

УДК 621.318.5:681.5.09

DOI 10.46960/2658-6754_2023_3_51

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИНЦИПОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ И ХРОНОКОНТРОЛЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ РЕЛЕ АВТОМАТИКИ

В.Г. Сугаков

ORCID: 0000-0003-2712-7717 e-mail: elektrikasp@mail.ru
Волжский государственный университет водного транспорта
Нижний Новгород, Россия

Ю.С. Малышев

ORCID: 0000-0001-9008-1198 e-mail: malyuriyserg@yandex.ru
Волжский государственный университет водного транспорта
Нижний Новгород, Россия

Описаны возможные принципы организации самодиагностики и реконструктивной диагностики цифровых реле автоматики. Предложены два принципа для организации диагностики: принцип последовательности – рассматривается последовательность формирования кодов на выходе многоканальных реле, которая сопоставляется с естественной последовательностью; принцип хроноконтроля – рассматривается приращение контролируемой физической величины, которая сопоставляется с нормативным приращением, зависящим от постоянного времени контролируемого объекта. Приведен вариант технической реализации реконструктивной диагностики, построенной на принципах последовательности и хроноконтроля для трехканального реле частоты вращения, и дано описание его работы. Дано описание общего случая технической реализации самодиагностики, построенной на принципе последовательности, на примере синтезированного n -канального реле. Новизна разработки – методика проверки и коррекции информационных сигналов на выходе приемных реле с целью предотвращения сбоев и аварий в работе систем автоматического управления, связанных с поступлением недостоверной информации от неисправных реле. Практическая значимость состоит в разработке схемных решений устройств, позволяющих оценивать адекватность сигналов, приходящих с приемных реле, и, при наличии ошибок в информационном канале, выполнять их коррекцию, а также обеспечивать сигнализацию, указывающую на поврежденное реле. Предложенные устройства позволят сократить время восстановления системы управления за счет самодиагностики и сохранить их работоспособность до выполнения ремонта за счет реконструктивной диагностики.

Ключевые слова: автоматизация, реконструктивная диагностика, самодиагностика, система управления, хроноконтроль, цифровые реле.

Для цитирования: Сугаков В.Г., Малышев Ю.С. Оценка возможности применения принципов последовательности и хроноконтроля для синтеза интеллектуальных реле автоматики // Интеллектуальная Электротехника. 2023. № 3. С. 51-64. DOI: 10.46960/2658-6754_2023_3_51

EVALUATION OF POSSIBILITY OF APPLYING SEQUENCE AND CHRONOCONTROL PRINCIPLES FOR SMART AUTOMATION RELAYS SYNTHESIS

V.G. Sugakov

ORCID: **0000-0003-2712-7717** e-mail: **elektrikasp@mail.ru**

Volga State University of Water Transport
Nizhny Novgorod, Russia

Yu.S. Malyshev

ORCID: **0000-0001-9008-1198** e-mail: **malyuriyserg@yandex.ru**

Volga State University of Water Transport
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article describes the possible principles of organization of self-diagnostics and reconstructive diagnostics of digital automation relays. Two principles for organizing diagnostics are considered: the principle of sequence – the sequence of generating codes at the output of multichannel relays is considered, which is compared with the natural sequence; the principle of chronocontrol – the increment of the controlled physical quantity is considered, which is compared with the normative increment, depending on the constant time of the controlled object. A variant of the technical implementation of reconstructive diagnostics based on the principles of sequence and chronocontrol for a three-channel rotational speed relay is presented and a description of its operation is given. A description of the general case of the technical implementation of self-diagnostics built on the principle of sequence is given on the example of a synthesized n-channel relay. The scientific novelty of the article lies in the development of a methodology for checking and correcting information signals at the output of receiving relays in order to prevent failures and accidents in the operation of automatic control systems associated with the receipt of unreliable information from faulty relays. The practical significance lies in the development of circuit solutions for devices that allow assessing the adequacy of the signals coming from the receiving relays and perform their correction in the presence of errors in the information channel, as well as provide an alarm indicating a damaged relay. The proposed devices will reduce the recovery time of the control system due to self-diagnosis and maintain their performance until repairs are performed due to reconstructive diagnostics.

Keywords: automation, digital relays, chronocontrol, control system, reconstructive diagnostics, self-diagnostics.

