

Ю.Ф. Мухонад¹, А.Ю. Мухонад¹, Д.Ц.Пунсык-Намжилов²

¹Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

²ООО «Сибпроект», г. Томск, Российская Федерация

МАЖОРИТАРНОЕ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ АВТОМАТОВ НОВОГО ТИПА

Аннотация. Для повышения уровня безотказности сложных управляющих автоматов резервируется комбинационная схема переходов. Предложен новый способ мажоритарного резервирования с тем же принципом «два из трех», однако каждая из трех резервируемых схем разделена приблизительно пополам с переходами по единичному и нулевому значениям выбранного логического условия. Такой способ обеспечивает возможность создания девяти вариантов работоспособных пар вместо трех при традиционном способе мажоритарного резервирования. Схема управляющего автомата оригинальна и защищена патентом.

Ключевые слова: Алгоритм, автомат, управление, резервирование, комбинационная схема, программируемые логические матрицы.

Yu. F. Mukhopad¹, A. Yu. Mukhopad¹, D. C. Puncik-Namzilov²

¹ Irkutsk state University of Railways, Irkutsk, Russian Federation

² Open company "Sibproekt", Tomsk, Russian Federation

MAJORITY RESERVATION OF NEW TYPE OF CONTROL MACHINES

Abstract. To increase the level of reliability of complex control automata, a combinational scheme of transitions is reserved. A new method of majority reservation with the same "two out of three" principle is proposed, but each of the three reserved schemes is divided approximately in half with transitions for the single and zero values of the selected logical condition. This method makes it possible to create nine variants of workable pairs instead of three with the traditional method of majority reservation. The circuit of the control machine is original and protected by a patent.

Keywords: Algorithm, automaton, control, redundancy, combinational scheme, programmable logic matrices.

Введение. Особый класс средств автоматизации представлен в виде сложных технических систем (СТС) реального времени с таблично-алгоритмическими преобразователями информации на микроконтроллерах [1-4]. В большинстве СТС управляющая подсистема представлена в виде нескольких взаимодействующих управляющих автоматов (УА) Мура (УАМр) и Мили (УАМл) [5-11].

Информационно-управляющие подсистемы сложных технических систем мехатроники и робототехники, транспортных средств, систем управления технологическими процессами и систем оборонного комплекса эксплуатируются в экстремальных условиях воздействия ударов и тряски, перепадов температур, сильных электромагнитных полей или радиации и должны иметь высокий уровень безотказности. Неправильно выданная команда может привести к катастрофическим последствиям. Достаточный уровень безотказности на структурном уровне организации управляющих подсистем обеспечивается через три подхода:

1. Выбор УА с такой структурной организацией, которая не требует больших аппаратных затрат на реализацию комбинационных схем.

2. Динамический контроль правильности переходов между состояниями.

3. Мажоритарное резервирование комбинационных схем УА.

Первый подход определяет отказ от типовых УА со структурной организацией Мура и Мили рис. 1.

Сравнительный анализ структурной организации управляющих автоматов
Целесообразен выбор УА нового типа (НУАМх) рис.2 [12-15].

В УАМг при реализации комбинационной схемы переходов на ПЗУ (программная версия [16]) его объем (V) определяется как $V = m \cdot 2^m + q$, где m -разрядность кода состояний $a(t)$, m - реальная разрядность БИС ПЗУ, q - количество логических условий $\alpha_1 \dots \alpha_q$. При аппаратной реализации для используется ПЛМ или ПЛИС с количеством входов $K = (m+q)$.

