

УДК 621.311.1

И. М. Данцевич,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

А. Б. Каракаев,
д-р техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

А. В. Луканин,
канд. техн. наук, доцент,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЕПРИГОДНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СЕТЕЙ, СХЕМ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СУДОВЫХ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМЫХ
РАЗРЫВОВ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ**

**CONTROLLABILITY ENSURING OF ELECTRICAL GRIDS, SCHEMES
AND EQUIPMENT OF SHIP ELECTRICAL POWER SYSTEMS
ON BASIS OF UNDER-CONTROL BREAKINGS OF FUNCTIONAL SIGNALS**

В статье рассмотрены вопросы представления судовой электроэнергетической системы и ее элементов с помощью граф-моделей и матриц смежности, описан алгоритм формирования матрицы управления разрывов дуги при контроле работоспособности и поиске дефектов.

In the article there are considered questions of ship electrical power system and its elements presentation by graph-models and complexity matrixes, there is described an algorithm of arc breakings matrix forming at operability control and defects searching.

Ключевые слова: судовая электроэнергетическая система, электрооборудование, контролепригодность, управляемый функциональный разрыв, управляемый разрыв дуги.

Key words: ship electrical power system, electrical equipment, controllability, functional undercontrolled breaking, undercontrolled arc breaking.

С УДОВУЮ электроэнергетическую систему (СЭЭС) как объект контроля правильности функционирования и оценки уровня работоспособности удобно формализованно представлять графом G с одним входом и одним выходом (многовходовые графы приводятся к одноходовым добавлением фиктивных вершин) [1, с. 67–70; 2, с. 58–61; 3, с. 63–67].

Поскольку СЭЭС относится к объектам непрерывного действия с переменной структурой, то такая система содержит в своем составе коммутирующие элементы (клемные платы, разъемы, автоматические и неавтоматические выключатели и т. п.). Такие элементы разрешают или запрещают поток электрической мощности или тестовых сигналов по той или иной электрической коммуникации. В этом случае их можно рассматривать как управляемые функциональные разрывы (УФР) в структуре системы. В граф-модели такие элементы не нужно включать в состав вершин графа, а целесообразно рассматривать их как специальный управляемый разрыв дуги (УРД) граф-модели.

УРД изображается в граф-модели в виде элемента C с дополнительным внешним входом \tilde{x}_i для управления коммутирующим элементом (КЭ). Входом в КЭ (рис. 1) является сигнал x_i , а выходом — логическая функция f_i : если $\tilde{x}_i = 1$ и $x_i = 1$, то КЭ разрешает поток сигналов через КЭ к вершине, в которую входят выход КЭ f_i . Если $\tilde{x}_i = 0$ (управляющий дополнительный сигнал запрещает поток сигналов через КЭ), то и при $x_i = 0$ и при $x_i = 1$ на выходе КЭ $f_i = 0$. Очевидно, если $x_i = 0$ (нет выхода в КЭ), а $\tilde{x}_i = 1$, то все равно $f_i = 0$. Таким образом, введение понятия УРД соответствует

назначению некоторой функциональной проверки схемы, когда блокируется дуга u_k , на вход подается функциональный (тестовый) сигнал, а на выходе последовательности вершин снимается выходной сигнал. В этом случае такую последовательность удобно представить в виде n -мерного вектора $b(u_k) = (b_1, \dots, b_k)$, в котором компонента $b_i = 1$, если при удалении (блокировании) дуги u_k сигнал от входа к выходу проходит через вершину с номером i . В противном случае $b_i = 0$. Все вершины графа G можно разбить относительно дуги $u = (i, j)$ на два подмножества.

