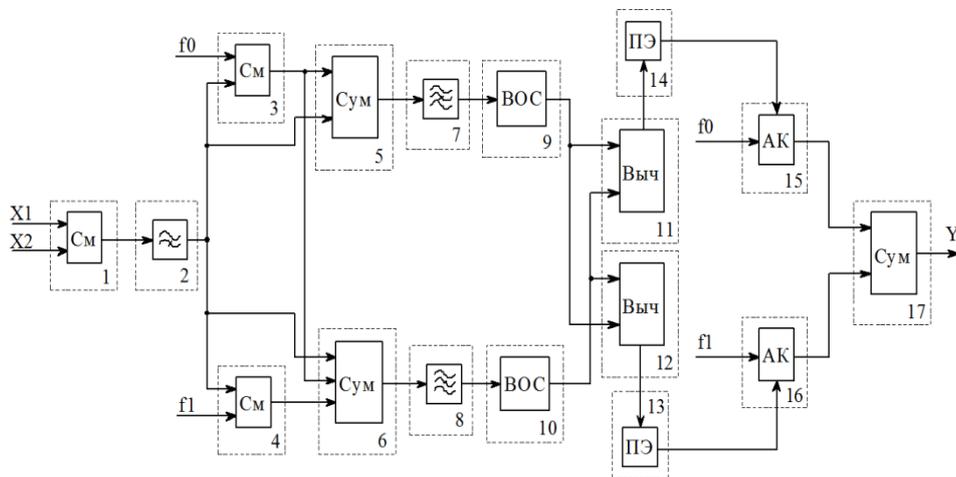


Рис. 5. Структурная схема безопасного логического элемента «ИЛИ»:

1, 3, 4 – смеситель; 2 – фильтр верхних частот; 5, 6, 17 – сумматор; 7, 8 – полосовой фильтр; 9, 10 – вычислитель огибающей сигнала; 11, 12 – вычитатель; 13, 14 – пороговый элемент; 15, 16 – аналоговый ключ



Рис. 6. Осциллограммы работ безопасного радиочастотного логического элемента «ИЛИ»

Как видно из осциллограмм, при поступлении на оба входа смеси частот элемент «ИЛИ» согласно таблице истинности переходит в безопасное состояние.

Так как любая принципиальная релейная схема может быть реализована в базисе логических элементов «НЕ», «И» и «ИЛИ», то представленные безопасные радиочастотные логические элементы могут быть использованы как базовые при синтезе современных систем ЖАТ любой сложности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Христов Х.А., Гавзов Д.В. Методы построения безопасных микросистем железнодородной автоматики / Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Транспорт, 1995. – 272 с.
2. Гавзов Д.В., Сапожников В.В., Сапожников Вл.В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3-50.
3. Сапожников В.В., Сапожников Вл.В., Шаманов В.И. Надежность систем железнодородной автоматики, телемеханики и связи: Учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.
4. Р-804 Рекомендации по техническим требованиям к нейтральным реле устройств СЦБ: Утверждено совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 2–5 ноября 2004 г.
5. Казаков А.А. Релейная централизация стрелок и сигналов: Учебник для техникумов ж.-д. транспорта. – М.: Транспорт, 1978. – 328 с.
6. Чепцов М.Н., Бойник А.Б. Синтез модели безопасного функционального элемента // Информационно-управляющие системы на железнодородном транспорте. – 2008. – № 5–6. – С. 89-95.
7. Чепцов М.Н. Модель устройства управления централизованной стрелке // Информационно-управляющие системы на железнодородном транспорте. – 2009. – № 3 – С. 89-96.
8. Чепцов М.Н. Синтез маршрутной модели на основе безопасного функционального элемента // Сб. науч. тр. ДонИЗТ. – 2009. – № 19. – С. 51-62.
9. Чепцов М.Н. Синтез поездной и маневровой сигнальной модели на основе безопасного функционального элемента // Информационно-управляющие системы на железнодородном транспорте. – 2009. – № 4. – С. 66–74.
10. Кичак В.М. Метод синтезу частотних логічних елементів // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 2. – С. 187-192.
11. Кичак, В.М., Болюх М.М. Дослідження частотного радіоімпульсного логічного елемента «НЕ» // Сборник трудов международного симпозиума «Наука и предпринимательство». – Винница – Дрогобыч, 2000. – С. 417-421.
12. Кичак В.М. Синтез частотно-імпульсних елементів цифрової техніки: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 266 с.
13. Кичак В.М., Семенова О.О. Радіочастотні та широтно-імпульсні елементи цифрової техніки: Монографія. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 163 с.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор В.Н. Таран.

Долгий Игорь Давидович – Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)»; e-mail: dcmdon@rgups.ru; 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового полка Народного Ополчения, 2; кафедра автоматики и телемеханики на железнодородном транспорте; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Кулькин Александр Георгиевич – e-mail: alkulkin_nis@rgups.ru; Научно-исследовательская лаборатория «Системы диспетчерского контроля и управления» (НИЛ СДКУ) РГУПС; зав. НИЛ СДКУ; к.т.н.

Кулькин Станислав Александрович – e-mail: dcmdon@rgups.ru; НИЛ СДКУ; научный сотрудник; к.т.н.

Пономарев Юрий Эдуардович – e-mail: dcmdon@rgups.ru; НИЛ СДКУ; старший научный сотрудник; к.т.н.

Розенберг Игорь Наумович – ОАО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт инженеров железнодорожного транспорта» (НИИАС); e-mail: I.kudreyko@gismps.ru; 109029, Москва, ул. Нижегородская, 27, стр. 1; тел.: +7(495)9677701; зам. генерального директора; д.т.н.

Dolgy Igor Davidovich – Rostov State Transport University (RSTU); e-mail: dcmdon@rgups.ru; 2, g, sq. Rostovskogo Strelkovogo polka Narodnogo Opolchenia, Rostov-on-Don, 344038, Russia; chair of automatics and telemechanics on railway transport; head of the chair, dr. of eng. sc.; professor.

Kulkin Alexander Georgievich – e-mail: alkulkin_nis@rgups.ru; the scientific research laboratory ‘The CTC Systems’ at the Rostov State Transport University; head of the scientific research laboratory ‘The CTC Systems’; cand. of eng. sc.

Kulkin Stanislav Alexandrovich – e-mail: dcmdon@rgups.ru; the scientific research laboratory ‘the CTC Systems’; research scientist; cand. of eng. sc.

Ponomarev Yury Eduardovich – e-mail: dcmdon@rgups.ru; the scientific research laboratory; the CTC systems; senior research scientist; cand. of eng. sc.

Rozenberg Igor Naumovich – Public corporation “Research and development institute of railway engineers”; e-mail: I.kudreyko@gismps.ru; 27/1, Nizhegorodskaya, Moscow, 109029, Russia; phone: +74959677701; deputy director; dr. of eng. sc.