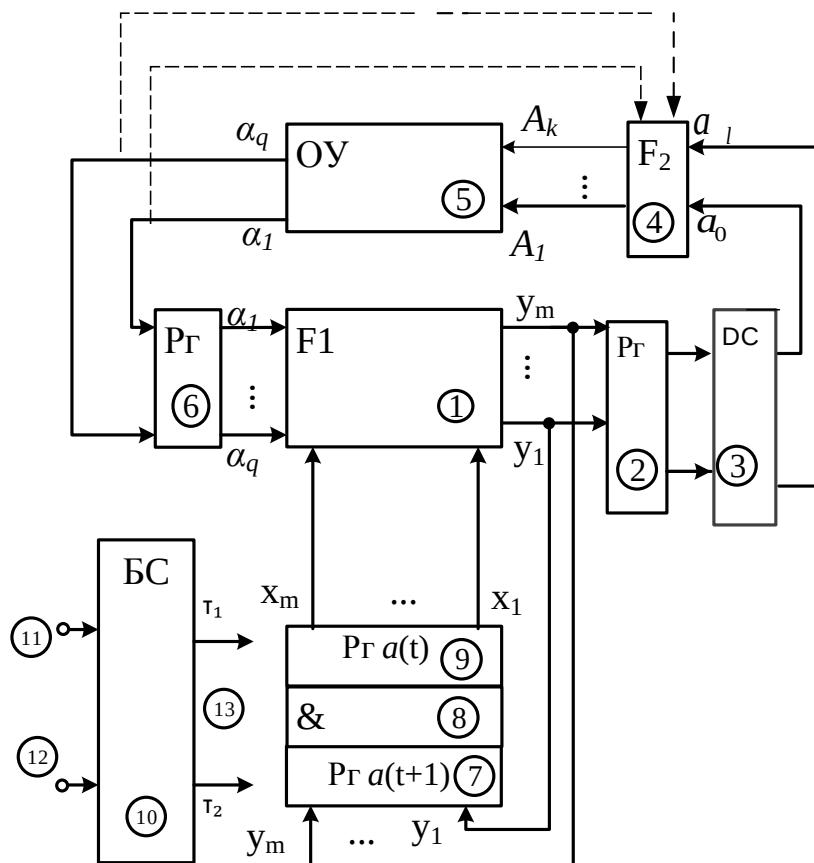


Рис. 1. Структурная организация автомата Мура (УАМг) и Мили (УАМл)
пунктирные связи относятся только к УАМл

По классификации работы [17] УА разделяются на сверхпростые (СП), простые (ПА), средней сложности (СА), сложные (АС), высокой сложности (ВС), особо сложные (ОС) и ультрасложные (УС). В таблице 1 приведены характеристики УАМг (столбцы 1-6) для всех типов УА.