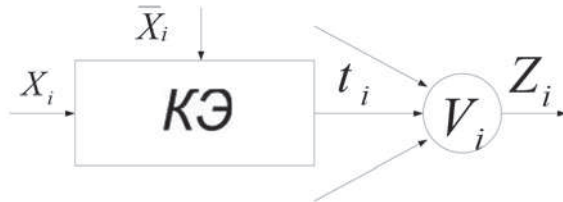


Рис. 1. Структурная схема управляемого разрыва дуги

Подмножество $U_0 = \{u_j = (t, j) | id(j) = 1\}$ и подмножество $U_1 = \{u_j = (t, j) | od(i) = 1\}$. Очевидно в $U_0 \cap U_1 = \Phi$ удобно обозначить все дуги $u_j \in U_0$ как u_j^0 , а $u_i \in U_1$ как u_i^1 .

Если известно априори некоторое множество управляемых разрывов $W = \{W_1, \dots, W_L\}$ и для всех его элементов построены векторы управляемых разрывов $\tilde{b} = (W_i) (i = 1, L)$, то можно построить матрицу управляемых разрывов $B_W = \|b_{ij}\| (i = 1, \bar{L}; j = 1, \bar{n})$, строкам которой будут

соответствовать векторы управляемых разрывов, а столбцам — вершины графа G .

Матрицу УРД удобно формировать с помощью матрицы смежностей C исходного графа G с помощью алгоритма, блок-схема которого представлена на рис. 2.

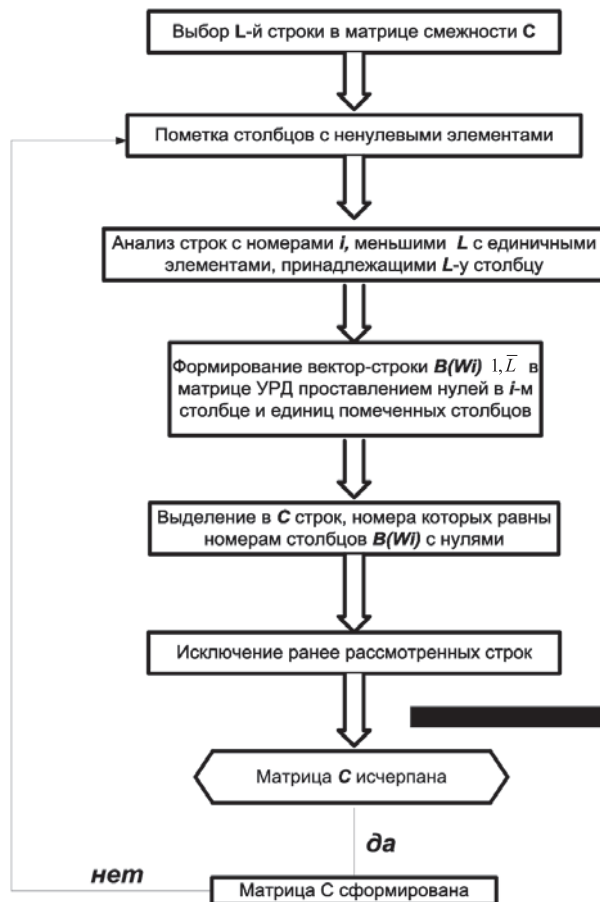


Рис. 2. Схема алгоритма формирования матрицы управляемых разрывов дуги при контроле работоспособности и поиске дефекта

Если все столбцы в матрице УРД различны, то это означает, что структура объекта такова, что все одиночные дефекты будут различны. Следует сразу отметить, что кратные дефекты с помощью УРД выявить практически невозможно ввиду многообразия возможных векторов матрицы УРД. Если обнаруживается некоторый класс эквивалентности одиночных дефектов на анализируемой граф-модели $d\{\mu\}, \{v\}$ на заданном множестве управляемых разрывов W , то, чтобы разбить этот класс на два одноэлементных, нужно добавить к множеству W хотя бы один управляемый разрыв ω такой, чтобы в его векторе $\tilde{b} = (W)$ компоненты b_μ и b_v были различны. Таким образом, применение УРД позволяет повысить различимость одиночных дефектов и, следовательно, уровень контролепригодности (КП) электрических схем, сетей и ЭСК в целом.