For citation: V.G. Sugakov and Yu.S. Malyshev, "Evaluation of possibility of applying of sequence and chronocontrol principles for smart automation relays synthesis", *Smart Electrical Engineering*, no. 3, pp. 51-64, 2023.
DOI: 10.46960/2658-6754_2023_3_51

I. Введение

Все больше различных функций деятельности человека, включая транспорт, в начале XXI в. передаются искусственному интеллекту, углубляющему автоматизацию различных процессов [1-3]. В связи с этим, растут требования к адекватности систем автоматического управления (САУ) [4-9]. Известно, что с увеличением числа выполняемых операций и функций возрастает количество приемных реле САУ. Надежное и адекватное функционирование систем управления различными объектами во многом зависит от достоверности информации, которую получает САУ от приемных реле, контролирующих параметры физических величин или состояние элементов САУ. Недостоверная информация от неисправного реле может привести к сбою в работе САУ и даже аварии. Поэтому разработка методов самодиагностики приемных реле автоматики и их каскадов представляется актуальной [9-11].

II. Материалы и методы

Адекватная работа САУ может быть обеспечена путем реконструктивной диагностики или самодиагностики информации, поступающей от приемных реле. При реконструктивной диагностике поступающая информация проверяется на достоверность и при выявлении несоответствий осуществляется ее коррекция. При самодиагностике устанавливается факт неисправности в информационном канале и выдается сигнал о сбое. Анализ достоверности информации, поступающей в САУ, возможен методом, использующим принципы последовательности и хроноконтроля.

Использование принципа последовательности предполагает выявление факта появления сбойного кода K_i не соответствующего штатному коду $K_{ши}$, т.е. ситуации, когда $K_i \neq K_{ши}$. Для обеспечения достоверности сбойный код K_i дополняется корректирующим кодом $K_{ки}$ до штатного кода $K_{ши}$, т.е. $K_i + K_{ки} = K_{ши}$.

Принцип хроноконтроля может использоваться самостоятельно или совместно в системах самодиагностики с применением принципа последовательности. Он основан на контроле приращения (dU/dt); контролируемого параметра dU за фиксированный промежуток времени dt , которое зависит от постоянных времени объектов системы и имеет для каждого объекта вполне определенный диапазон значений. Например, изменение частоты вращения коленчатого вала судовых дизель генераторов происходит в соответствии с механической постоянной, имеющей значения в диапазоне $0,1 \dots 3,5$ с [9]. Если приращение параметра превышает реально возможную

величину $(dU/dt)_{i \text{ доп}}$, которая определяется постоянной времени контролируемого параметра, то соотношение $(dU/dt)_i > (dU/dt)_{i \text{ доп}}$ является признаком сбоя.

Принцип последовательности применим при последовательном и параллельном подключении приемных реле, и заключается в проверке последовательности появления информационных сигналов на выходе приемных реле. Так при последовательном подключении приемных реле U_1, U_2, U_3 и U_4 (рис. 1, а) к четырем участкам последовательной электрической цепи появлению сигнала X_2 должно предшествовать появление сигнала X_1 , сигналу X_3 – предшествуют сигналы X_1 и X_2 , а сигналу X_4 – сигналы X_1, X_2 и X_3 . При параллельном подключении реле U_1, U_2, U_3 и U_4 (рис. 1, б), когда, например, контролируются четыре уровня физической величины $u(t)$ (рис. 1, в), до формирования сигнала X_2 на выходе реле, фиксирующего высший уровень, должен присутствовать сигнал X_1 на выходе реле с меньшей уставкой физической величины.

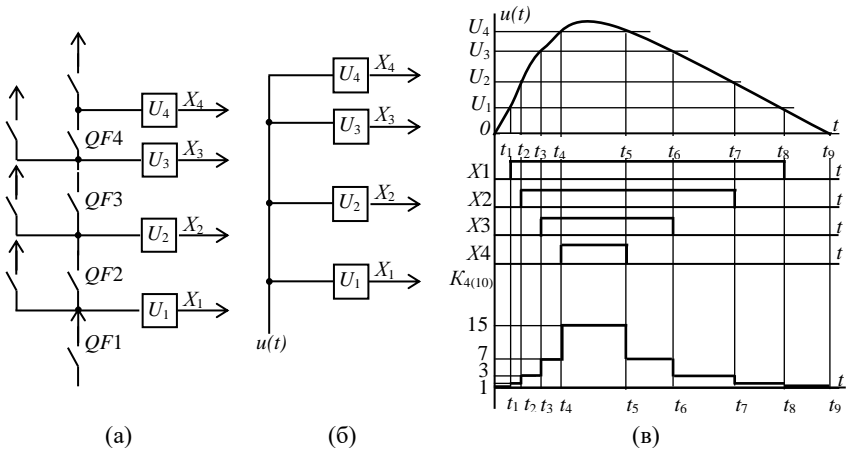


Рис. 1. Схема реализации принципа последовательности:
при последовательном подключении реле к участкам цепи (а);
при параллельном подключении реле к контролируемому параметру (б);
эпюры срабатывания реле при параллельном подключении (в)

Fig. 1. Scheme for implementing the principle of sequence:
when the relay is connected in series to circuit sections (a);
when the relay is connected in parallel to the controlled parameter (b);
diagrams of relay operation with parallel connection (v)