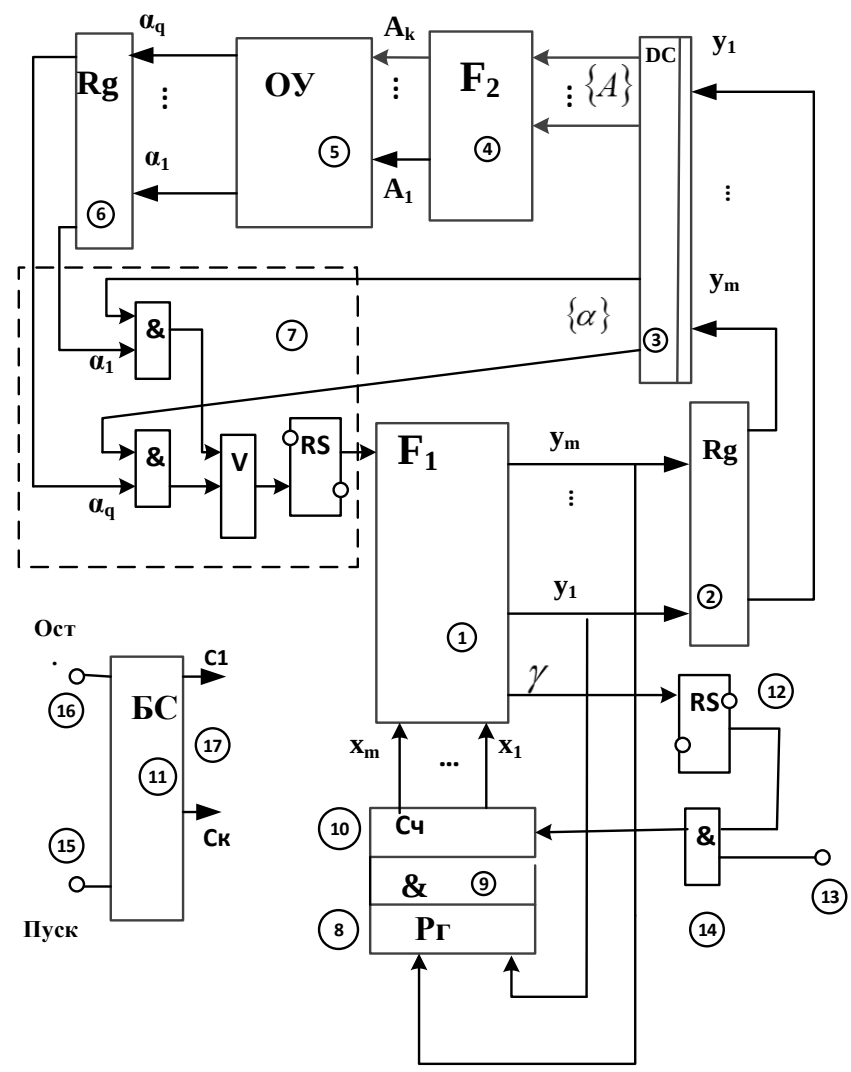


Рис. 2. Структурная схема нового автомата Мухопеда

Таблица 1. Характеристики управляющих автоматов

№	Тип	m	q	m+q	m+1	V	W	K	m _p	Q
1	СП	3	3	6	4	256	64	1,5	4	4
2	ПА	4	6	10	5	2кб	256	2,0	4	8
3	СА	5	9	14	6	128кб	512	2,3	8	256
4	АС	6	12	18	7	2Мб	1кб	2,6	8	2*10 ³
5	ВС	7	15	22	8	32Мб	2кб	2,7	8	16*10 ³
6	ОС	8	18	26	9	0,5Гб	4кб	2,9	8	12*10 ⁴
7	УС	9	21	30	10	12Гб	12кб	3	12	1*10 ⁶
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

В новом управляющем автомате (НУАМх) используется логический блок ЛБ(7) из (q) двухвходовых элементов «И», одного элемента «ИЛИ» и RS -триггера для выбора одного (единственного) условия $\alpha_j \in \{\alpha\}$ на каждом периоде (Т) функционирования УА. Адресация элементов «И» осуществляется подмножеством $\{\alpha\}$ выходов дешифратора DC(3), причем это подмножество не пересекается с подмножеством $\{A\}$ выбора операторов действия (команд) $A_1...A_k$. Такая организация УА стала возможной после перехода к принципиально новому определению состояний $a(t)$ через начало (вход) любого оператора, т.е. как $\alpha_j \in \{\alpha\}$, так и $A_i \in \{A\}$ [18]. На рис. 3 приведен пример не сложной ГСА с пустыми операторами для ликвидации петель и с разметкой состояний для синтеза НУАМх. Для НУАМх объем ПЗУ определяется: $W = m_p 2^{m+1}$, а количество входов в ПЛМ снижается в $K=(m+q) /$

($m+1$) раз. Граф переходов для НУАМх по ГСА рис.3 представлен на рис.4, а переходы вне счетчика представлены в таблице 2.

Таблица 2. Переходы вне счетчика

№	$a(t)$		$a(t+1)$	$N(t+1)$
1	5		2	00010
2	3		20	10100
3	20		8	01000
4	8		21	10101
5	21		10	01010
6	11		22	10110
7	22		1	00001
8	14		12	01100
9	16		19	10011
10	19		15	01111
11	18		0	00000

Как известно традиционные способы упрощения УА связаны с уменьшением числа состояний, декомпозицией и минимизацией систем булевых функций (СБФ). За почти 65-летний срок развития автоматов удалось достичь снижения уровня сложности в 1,2 - 1,5 раза в зависимости от сложности УА. Причем для более простых автоматов достигается более высокий коэффициент снижения сложности.

В современных СТС используется как правило УА, относящиеся к типу ВС и ОС. УА класса УС практически не используются, т.к. за счет декомпозиции ГСА переходят к реализации системы взаимодействующих автоматов с более низким уровнем сложности.

Примечание. Оригинальность структурной организации и высокая эффективность УА нового типа позволила присвоить им собственное имя Мухопата с аббревиатурой НУАМх по аналогии с УА Глушкова, Маркова, Майхилла. Мили, Мура, Рабина-Скотта, Уилкса [9-11].