Рассмотрим некоторые теоретические положения, определяющие эффективность применения управляемых разрывов при анализе и синтезе уровня КП ЭСК.

Поскольку, как было отмечено выше, применение коммутирующего элемента, изменение его состояния представляет собой по существу назначение какой-то проверки, то аналогично процедуре построения матрицы проверок на множестве точек контроля можно построить матрицу управляемых разрывов.

Действительно, если задать множество $W = \{W_1, \dots, W_L\}$ управляемых разрывов и для всех его элементов получить векторы управляемых разрывов $\tilde{b} = (W_i)(i = 1, \bar{L})$, то матрица $B_W = \|b_{ij}\|(i = 1, \bar{L})(j = 1, \bar{n})$, в которой ее строкам соответствуют векторы всех управляемых разрывов множества W , а столбцам — вершины графа G (при условии, что если вершина входит в вектор $\tilde{b}(u_i)$, то $\tilde{b}_{ij} = 1$, в противном случае $b_{ij} = 0$), будет представлять собой матрицу управляемых разрывов. Такую матрицу B_W удобно формировать с помощью матрицы смежностей C графа G . Каждая строка $b = (W_i)(i = 1, \bar{L})$ матрицы B_W строится построчным заполнением ее по матрице сложностей C исходного графа G следующим образом.

Шаг 1. В матрице C исходного графа G выбирается i -я строка и помечаются в ней столбцы, содержащие ненулевые элементы, а затем запоминаются строки с номерами, меньшими i и содержащими по одной единице в i -м столбце.

Шаг 2. В вектор-строке $b = (W_i)(i = 1, \bar{L})$ матрицы B_W проставляются нули в i -м столбце и тех столбцах, которые соответствуют выделенным строкам и столбцам, содержащим по одной единице.

Шаг 3. В матрице смежности исходного графа G выделяются строки, номера которых соответствуют номерам столбцов вектор-строки $b = (W_i)$, где проставлены нули и повторяются шаги 1 и 2 для каждой строки, исключая рассмотренные ранее строки.

Процедура продолжается до тех пор, пока существует возможность выделения строк и столбцов согласно шагу 1. Рассмотрим в качестве примера процедуру построения матрицы управляемых разрывов для модели на рис. 3.

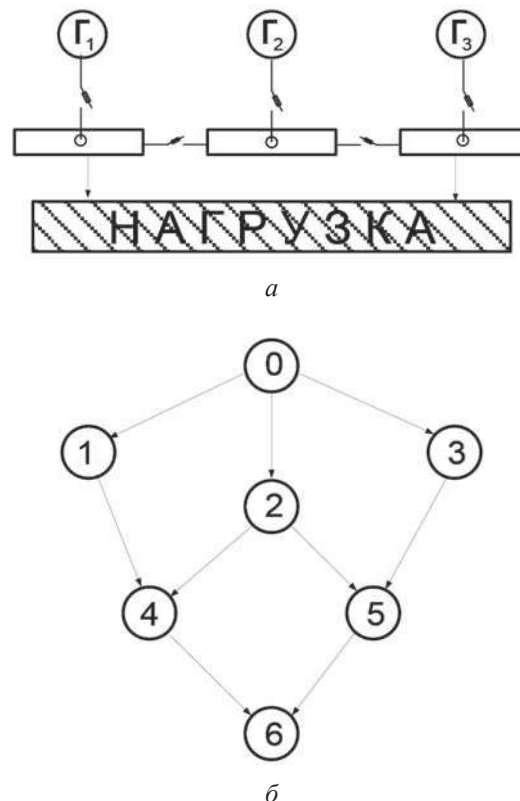


Рис. 3. Структурная схема электростанции, включающая два генераторных агрегата с распределительными секциями ГРЩ (Г1, Г3), и генераторного агрегата с генераторным щитом, коммутированным с секциями ГРЩ (а); граф-модель электростанции (б),