Принимая наличие сигнала на выходе реле за «1», а отсутствие сигнала за «0», можно составить двоичный код состояния для группы, содержащей 4 реле, $K_{(2)} = X_4 X_3 X_2 X_1$, разряды которого соответствуют контролируемым уровням физической величины. Причем младший (первый) разряд

кода принадлежит сигналу реле, срабатывающему при наименьшей уставке физической величины, а старший разряд – сигналу реле с наибольшей уставкой. В общем случае для n -уровневой (n -канальной) градации код состояния имеет вид $K_{(2)} = X_n X_{n-1} \dots X_2 X_1$. Этому коду соответствует десятичный код $K_{(10)} = X_1 + 2^1 X_2 + 2^2 X_3 + \dots + 2^{n-1} X_n$.

Общее число состояний (кодов) равно $n_{\text{сост}} = 2^n$. В это число входят $n_{\text{шт}} = n + 1$ штатных кодов. Для четырехканальной градации штатные состояния имеют коды: 0000, 0001, 0011, 0111 и 1111. Такую последовательность появления кодов называют естественной. Коды состояний, не входящие в естественную последовательность кодов, являются сбойными и указывают на неисправности, возникшие в измерительном канале.

Число сбойных кодов $n_{\text{сб}} = n_{\text{сост}} - n_{\text{шт}} = 2^n - n - 1$ определяет число состояний, при которых информация, поступающая от приемных реле, должна подвергаться коррекции. Коррекция сводится к замене в соответствующем разряде кода состояния «0» на «1» или наоборот. При этом скорректированный код становится равным одному из кодов штатного состояния. В некоторых случаях, например, при повреждении нескольких информационных каналов, возникает несколько вариантов перехода к тому или другому коду штатного состояния. Разрешение такой неопределенности возможно при использовании метода хроноконтроля, который основан на утверждении, что изменение физической величины за фиксированный промежуток времени не может превышать некоторое фиксированное значение. Применение метода хроноконтроля сводится к оценке приращения физической величины или сопоставлению кодов состояния соответствующим смежным моментам времени.

III. Результаты и обсуждение

Рассмотренные принципы организации самодиагностики и реконструктивной диагностики реализованы в многоканальных реле [10, 11]. Для пояснения организации указанных принципов диагностики рассмотрим реле частоты вращения, описанное в [10] которое имеет три канала. Функция реконструктивной диагностики у реле организована на указанных принципах последовательности и хроноконтроля. Принцип последовательности в реле реализован следующим образом: при разгоне для исправных каналов уставок естественной является последовательность кодов 000_2 , 001_2 , 011_2 и 111_2 , остальные коды (010_2 , 100_2 , 101_2 и 110_2), служат признаком выхода из строя канала определенной уставки. Эти коды являются дефектными, и требуется их коррекция.

При сбое в канале второй или первой уставки возникает код 010_2 . Если появлению кода 010_2 предшествовал код 000_2 , то указывается причина неисправности «сбой канала 2-й уставки» и исправленный код будет иметь вид 000_2 . Если появлению кода 010_2 предшествовал код 011_2 , то имеет место повреждение реле первого канала и выдается сигнал «сбой канала 1-й

уставки», а исправленный код 011_2 передается в систему управления. Если при сбое в третьем канале возникает код 100_2 , то указывается причина неисправности «сбой канала 3-й уставки» и выдается откорректированный код 000_2 . Подобным образом выполняется коррекция при сбое в канале второй уставки с кода 101_2 на исправленный код 111_2 . или при сбое канала 1-й уставки с кода 110_2 на код 111_2 . В результате каждый дефектный код подвергается коррекции.

Если измерительная часть реле исправна, сигналы с выходов компараторов поступят на выход реле и далее в систему управления. Исправность измерительной части реле методом хроноконтроля оценивается по величине приращения кода частоты следующим образом. В случае появления при очередном измерении частоты запредельного приращения, указывающего на неисправность измерительной части реле выдается сигнал «сбой измерительного блока» в систему управления, а неисправности каналов уставок реле устанавливаются по последовательности появления сигналов уставок следующим образом.

Если частота вращения вала контролируемого объекта монотонно возрастает, то на разрядах входа дешифратора диагностической схемы в начале оказывается нулевой код (000_2). В процессе разгона по мере увеличения частоты вращения последовательно появляются сигналы 001_2 , 011_2 и при дальнейшем разгоне достигается третья уставка частоты и формируется код 111_2 . В результате при разгоне для исправных каналов уставок естественной является последовательность кодов 000_2 , 001_2 , 011_2 и 111_2 , которые без коррекции подаются поразрядно на выходные каскады реле. Переход от предыдущего кода к последующему выполняется путем сравнения текущего приращения частоты с кодом допустимого приращения частоты за заданный промежуток времени. Остальные коды (010_2 , 100_2 , 101_2 и 110_2), аналогично принципу последовательности, служат признаком выхода из строя канала определенной уставки, являются дефектными, и требуют коррекции. Таким образом, в САУ поступает достоверная информация, а при возникновении сбоя в информационных каналах указывается неисправный элемент.