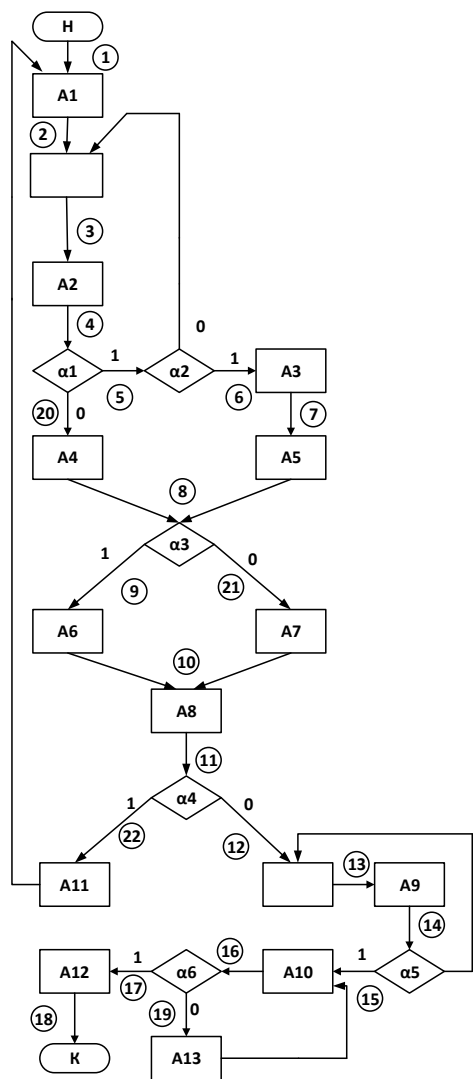


Рис.3. Граф-схема заданного алгоритма управления для НУАМх

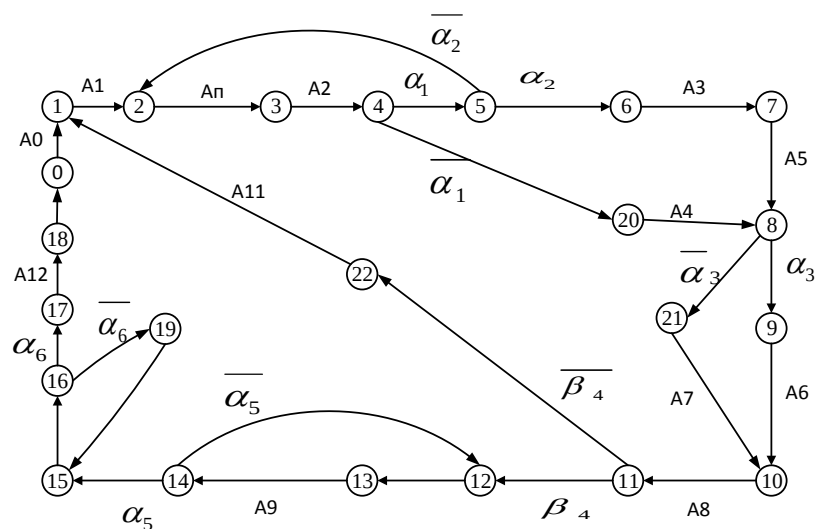


Рис. 4. Граф переходов для НУАМх

Управляющие автоматы с резервированием комбинационных схем

Для УА со степенью сложности выше АС актуален вопрос перехода к мажоритарному резервированию для обеспечения требуемого уровня безотказности. Известный подход к мажоритарному резервированию связан с использованием трех одинаковых схем и с провер-

кой тождественности выходов в одной из трех пар. Более того, для бортовой космической техники используется даже пятикратное резервирование.

Для НУАМх в отличие от УАМг может быть предложен более эффективный способ мажоритарного резервирования [15]. Традиционно вся схема F_1, F_2, F_3 считается неисправной, хотя одна из ее половин является работоспособной. При разделении на полусхемы в зависимости от исправности $\Phi_1(0)$ или $\Phi_1(1)$ отдельных полусхем может быть образовано девять (9) пар исправно работающих схем с мажоритарным принципом отбора. Полностью неисправным НУАМх будет в том случае когда зафиксирован выход из строя двух полусхем в одном из подмножеств $\Phi_i(0)$ или $\Phi_i(1)$ ($i=1,2,3$). Так как НУАМх реализуется со счетчиком, то для ГСА рис.3 с графом переходов рис. 4 можно записать таблицы переходов 3, 4 полусхем $\Phi(0)$ и $\Phi(1)$.