где 1, 3 — вершины, соответствующие генераторным агрегатам Г1, Г3 с генераторными автоматами; 2 — вершина, соответствующая генераторному агрегату Г2 с генераторным автоматом и щитом, находящимся в другом от электростанции помещении

Матрица смежностей для такого графа имеет вид:

		0	1	2	3	4	5	0'
$B_W =$	0		1	1	1			
	1					1		
$C =$	2					1	1	
	3						1	
	4							1
	5							1
	0'							

Матрица управляемых разрывов, построенная по рассмотренному алгоритму будет иметь вид:

	0	1	2	3	4	5	0'
u_1^0	1		1	1	1	1	1
u_2^0	1	1		1	1	1	1
u_3^0	1	1	1		1	1	1
u_4^0	1		1	1		1	1
u_5^0	1	1	1		1		1

При анализе дополнительного вектор-столбца с результатами проверки по соответствующим строкам матрица B_W позволяет обнаружить совпадение результатов функциональной проверки, если совпадают результирующие столбцы матрицы B_W . Это свидетельствует о наличии эквивалентных дефектов. Если обнаруживаются такие дефекты, неразличимые на множестве управляемых разрывов, то для обеспечения различимости любого одиночного дефекта необходимо дополнить множество W управляемых разрывов так, чтобы были разбиты все классы эквивалентности на одноэлементные множества, когда все столбцы в матрице будут различимыми.

Рассмотрим основные принципы выбора дополнительных управляемых разрывов для обеспечения различимости одиночных дефектов в СЭЭС.

В графе G в множестве дуг U всегда можно выделить подмножество дуг $U_0 = \{u_j = (t, j) / id(j) = 1\}$, которые одновременно могут входить в одну вершину. Аналогично можно выделить подмножество дуг U_1 , которые только по одной входят в вершины графа: $u_i = \{u_i = (i, j) / od(i) = 1\}$. Очевидно, можно утверждать, что $U_0 \cap U_1 = \Phi$, а в случае выполнения для дуги $u(i, j)$ условия $id(j) = od(i) = 1$ считать, что $u \in U_0$, и обозначить $u_j \in U_0$ как u_j , а для $u_i \in U_1$ как u_i^1 . Если в графе G

для вершины j ($j = 1, \bar{n}$) выполняется условие $id(j) = od(j) = 1$, векторы управляемых разрывов дуг u_j^0 и u_j^1 совпадают. Поскольку управляемые разрывы дуги из множества $V|(U_0 \cap U_1)$ ничего не дают для различимости дефектов, то целесообразно такое множество дуг не рассматривать, а из равносильных управляемых разрывов u_j^0 и u_j^1 использовать только u_j^0 , так как для дуги $u \in U$ ($U_0 \cup U_1$) все компоненты вектора управляемого разрыва этой дуги равны единице. Дополнительные управляемые разрывы назначаются для обеспечения обнаружения любого одиночного дефекта на основании следующих рассуждений.

Поскольку речь идет о некотором классе эквивалентности одиночных дефектов вида $d\{\{\mu\}, \{v\}\}$ и необходимости разбиения его на два одноэлементных, то, очевидно, необходимо и достаточно добавить к множеству W хотя бы один дополнительный управляемый разрыв ω такой, чтобы в векторе $\tilde{b} = (W) = (\tilde{b}_1, \dots, \tilde{b}_n)$ компоненты \tilde{b}_μ и \tilde{b}_v были различны.

Действительно, всякое двухэлементное множество содержит два совпадающих между собой столбца в матрице B_W . Если такое множество разбить на два одноэлементных, то невозможно без появления дополнительного управляемого разрыва обеспечить в матрице B_W различие столбцов с номерами μ и v .

Очевидно, что в этом случае для дополнительного разрыва дуги вектор $\tilde{b} = (W) = (\tilde{b}_1, \dots, \tilde{b}_n)$ будет содержать только один элемент множества. Таким образом, введение дополнительного управляемого разрыва дуги является необходимым условием.