Общий случай технической реализации самодиагностики, построенной на принципе последовательности можно рассмотреть на примере n -канального реле (рис. 2) [11]. Обозначения на рис. 2: 1-1, 1-2..., 1- i ..., 1- n – приемные датчики соответствующих уставок; 2-1, 2-2..., 2- i ..., 2- n , 9 – логические элементы НЕ; 3-1, 3-2..., 3- i ..., 3- n , 4-1, 4-2..., 4- i ..., 4- n , 5 – формирователи коротких импульсов; 6 – индикатор сбоя в информационных каналах; 7, 8 – RS-триггеры; 10, 11, 12, 13, 14 – логические элементы ИЛИ; 15 – шину СБРОС; 16, 17 – логические элементы И; 18, 19 – числовые компараторы; 20, 21 – блоки памяти; 22 – регистр памяти; 23 – дешифратор.

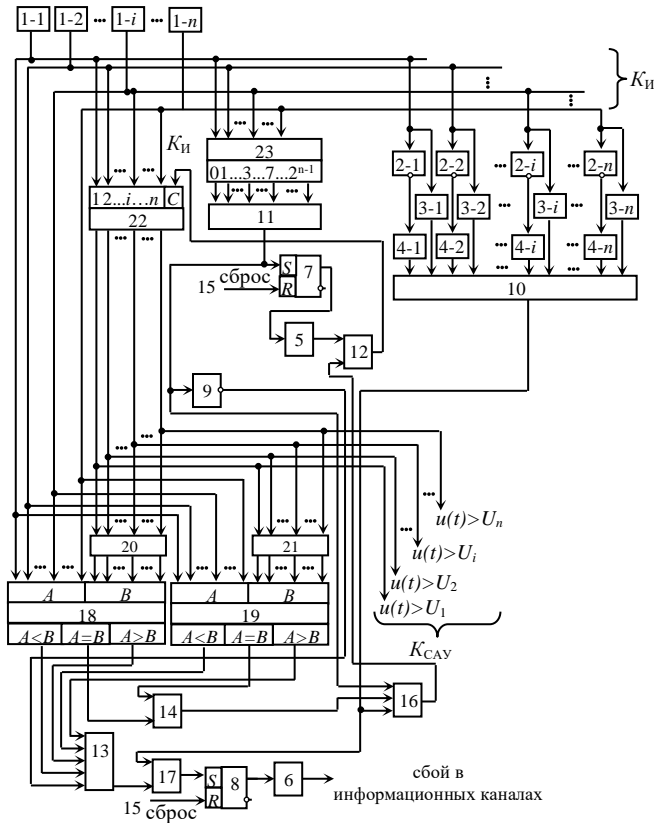


Рис. 2. Схема N -канального реле с функцией самодиагностики

Fig. 2. Diagram of an N -channel relay with a self-diagnostic function

Реле работает следующим образом. Датчики 1-1, 1-2, ..., 1- i , ..., 1- n настроены на параметры срабатывания соответственно $U_1, U_2, \dots, U_i, \dots, U_n$, причем $U_n > U_{n-1} > \dots > U_i > U_{i-1} > \dots > U_2 > U_1$ (рис. 1, в). Одновременно с включением САУ подается сигнал на шину СБРОС 15. Этот сигнал поступают на сбросовые входы триггеров 7 и 8. Триггеры 7 и 8 переводятся в нулевое состояние и сигналы на их прямых выходах исчезают.

Если в момент времени $t = 0$ (рис. 1, в) контролируемая величина $u(t)$ меньше первой уставки U_1 , на выходах датчиков 1-1, 1-2, ..., 1- i , ..., 1- n сигналы $X_1, X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$ отсутствуют. На вход регистра 22 и дешифратора 23 поступает нулевой код $K_{И}$. На нулевом выходе дешифратора 23 появляется сигнал, поступающий на вход элемента ИЛИ 11. На выходе элемента ИЛИ 11 появляется сигнал, который переводит триггер 7 в единичное

состояние. Появляется сигнал на прямом выходе триггера 7, по фронту которого формирователь коротких импульсов 5 вырабатывает импульс. Этот импульс проходит через элемент ИЛИ 12 и поступает на вход записи регистра 22. В регистр 22 заносится нулевой код $K_{САУ} = K_{И} = 00...000...0000_2 = 0_{10}$, который подается в САУ и на входы адреса блоков памяти 20 и 21. По адресам блоков памяти 20 и 21 записаны коды, представленные в табл. 1.