Таблица 3. Переходы в $F1(1)$ с $\overline{\alpha_j}$

$\Phi(0)$	№	1	2	3	4	5	6
	$a(t)$	3	5	8	11	14	16

Таблица 4. Переходы в $F1(1)$ с α_j

$\Phi(1)$	№	1	2	3	4	5
	$a(t)$	18	19	20	21	22

При этом условие γ реализуется по формуле: $\gamma = \alpha(a_0 + \dots + a_{17})$ если произведена замена $\overline{\alpha_4} = \beta_4$.

Примечание. Для пояснения метода приведена простая ГСА для которой вряд ли стоит использовать мажоритарное резервирование, но хорошо поясняется предлагаемый способ.

Схема блока мажоритарного резервирования при представлении через полусхемы представлена на рис.5. Легко определить полусхемы для рассматриваемого примера ГСА. Такой управляющий автомат с оригинальным блоком мажоритарного резервирования зарегистрирован в качестве полезной модели [15].

В блоке резервирования с коммутацией результатов от $\Phi(0)$ и $\Phi(1)$ в парах (1,7), (8,13) через блоки коммутации (3,4,5) и (10,11,12) осуществляется передача результатов через блоки элементов «ИЛИ» (2,9,15) блоку сравнения на тождество БС(6). Причем сначала процедура сравнения соответствующих пар (1,8), (1,14) и (8,14) реализуется для первой половины $\Phi(1)$ и Φ с подачей α_j , а затем с такой же коммутацией $\Phi_1(0)$, $\Phi_2(0)$, $\Phi_3(0)$ с подачей на пары (7,13), (7,16) и (13,16).

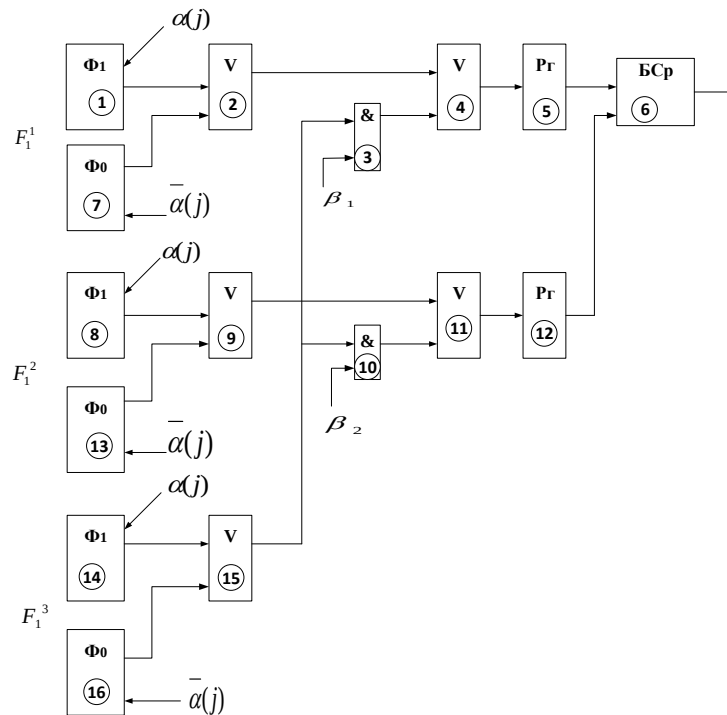


Рис.5 Блок выбора и сравнения полусхем $\Phi_i(0)$ и $\Phi_i(1)$, $i=1,2,3$.

Варианты составления сравниваемых пар представлены на рис.6 с обозначениями: нижний ряд – номера пар 1,2,...,9;

X – принадлежность выбранных полусхем Φ_0 и Φ_1 к схеме F_i ($i=1,2,3$);

0 - неисправность $\Phi_0(i)$ или $\Phi_1(i)$.