Однако следует иметь в виду, что различимость дефектов на множестве только управляемых разрывов возможна только с точностью до определенных Q -множеств неразличимых дефектов. Поскольку любой управляемый разрыв дуги $u \in U|(U_0 \cup U_1)$ для различимости дефектов ничего не дает, то двухэлементный класс эквивалентности $d\{\{\mu\}, \{v\}\}$ на множестве $W = U_0 \cup U_1$ графа G нельзя разбить ни на каком множестве управляемых разрывов.

Таким образом, если в графе G обнаруживаются Q -множества неразличимых дефектов по управляемым разрывам, то такой граф G можно назвать Q -различимым.

Тогда процедура выявления всех классов эквивалентных дефектов на исходном множестве W управляемых разрывов с помощью матрицы B_{W_0} и декомпозиции на систему двухэлементных множеств будет основываться на решении следующей задачи.

Для каждого двухэлементного множества d необходимо построить множество X управляемых разрывов, некоторые элементы которых разбивают еще на два одноэлементных.

Последовательность шагов процедуры будет состоять в следующем.

Шаг 1. В матрице $B_{U_0 \cup U_1}$ сравнивают столбцы с номерами μ и v и выявляют строки, на которых столбцы с номерами μ, v матрицы B_{W_0} различны и определяют элементы X -множества, соответствующего множеству d .

Шаг 2. С помощью действий шага 1 для всех двухэлементных множеств строится система X -множеств $\{x_i\} (i = 1, \bar{k})$.

Шаг 3. Определяется минимальное покрытие системы множеств $\{x_i\} (i = 1, \bar{k})$ и множество дополнительных управляемых разрывов, которые обеспечивают различимость одиночных дефектов с точностью до Q -множеств.

В качестве множества W_0 можно взять множество U_0 управляемых разрывов, так как при этом суммарное множество $W_0 \cup \tilde{W}$ будет минимальным.

Для рассмотрения особенностей процедуры выбора дополнительных разрывов дуг для различимости одиночных дефектов рассмотрим демонстрационный пример решения такой задачи для графа G_1 (см. рис. 4).

Матрица управляемых разрывов, построенная на множестве $U_0 \cup U_1$, имеет вид:

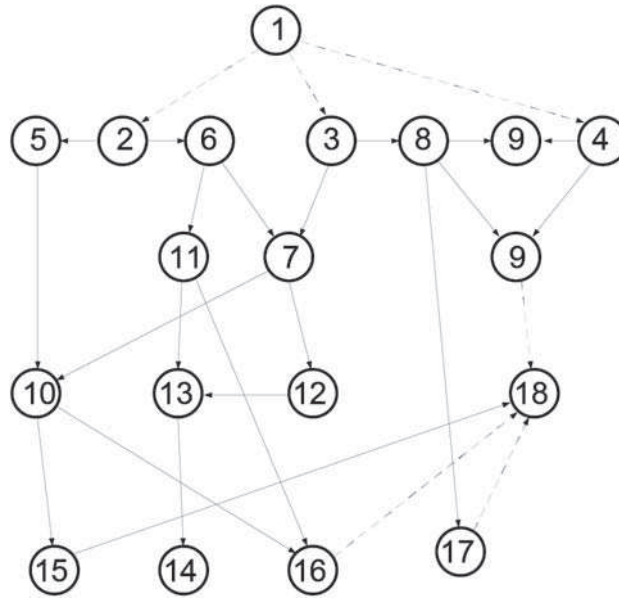


Рис. 4. Граф-модель электростанции с тремя генераторами (2–4), системой генерирования (5, 6, 8), АПС (7, 9), АПП (10, 13) и потребителями ЭЭ

$$B_{U_0 \cup U_1} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
u_2^0	1		1	1			1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
u_3^0	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u_4^0	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u_5^0	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u_6^0	1	1	Г	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1
u_8^0	1	1	1	1	1		1		Г	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u_{12}^0	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1
u_{14}^0	1	1	1	1	1	1	1	1	Г	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u_9^1	1	1	г	1	1	1	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1
u_{15}^1	1	1	г	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
u_{16}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
u_{17}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1