С ростом контролируемой величины $u(t)$ в момент времени t_1 (рис. 1, в) срабатывает датчик 1-1, на выходе которого появляется сигнал X_1 . Одновременно на первый вход компаратора 18, вход регистра 22 и дешифратора 23 поступает код $K_{И} = 00...000...0001_2 = 1_{10}$. Появляется сигнал на первом выходе дешифратора 23, который через элемент ИЛИ 11 подготавливает по первому входу логический элемент И 16. На входе адреса блока памяти 20 устанавливается нулевой код, в соответствии с которым с выхода блока памяти 20 на второй вход компаратора 18 подается код, совпадающий с кодом $K_{И}$ на его первом входе (табл. 1). На выходе РАВНО компаратора 18 появляется сигнал, который через элемент ИЛИ 14 подготавливает по второму входу элемент И 16. Сигнал X_1 с выхода датчика 1-1 кроме того поступает на формирователь коротких импульсов 3-1. Формирователь 3-1 выдает импульс, который через элемент ИЛИ 10, элемент И 16 и элемент ИЛИ 12 поступает на вход записи регистра 22, в который заносится очередной код $K_{САУ} = K_{И} = 00...000...0001_2 = 1_{10}$, поступающий в САУ и на входы адреса блоков памяти 20 и 21.

По мере роста контролируемой величины в момент времени t_2 (рис. 1, в) срабатывает датчик 1-2. На выходе датчика 1-2 появляется сигнал X_2 . При этом на первый вход компаратора 18, входы дешифратора 23 и регистра 22 поступает код $K_{И} = 00...000...0011_2 = 3_{10}$. На входе адреса блока памяти 20 присутствует предыдущий код $K_{И}$, по которому на выходе блока 20 появляется код, совпадающий с кодом на первом входе компаратора 18 (табл. 1). Проходя через элемент ИЛИ 14 сигнал с выхода РАВНО компаратора 18 подготавливает по второму входу элемент И 16, который по первому входу подготовлен сигналом с третьего выхода дешифратора 23, поступающим через элемент ИЛИ 11. Формирователь коротких импульсов 3-2 по фронту сигнала X_2 с выхода датчика 1-2 вырабатывает импульс, который проходя через элементы И 16 и ИЛИ 12 записывает в регистр 22 новый код $K_{САУ} = K_{И} = 00...000...0011_2 = 3_{10}$, подаваемый в САУ и на входы адреса блоков памяти 20 и 21.

Таблица 1.
Коды, записанные по адресам блоков памяти 20 и 21

Table 1.
Codes recorded at the addresses of memory blocks 20 and 21

№	Код адреса блока памяти 20											Выходной код блока памяти 20												
	разряды двоичного кода										деся- тич- ный	разряды двоичного кода										деся- тич- ный		
	n	$n-1$	...	$i+1$	i	$i-1$	...	4	3	2		1	n	$n-1$	...	$i+1$	i	$i-1$	...	4	3		2	1
0	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	1	1
1	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	...	0	0	0	1	1	3
2	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0	...	0	1	1	1	1	7
3	0	0	...	0	0	0	...	0	1	1	1	7	7	0	0	0	0	...	1	1	1	1	15	
								
i	0	0	...	0	1	1	...	1	1	1	1	2^{i-1}	2^{i-1}	0	0	...	1	1	1	...	1	1	1	2^{i+1-1}
								
n	1	1	...	1	1	1	...	1	1	1	1	2^{n-1}	2^{n-1}	1	1	...	1	1	1	...	1	1	1	2^{n-1}
Код адреса блока памяти 21											Выходной код блока памяти 21													
0	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0
1	0	0	...	0	0	0	...	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	...	0	0	0	0	0	0
2	0	0	...	0	0	0	...	0	0	1	1	3	3	0	0	0	0	...	0	0	0	1	1	1
3	0	0	...	0	0	0	...	0	1	1	1	7	7	0	0	0	0	...	0	0	1	1	1	3
								
i	0	0	...	0	1	1	...	1	1	1	1	2^{i-1}	2^{i-1}	0	0	...	0	0	1	...	1	1	1	2^{i-1-1}
								
n	1	1	...	1	1	1	...	1	1	1	1	2^{n-1}	2^{n-1}	0	1	...	1	1	1	...	1	1	1	2^{n-1-1}

При последующем возрастании контролируемой величины $u(t)$ с появлением каждого очередного сигнала X_i на выходах датчиков $1-i$ формирователь $3-i$ вырабатывает импульс, посредством которого в регистр 22 производится запись очередного большего кода $K_{САУ} = K_i = 00...011...1111_2 = (2^i-1)_{10}$. Запись кода предваряется его проверкой на компараторе 18, как описано выше. Когда контролируемая величина $u(t)$ достигает предельного значения в момент времени t_4 (рис. 1, в) и появляется сигнал X_n на выходе датчика $1-n$ формирователь $3-n$ вырабатывает импульс, которым в регистр 22 записывается единичный код $K_{САУ} = K_i = 11...111...1111_2 = (2^n-1)_{10}$.