Как видно действительно возможно 9 вариантов работоспособных сочетаний вместо трех при традиционном мажоритарном резервировании полных схем $\Phi(1)$. Следует отметить, что предложенный способ мажоритарного резервирования возможен только для автоматов нового типа и невозможен для УАМг или УАМ_L.

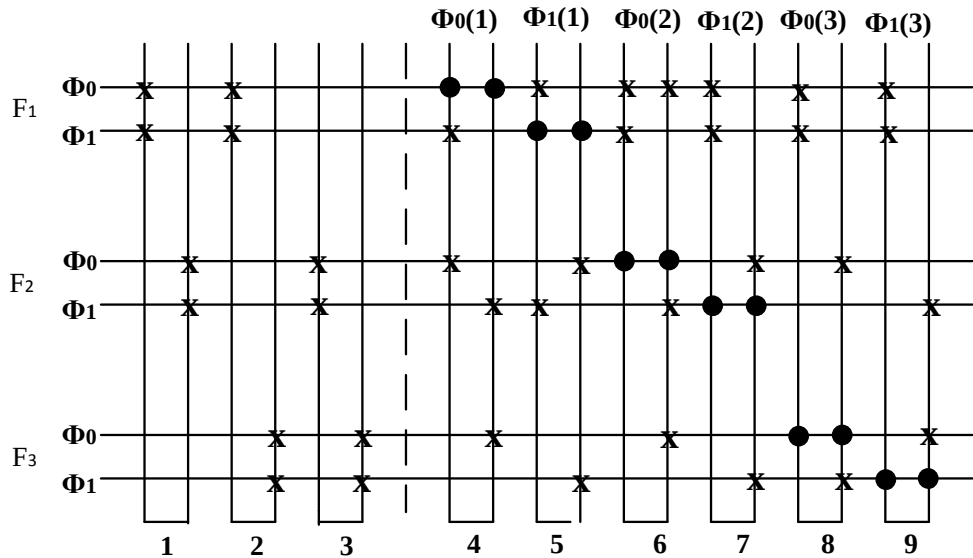


Рис.6. Способ выбора полусхем для сравнения пар $\Phi_i(0)$ и $\Phi_i(1)$, $i=1,2,3$.

Заключение. Новый подход к организации мажоритарного резервирования комбинационных схем управляющих автоматов базируется на использовании следующих принципов:

1. Отказ от применения УА Мура и Мили.

2. Применение УА нового типа, в котором введен логический блок выбора одного логического условия в виде (q) двухходовых элементов «И», одного элемента «ИЛИ» и одного RS-триггера. Адресация элементов «И» осуществляется через подмножество выходов дешифратора состояний $\{\alpha\}$, которое не пересекается с подмножеством $\{A\}$ выбора операторов действия.

3. Каждая комбинационная схема в резервируемом блоке разделяется на две полусхемы, опрашиваемые сигналами $\alpha_j \in \{\alpha\}$ или $\overline{\alpha_j} \in \{\alpha\}$.

4. Сравнимые пары для мажоритарного резервирования определяются по группам работоспособных полусхем.

5. Полностью неисправным УА будет в случае выхода двух пар в одной группе.