Нетрудно выделить с помощью матрицы Q -множества из совпадающих столбцов $\{2, 10\}$ и $\{7, 13\}$, то есть поиск дефектов возможен с точностью до Q -множеств. Поскольку 1 и 18 — фиктивные вершины, то столбцы $\{1, 18\}$ не рассматриваются. С учетом того, что в качестве исходного множества управляемых разрывов можно рассматривать $u_2^0, u_3^0, u_4^0, u_{15}^1, u_{16}^1, u_{17}^1$, матрица управляемых разрывов примет вид:

$$\tilde{B} =$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
u_2^0	1		1	1			1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1
u_3^0	1	1		1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u_4^0	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
u_{15}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
u_{16}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
u_{17}^1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1

Анализ матрицы показывает, что имеются следующие совпадающие $\{2, 5, 6, 10\}$, $\{3, 8\}$, $\{7, 9, 11, 12, 13, 14\}$. Из них можно построить двухэлементные множества (кроме $\{2, 10\}$ и $\{7, 13\}$, поскольку они не обеспечивают различимость дефектов управляемыми разрывами сигналов): $\{5, 6\}$, $\{5, 10\}$, $\{6, 10\}$, $\{3, 8\}$, $\{7, 9\}$, $\{7, 11\}$, $\{7, 12\}$, $\{7, 14\}$, $\{9, 11\}$, $\{9, 12\}$, $\{9, 13\}$, $\{9, 14\}$, $\{11, 12\}$, $\{11, 13\}$, $\{11, 14\}$, $\{12, 13\}$, $\{12, 14\}$, $\{13, 13\}$.

Анализ этих двухэлементных множеств позволяет построить матрицу ε :

$\varepsilon^* =$

	u_5^0	u_6^0	u_8^0	u_9^1	u_{12}^0	u_{14}^0
$\{2, 5\}$	1					
$\{2, 6\}$		1				
$\{5, 6\}$	1	1				
$\{5, 10\}$	1					
$\{6, 10\}$		1				
$\{3, 8\}$			1			
$\{7, 9\}$				1		
$\{7, 11\}$		1				
$\{7, 12\}$					1	
$\{7, 14\}$						1
$\{9, 11\}$		1		1		
$\{9, 12\}$				1	1	
$\{9, 13\}$				1		
$\{9, 14\}$				1		1
$\{11, 12\}$		1			1	
$\{11, 14\}$		1				1
$\{12, 13\}$		1			1	
$\{12, 14\}$					1	1
$\{13, 14\}$						1

Управляемые разрывы $u_5^0, u_6^0, u_8^0, u_9^1, u_{12}^0$ и u_{14}^0 образуют минимальное покрытие, то есть они образуют множество необходимых дополнительных управляемых разрывов. Таким образом, для обеспечения различимости одиночных разрывов с точностью до Q -множеств необходима расширенная матрица управляемых разрывов, включающая $u_2^0, u_3^0, u_4^0, u_5^0, u_6^0, u_8^0, u_{12}^0, u_{14}^0, u_9^1, u_{15}^1, u_{16}^1, u_{17}^1$. Нетрудно заметить, что такая расширенная матрица совпадает с матрицей $B_{U_0 \cup U_1}$. Значит, в данном случае для обеспечения различимости с точностью до Q -множеств необходимы все управляемые разрывы, построенные на множестве $U_0 \cup U_1$.

Как следует из рассмотренных выше теоретических положений, применение метода управляемых разрывов дуг не всегда обеспечивает различимость одиночных дефектов. С другой стороны, в большинстве практических случаев число дополнительных точек контроля ограничивается некоторой постоянной r ($r \geq 0$ — целое число). В связи с этим обеспечение различимости дефектов комплексным совместным использованием точек контроля и управляемых разрывов сигналов в большинстве случаев оказывается более эффективным, чем использование одного из рассмотренных методов. В этом случае задача может быть сформулирована следующим образом.