Таким образом, по мере монотонного возрастания контролируемой величины $u(t)$ и исправном состоянии информационных каналов они формируют естественную последовательность кодов: $K_i = 00...000...0000_2 = 0_{10}$, $K_i = 00...000...0001_2 = 1_{10}$, $K_i = 00...000...0011_2 = 3_{10}$, ..., $K_i = 00...011...1111_2 = (2^i-1)_{10}$, ..., $K_i = 11...111...1111_2 = (2^n-1)_{10}$, поступающих в САУ. Приведенная естественная последовательность кодов подчиняется закону $K_i = (2^i-1)_{10}$, при $i = 0, 1, 2, 3, \dots, n$.

При уменьшении контролируемой величины $u(t)$ в момент времени t_5 (рис. 1, в) исчезает сигнал X_n на выходе датчика $1-n$. На входы регистра 22, дешифратора 23 и первый вход компаратора 19, поступает код $K_i = 01...111...1111_2 = (2^{n-1}-1)_{10}$. Появляется сигнал на выходе дешифратора 23, который проходит через элемент ИЛИ 11 и подготавливает элемент И 16 по первому входу. С выхода регистра 22 на вход адреса блока памяти 21 поступает единичный код. Блок памяти 21 выдает на второй вход компаратора 19 код равный коду на первом его входе (табл. 1). Появляется сигнал на выходе РАВНО компаратора 19, который через элемент ИЛИ 14 подготавливает элемент И 16 по второму входу. При исчезновении сигнала X_n на выходе датчика $1-n$, появляется сигнал на выходе элемента НЕ $2-n$, поступающий на вход формирователя $4-n$. Формирователь $4-n$ выдает импульс, который через элемент ИЛИ 10 поступает на третий вход элемента И 16. Появляется импульс на выхода элемента И 16, который проходит через элемент ИЛИ 12 и поступает на вход записи регистра 22, производя запись нового кода $K_{САУ} = K_i = 01...111...1111_2 = (2^{n-1}-1)_{10}$, поступающего в САУ.

По мере дальнейшего уменьшения контролируемой величины $u(t)$ в момент времени t_6 (рис. 1, в) исчезает сигнал X_i на выходе очередного датчика $1-i$, а на выходе элемента НЕ $2-i$ сигнал появляется, и по его фронту формирователь $4-i$ вырабатывает импульс, с участием которого в регистр 22 заносится новый меньший код $K_{САУ} = K_i = 00...011...1111_2 = (2^i-1)_{10}$. Перед записью код проверяется на компараторе 19, как описано выше.

Аналогично происходит перезапись кода в регистр 22 при последующем уменьшении контролируемой величины. В момент времени t_7 (рис. 1, в), когда исчезает сигнал X_2 на выходе датчика $1-2$ и появлении импульса на

выходе формирователя 4-2 в регистр 22 заносится код $K_{САУ} = K_{И} = 00...000...0001_2 = 1_{10}$. В момент времени t_8 (рис. 1, в) пропадает сигнал X_1 на выходе датчика 1-1. Появляется импульс на выходе формирования 4-1, и в регистр 22 заносится код $K_{САУ} = K_{И} = 00...000...0000_2 = 0_{10}$. В результате при монотонном уменьшении контролируемой величины и исправности измерительных каналов в САУ поступают коды из указанной выше естественной последовательности кодов.

Таким образом, при любом поведении контролируемой величины и исправности измерительных каналов в САУ поступают коды, входящие в естественную последовательность кодов. Появление сбойного кода, не принадлежащего этой последовательности, или нарушение очередности появления кодов является признаком неисправности измерительного канала.