Такой способ мажоритарного резервирования обеспечивает работоспособность УА в девяти вариантах сравниваемых пар вместо трех при традиционном способе резервирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Новиков Д. А. Кибернетика / Д. А. Новиков // Проблемы управления. – 2016. – №1. – С. 73–81.
2. Swarm intelligence and bio-inspired computation: theory and applications / ed by X.-Sh. Yang et al. - Amsterdam; Boston: Elsevier, 2013. - 450p.
3. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника / Е.П. Угрюмов. - СПб.: БХВ-Петербург, 2010. - 760с.
4. Woods R.E., Gonzales R.C. Digital image processing. - 2nd ed. - Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002. - 813p.
5. Харрис Дэвид М., Харрис Сара Л. Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / М. Д. Харрис, С. Л. Харрис. - ДМК Пресс, 2018. - 356с.
6. Соловьев В. В. Логическое проектирование цифровых систем на основе ПЛИС / В. В. Соловьев, А. Климович. – М.: Телеком, 2008. – 374 с.
7. Труды по теории синтеза и диагноза конечных автоматов и релейных устройств / под ред. В. В. Сапожникова и Вл. В. Сапожникова. – СПб. Эл-мор, 2009. – 894 с.
8. Максфилд Клайв. Проектирование на ПЛИС. Архитектура, средства и методы / К. Максфилд. - М.: ДМК Пресс, 2015. - 407с.
9. Баркалов А. А. Прикладная теория цифровых автоматов / А. А. Баркалов, Л. А. Титаренко. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – 320 с.
10. Горбатов В. А. Теория автоматов / В. А. Горбатов, А. В. Горбатов, М. В. Горбатова. – М.: Астрель, 2008. – 699 с.
11. Кудрявцев В. Б. Теория автоматов / В. Б. Кудрявцев, Ф. Б. Алешин, А. С. Подколзин // МГУ им. М. Ломоносова. – М.: Юрайт, 2018. – 320 с.
12. Мухопад Ю. Ф. Структура управляющих автоматов технических систем железнодорожной автоматики / Ю. Ф. Мухопад, А. Ю. Мухопад, Д. Ц. Пунсык-Намжилов // Автоматика на транспорте. – СПб.: ПГУПС. – 2018. – Т.4, №1. – С. 88–105.
13. Мухопад Ю. Ф. Структурная организация управляющих автоматов нового типа для технических систем железнодорожной автоматики / Ю. Ф. Мухопад, А. Ю. Мухопад, Д. Ц. Пунсык-Намжилов // Автоматика на транспорте. - СПб.: ПГУПС. Т.5, №2, 2019. - С.244-255.
14. Патент на полезную модель №183109 Российская федерация G06F 9/00, G05F 9/00 Управляющий автомат № 2018115113. заявл. 23.04.2018; опубл. 11.09.2018, Бюл. № 26.- 2с.
15. Патент на полезную модель 191742 Российская Федерация, G06F 9/00. Управляющий автомат с мажоритарно-резервируемой комбинационной схемой: № 2019104150 : заявл. 14.02.2019; опубл. 19.08.2019. БИ № 23 / Ю. Ф. Мухопад., А. Ю. Мухопад, Д. Ц. Пунсык-Намжилов. - 2с.
16. Мухопад А. Ю. Структурно-автоматное программирование Много-ядерные процессоры, параллельное программирование, ПЛИС, системы обработки сигналов

/ А.Ю.Мухопад //сборник научных статей VI Международной научно-практической конференции,Барнаул, 2016. – С. 43-48.

17. Мухопад А. Ю. Теория управляющих автоматов технических систем реального времени / А. Ю. Мухопад. – Новосибирск : Наука, 2015.176 с.

18. Мухопад А.Ю. Управляющие автоматы мехатроники с новым определением состояний / А.Ю. Мухопад, Ю.Ф. Мухопад , Д.Ц. Пунсык-Намжилов // Мехатроника, автоматика и робототехника: Материалы II международной научно-практической конференции. – Новокузнецк: НИЦ МС, 2018. – №2. – С.184-190.