Известно исходное множество y_0 точек контроля, построенное в соответствии с назначением и конструктивными особенностями объекта контроля, причем число дополнительных точек контроля, которое может быть введено для различимости дефектов, ограничено постоянной r ($r \geq 0$ — целое число).

Необходимо первоначально выбрать множество дополнительных точек контроля в количестве r , а затем дополнить его (в случае необходимости) минимальным множеством управляемых разрывов так, чтобы обеспечить максимальное число различимых дефектов.

Решение задачи можно представить в виде последовательности следующих этапов.

Этап 1. По матрице управляемых разрывов $B_{U_0 \cup U_1}$ определяются все существующие в графе Q -множества, образующие классы эквивалентных дефектов.

Этап 2. Q -множества разбиваются на двухэлементные множества эквивалентных дефектов и для них строится матрица типа ε .

Этап 3. Отыскивается минимальное покрытие матрицы ε . Если минимальное покрытие матрицы ε содержит более чем r элементов, то делается вывод, что различимости дефектов достичь невозможно ни при каком выборе управляемых разрывов, поскольку в этом случае в матрице $B_{U_0 \cup U_1}$ останутся множества совпадающих между собой столбцов, а следовательно, будут существовать классы неразличимых эквивалентных дефектов.

Если существует минимальное покрытие матрицы ε , содержащее не более r элементов, то это покрытие, дополненное до r , определяет искомое число точек контроля. Для этого выполняются следующие процедуры:

1) на множестве внешних входов и выходов строится матрица проверок B_{y_0} , по которой определяются классы эквивалентных дефектов:

2) обнаруженные классы эквивалентных дефектов разбиваются на двухэлементные множества и строится матрица $\tilde{\varepsilon}$;

3) формируется матрица $\tilde{\tilde{\varepsilon}}$ в результате следующих действий:

— в матрице $\tilde{\varepsilon}$ вычеркиваются номера столбцов, которые вошли в минимальное покрытие матрицы ε ;

— в матрице $\tilde{\varepsilon}$ вычеркиваются строки, содержащие ненулевые элементы в выделенных и вычеркнутых столбцах;

— осуществляется выбор строки, содержащей ненулевые элементы в выделенных и вычеркнутых столбцах, в результате чего образуется матрица $\tilde{\tilde{\varepsilon}}$;

4) осуществляется выбор контрольных точек в результате выполнения следующих операций над матрицей $\tilde{\tilde{\varepsilon}}$:

— в матрице $\tilde{\xi}$ выделяется столбец, содержащий максимальное число ненулевых элементов: номер этого столбца указывает на номер выбранной точки контроля;

— выделенный столбец исключается из матрицы $\tilde{\xi}$, отыскиваются строки, содержащие ненулевые элементы в исключенном столбце, и также исключаются из матрицы $\tilde{\xi}$;

— в оставшейся части матрицы снова находится столбец с максимальным числом ненулевых элементов, по его номеру назначается очередная точка контроля, а затем отыскиваются столбцы по предыдущему правилу строки и исключаются из матрицы.

Процедура продолжается до тех пор, пока минимальное покрытие матрицы ε не будет достигнуто до r элементов.

Если не удастся рассмотренной выше процедурой на матрице $\tilde{\xi}$ достичь числа r , то эту процедуру выполняют над матрицей $\tilde{\xi}$. В том случае когда не обнаруживаются Q -множества, в качестве такого множества следует взять множество из r элементов, которое назначается по матрице $\tilde{\xi}$ с помощью реализации над ней рассмотренной выше процедуры.

После выбора контрольных точек назначается минимальное множество управляемых разрывов. Для этого строится матрица проверок B' на множестве неактивных входов и выходов и выбранных точек контроля. Затем по матрице B' формируются классы эквивалентных дефектов и преобразуются в систему двухэлементных множеств неразличимых объектов. В дальнейшем разбиение двухэлементных множеств неразличимых дефектов на одноразличимые (одноэлементные) осуществляется за счет назначения минимального множества управляемых разрывов по ранее изложенной методике.