Поступление сбойного кода предотвращается устройством следующим образом. К входам логического элемента ИЛИ 11 подключены выходы дешифратора 23 с номерами соответствующими естественной последовательности кодов 0, 1, 3, 7, 15, ..., (2^n-1) . Пусть в исходном состоянии на выходах всех датчиков 1-1 ... 1-n присутствуют сигналы и в регистр 22 записан код $K_{САУ} = K_{И} = 11...111...1111_2$, подаваемый в САУ. Если возникает сбой, например, датчика 1-1 и сигнал X_1 на его выходе пропадает, на вход дешифратора 23 поступает код $K_{И} = 11...111...1110_2$, не принадлежащий к числу кодов из естественной последовательности, то сигнал появляется на том выходе дешифратора 23, который не связан с входом элемента ИЛИ 11. Сигнал на выходе элемента ИЛИ 11 отсутствует. По первому входу закрывается логический элемент И 16, предотвращая перезапись кода в регистр 22. Одновременно появляется сигнал на выходе элемента НЕ 9, который проходит через элемент ИЛИ 13 и подготавливает элемент И 17 по второму входу. При исчезновении сигнала X_1 на входе датчика 1-1 появляется сигнал на выходе элемента НЕ 2-1. Формирователь 4-1 по фронту этого сигнала вырабатывает импульс, который через элемент И 17 поступает на единичный вход триггера 8. Триггер 8 меняет состояние и появляется сигнал на его прямом выходе, включающий индикатор 6, который указывает на сбой в информационных каналах. При возникновении других сбойных кодов работа устройства осуществляется, как описано выше.

Коды, входящие в естественную последовательность, должны появляться в определенном порядке. За кодом $K_{И} = (2^i-1)_{10}$ при росте контролируемой величины должен следовать код $K_{И} = (2^{i+1}-1)_{10}$, а при уменьшении – код $K_{И} = (2^{i-1}-1)_{10}$. Нарушение такой последовательности появления кодов является признаком сбоя в информационных каналах. В таких случаях устройство работает следующим образом. В блоке памяти 20 по адресам записаны последующие коды при возрастании контролируемой величины, а в

блоке памяти 21 – при снижении контролируемой величины. Пусть в регистр 22 записан код $K_{CAУ} = K_{И} = 00...000...0011_2$ при возрастании контролируемой величины, а в результате сбоя в информационных каналах одновременно появляются сигналы X_3, X_4 на выходах датчиков 1-3, 1-4 и формируется код $K_{И} = 00...000...1111_2$, который поступает на входы регистра 22, дешифратора 23 и первые входы компараторов 18 и 19. По адресу, заданному регистром 22 на выходе блока памяти 20 установится код $00...000...0111_2$ (табл. 1), который поступает на второй вход компаратора 18. Появляется сигнал на выходе БОЛЬШЕ ($A > B$) компаратора, который подается на третий вход элемента ИЛИ 13. Логический элемент ИЛИ 13 открывается и сигнал с его выхода подготавливает элемент И 17 по второму входу. Одновременно формирователи 2-3, 2-4 по фронту сигналов X_3, X_4 с выходов датчиков 1-3, 1-4 выдают импульсы, которые поступают на входы элемента ИЛИ 10. С выхода элемента ИЛИ 10 сигнал поступает на первый вход элемента И 17. Логический элемент И 17 открывается, подавая импульс на единичный вход триггера 8, который меняет свое состояние. Появляется сигнал на прямом выходе триггера 8, который включает индикатор 6, указывающий на сбой в информационных каналах. Вместе с тем по адресу, заданному регистром 22, на выходе блока памяти 21 установится код $00...000...0001_2$ (табл. 1), который поступает на второй вход компаратора 19. Появляется сигнал на выходе БОЛЬШЕ ($A > B$) компаратора 19. На выходах РАВНО компараторов 18 и 19 сигналы отсутствуют, поэтому сигнал отсутствует на выходе элемента ИЛИ 14, а элемент И 16 оказывается закрытым по второму входу, препятствуя записи в регистр 22 недостоверного кода $K_{И}$.

При других случаях нарушения последовательности появления кодов устройство работает аналогично описанному выше.

В результате в САУ поступает достоверная информация от измерительных реле, а при возникновении неисправности выдается сигнал, предупреждающий о сбое.

IV. Заключение

Рассмотренные принципы последовательности и хроноконтроля, позволяют, таким образом, разрабатывать интеллектуальные реле автоматики с функциями реконструктивной и самодиагностики. Использование интеллектуальных реле в системах автоматического управления позволит повысить надежность САУ и сократить время восстановления при возникновении сбоев.