REFERENCES

1. Novikov D. A. Cybernetics /D.A. Novikov // Problems of management. - 2016. - No. 1. - Pp. 73-81.
2. Swarm intelligence and bio-inspired computing:theory and applications /ed by X.-Sh.Yang et al.- Amsterdam; Boston: Elsevier, 2013.- 450p.
3. Ugryumov E. p. Digital circuitry / E. p. Ugryumov.- SPb.: BHV-Petersburg, 2010.- 760 p.
4. Woods R. E.,Gonzales R. C. Digital image processing .- 2nd ed .- Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2002.-813p.
5. Harris David M., Harris Sarah L. Digital circuitry and computer architecture / M. D. Harris, S. L. Harris .- DMK Press, 2018.- 356p.
6. Solovyov V. V. Logical design of digital systems based on FPGA / V. V. Solovyov, A. Klimovich. - Moscow: Telecom, 2008. – 374 p.
7. Works on the theory of synthesis and diagnosis of finite automata and relay devices / ed. V. V. Sapozhnikov and VL. V. Sapozhnikova. – SPb. El-Mor, 2009. – 894 p.
8. Maxfield, Clive. The design on the FPGA. Architecture, tools and methods /K. Maxfield.- Moscow: DMK Press, 2015.- 407p.
9. Barkalov A. A. Applied theory of digital automata / A. A. Barkalov, L. A. Titarenko. - Donetsk: DonNTU, 2013. - 320 p.
10. Gorbatov V. A. Theory of automata / V. A. Gorbatov, A.V. Gorbatov, M. V. Gorbatova. - Moscow: Astrel, 2008. – 699 p.
11. Kudryavtsev V. B. Theory of automata / V. B. Kudryavtsev, F. B. Aleshin, A. S. Podkolzin // Moscow state University. M. Lomonosov. - Moscow: Yurayt, 2018. - 320 p.
12. Mukhopad Yu. F. Structure of control automata technical systems of railway automatics / Yu. F. Mukhopad, A. Yu. Mukhopad, D. C. Puncik - Namzilov // Automation in transportation. – SPb.:PGUPS. - 2018. - Vol. 4, no. 1. - Pp. 88-105.
13. Mukhopad Yu. F. Structural organization of the control automata a new type of technical systems of railway automatics / Yu. F. Mukhopad, A. Yu. Mukhopad, D. C. Puncik - Namzilov // Automation in transportation.- SPb.:PGUPS. Vol. 5, no. 2, 2019.- Pp. 244-255.
14. Utility model patent no. 183109 Russian Federation G06F 9/00, G05F 9/00 Control machine no. 2018115113. declared. 23.04.2018; publ. 11.09.2018, Byul. No. 26.- 2p.
15. The patent for useful model 191742 Russian Federation, G06F 9/00. Control machine with a majority-reserved combination scheme: no. 2019104150: application. 14 .2019 02: publ.19.08.2019. BI # 23 / Yu. f. Mukhopad. A. Y. Mohamad, D. C. Puncik - Namzilov.- 2p.
16. Mukhopad A.Yu. Structural-automatic programming Multi-core processors, parallel programming, FPGAs, signal processing systems / A.Yu. Mukhopad // collection of scientific articles of the VI International Scientific and Practical Conference, Barnaul, 2016. - P. 43-48.
17. Mukhopad A. Yu. Theory of control automata of real-time technical systems / A. Yu. Mukhopad. - Novosibirsk: Nauka, 2015.176 p.
18. Mukhopad Yu. F Control machines mechatronics with a new definition of the States / Yu. F. Mukhopad, A. Yu. Mukhopad, D. C. Punsik- Namzhilov // mechatronics, automation and robotics : proceedings of the II Intern. science.- prakt. Conf. - Novokuznetsk: SIC MS, 2018. - T. 2. Pp. 184-190.

Информация об авторах

Мухопад Юрий Федорович – д. т. н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ профессор кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: bts48@mail.ru

Мухопад Александр Юрьевич – д.т.н., доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: jcmg@mail.ru

Пунсык-Намжилов Даба Цыренович – к.т.н., доцент, Директор ООО «Сибпроект», e-mail: dablutf@mail.ru

Authors

Mukhopad Yuri Fedorovich – Doctor of Technical Science, Professor of the Department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: bts48@mail.ru

Mukhopad Aleksandr Yuryevich – Doctor of Technical Science, docent of the Department «Automation of production processes», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: jcmg@mail.ru

Punsik-Namzhilov Daba Cyrenovich – Candidate of Technical Sciences, docent, the Director of open company "Sibproekt", Tomsk, Russian Federation, , e-mail: dablutf@mail.ru

Для цитирования

Ю.Ф. Мухопад, А.Ю. Мухопад, Д.Ц. Пунсык-Намжилов. Мажоритарное резервирование управляющих автоматов нового типа // «Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2019. – №4(5). – С. 39-48. DOI: 10.26731/2658-3704.2019.4(5).39-48 – Режим доступа: <http://ismm-irgups.ru/toma/45-2019>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 20.12.2019)

For citations

Yu.F. Mukhopad, A. Yu. Mukhopad, Majority reservation of new type of control machines // Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal [Information technology and mathematical modeling in the management of complex systems: electronic scientific journal], 2019. No. 4(5). P. 39-48. DOI: 10.26731/2658-3704.2019.4(5).39-48 [Accessed 20/12/19]