Комплексность рассмотренного подхода к совместному использованию методов выбора контрольных точек и управляемых разрывов дуг состоит в том, что разработанная методика обеспечивает решение не только задач дополнения множества точек контроля минимальным множеством управляемых разрывов, но и решение таких задач, как:

— дополнение заданного числа точек контроля и управляемых разрывов минимальным множеством точек контроля;

— дополнение заданного числа управляемых разрывов минимальным множеством точек контроля.

Следует иметь в виду, что при решении указанных задач не всегда удается на выбранном множестве точек контроля и управляемых разрывов достичь одноразличимости дефектов.

В общем случае при комплексном использовании методов выбора контрольных точек и управляемых разрывов поиск дефектов осуществляется по объединенной матрице проверок выбранных точек контроля и управляемых разрывов, соответствующей объединению множества точек контроля и множества управляемых разрывов, дополненной столбцом с результатами произведенных проверок (результат проверки равен единице, если снимаемый сигнал находится в области допустимых значений, и нулю в противном случае).

Логическое произведение всех строк, имеющих нуль в дополнительном столбце, и инверсий всех строк, имеющих единицу в том же дополнительном столбце, образует вектор σ , ненулевые компоненты которого и определяют дефект в объекте с принятой степенью различимости.

Выводы

Анализ конструктивных особенностей судового электрооборудования и процессов его функционирования позволяет сделать вывод о том, что для оценки и анализа КП целесообразно комплексное использование методов выбора рациональной системы контрольных точек и управляемых разрывов электрических коммуникаций для обеспечения высокого уровня различимости дефектов произвольной кратности.

Список литературы

1. *Каракаев А. Б.* Проблемы исследования электрокоммуникаций и обеспечение устойчивости кораблей и судов к авариям / А. Б. Каракаев, А. В. Луканин // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. — СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2011. — № 2 (64).
2. *Каракаев А. Б.* Сущность понятия коммутационной контролепригодности судовых сетей электрооборудования судов / А. Б. Каракаев, А. В. Луканин // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. — СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2012. — № 1 (67).
3. *Каракаев А. Б.* Основные методические вопросы анализа и синтеза контролепригодности систем сложной конструктивно-технической и организационной структуры на примере СЭЭС и ее элементов / А. Б. Каракаев, А. В. Луканин // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. — СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2013. — № 2 (72).

УДК 629.12.066

В. М. Приходько,
канд. техн. наук, профессор,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова;

И. В. Приходько,
аспирант,
ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИ СУШКЕ СУДОВЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ

MATHEMATICAL MODEL OF SHIP INDUCTION MOTORS DRYING BY ENERGY SAVING TECHNOLOGY

Предложено аналитическое определение параметров управляемого токового безразборного контрольного прогрева изоляции судовых асинхронных двигателей по разработанной структурной схеме с реализацией на ПЭВМ.

An analytical determination of parameters of the controlled current to control insulation heating of marine induction motors developed for the implementation of the block diagram on the PC is offered.

Ключевые слова: асинхронные двигатели, тиристорные преобразователи, тепловая схема замещения, температура, нагрев, обмотки статора, система дифференциальных уравнений.

Key words: induction motors, thyristor converters thermal equivalent circuit, temperature, heating of the stator winding, the system of differential equations.

В СООТВЕТСТВИИ с Федеральным законом «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности» от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ, а также с постановлением правительства Санкт-Петербурга «О повышении энергетической эффективности и энергосбережении» № 1257 от 11 ноября 2009 г. разработка эффективных методов, средств контрольного прогрева, подсушки, сушки, восстановления изоляционных систем, диагностики и интенсификации комплексных испытаний электрооборудования судов по энергосберегающей технологии в судостроении и судоремонте является для морского и речного флота актуальной проблемой, требующей специальных исследований.