© Сугаков В.Г., 2023
© Малышев Ю.С., 2023

Поступила в редакцию 12.02.2023
Принята к публикации 25.05.2023

Received 12.02.2023

Accepted 25.05.2023

Библиографический список

- [1] Герман Л.А., Субханвердиев К.С., Герман В.Л. Автоматизация электроснабжения тяговой сети переменного тока. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2022. – 264 с.
- [2] Черкесов Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. СПб.: Питер, 2005. – 478 с.
- [3] Зубрикас И.И. Математические методы анализа и обработки индивидуальной диагностической информации. Великий Новгород: НовГУ, 2006. – 64 с.
- [4] Кулагин А.В. Диагностирование состояния судовых дизельных двигателей вероятностным методом распознавания неисправностей // Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 69 (4). С. 109-122. DOI: 10.37890/jwt.vi69.220
- [5] Соловьев А.В., Поселенов Е.Н. Обзор современных систем управления двигателями внутреннего сгорания // Научные проблемы водного транспорта. 2021. № 67 (2). С.42-52. DOI: 10.37890/jwt.vi67.192
- [6] Кулагин А.В. Формирование информационных потоков при диагностировании судовых энергетических установок // Научные проблемы водного транспорта. 2022. № 70 (1). С. 77-86. DOI: 10.37890/jwt.vi70.237
- [7] Лесной Б.В., Крылов Е.Г. Надежность и диагностика автоматизированных систем. Волгоград: Политехник, 2007. – 80 с.
- [8] Бржозовский Б.М., Игнагьев А.А., Мартынов В.В., Схиртладзе А.Г. Надежность и диагностика технологических систем. Саратов: СГТУ, 2006. – 303 с.
- [9] Малышев Ю.С., Сугаков В.Г. Реконструктивная диагностика системы автоматического управления судовой электростанции с математической коррекцией значений аргументов функций управления // Эксплуатация Морского Транспорта. 2011. № 3 (65). С. 60-66.
- [10] Сугаков В.Г., Малышев Ю.С. Цифровое реле частоты вращения с функцией реконструктивной диагностики, Пат. 2618495 RU, заявл. 30.03.16; опубл. 03.05.17. – Бюл. № 13.
- [11] Сугаков В.Г., Малышев Ю.С., Ягзов И.И. Цифровое n-канальное реле с функцией самодиагностики, Пат. 2685445 RU, заявл. 21.03.18; опубл. 18.04.19. – Бюл. № 11.

References

- [1] L.A. German, K.S. Subkhanverdiev and V.L. German, *Avtomatizatsiya ehlektrosnabzheniya tyagovoi seti peremennogo toka [Automation of power supply of AC traction network]*. Moscow: FGBU DPO “Educational and methodological center for education in railway transport”, 2022 (in Russian).
- [2] G.N. Cherkesov, *Nadezhnost' apparatno-programmnykh kompleksov [Reliability of hardware and software systems]*. St. Petersburg: Piter, 2005 (in Russian).
- [3] I.I. Zubrikas, *Matematicheskie metody analiza i obrabotki individual'noi diagnosticheskoi informatsii [Mathematical methods of analysis and processing of individual diagnostic information]*. Veliky Novgorod: NovSU, 2006 (in Russian).

- [4] A.V. Kulagin, “Diagnosing the state of marine diesel engines by probabilistic fault recognition method”, *Russian Journal of Water Transport*, vol. 69, no. 4, pp. 109-122, 2021. DOI: 10.37890/jwt.vi69.220
- [5] A.V. Solov'ev and E.N. Poselenov, “Overview of modern control systems for internal combustion engines”, *Russian Journal of Water Transport*, vol. 67, no. 2, pp. 42-52, 2021. DOI: 10.37890/jwt.vi67.192
- [6] A.V. Kulagin, “Formation of information flows during diagnostics of ship power plants”, *Russian Journal of Water Transport*, vol. 70, no. 1, pp. 77-86, 2022. DOI: 10.37890/jwt.vi70.237
- [7] B.V. Lesnoi and E.G. Krylov, *Nadezhnost' i diagnostika avtomatizirovannykh sistem [Reliability and diagnostics of automated systems]*. Volgograd: Politehnik, 2007 (in Russian).
- [8] B.M. Brzhozovskii, A.A. Ignat'ev, V.V. Martynov and A.G. Skhirtladze, *Nadezhnost' i diagnostika tekhnologicheskikh sistem [Reliability and diagnostics of technological systems]*. Saratov: SSTU, 2006 (in Russian).
- [9] Y.S. Malyshev and V.G. Sugakov, “Reconstructive diagnostics of the automatic control system of the ship power station with mathematical correction of arguments of control functions”, *Operation of Maritime Transport*, vol. 3, no. 65, pp. 60-66, 2011.
- [10] V.G. Sugakov and Yu.S. Malyshev, “*Cifrovoe rele chastoty vrashcheniya s funkciej rekonstruktivnoj diagnostiki [Digital speed relay with reconstructive diagnostics]*”, Patent RU 2618495, May 03, 2017 (in Russian).
- [11] V.G. Sugakov and Yu.S. Malyshev and I.I. Yagzhov, “*Cifrovoe n-kanal'noe rele s funkciej samodiagnostiki [Digital n-channel relay with self-diagnosis function]*”, Patent RU 2685445, Apr. 18, 2019 (in Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Сугаков Валерий Геннадьевич, доктор технических наук, профессор Волжского государственного университета водного транспорта, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Valerii G. Sugakov, D. Sci. (Eng.), professor of the Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Малышев Юрий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент Волжского государственного университета водного транспорта, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Yurii S. Malyshev, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russian Federation