

*Б. Б. Утегулов, А. Б. Утегулов, А. Б. Уахитова,
Д. Б. Башим, М. С. Жанайдаров,
Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина
(г. Астана, Казахстан)*

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТА МИЛИ (МУРА) ДЛЯ СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ДУГОГАСЯЩИХ РЕАКТОРОВ В СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 6–10 КВ

Одним из наиболее важных вопросов в области электроэнергетики энергетических, промышленных и горнорудных предприятий на сегодняшний день является повышение надежности электроснабжения и электробезопасности при эксплуатации электроустановок в сетях 6–10 кВ. Эта проблема обусловлена значительным износом изоляции производственных сетей, приводящим к появлению однофазных замыканий на землю, – наиболее распространенных (70–75 % от всех аварий) повреждений в распределительных сетях 6–10 кВ.

Применение устройств управления дугогасящих реакторов в сетях напряжением 6–10 кВ, построенных на основе микропроцессорных систем, позволяет устранить главный недостаток работы устройств компенсации емкостного тока использование напряжения нулевой последовательности для анализа состояния изоляции. Предлагается новый способ управления дугогасящим реактором в сетях с напряжением 6–10 кВ, который основан на автоматическом определении тока однофазного замыкания на землю и компенсации его емкостной составляющей в сетях 6–10 кВ.

При создании математической модели цифрового устройства управления дугогасящих реакторов в сетях с напряжением 6–10 кВ наиболее эффективными оказываются методы теории автоматов. Оптимальным при синтезе цифровых автоматов считается предложенное академиком В. М. Глушковым представление любого цифрового устройства обработки информации в виде двух функционально связанных частей: управляющего автомата и операционного автомата. Управляющий автомат предназначен для выработки управляющих сигналов, под воздействием которых в операционном автомате осуществляются некоторые операции.

Наиболее распространенными цифровыми абстрактными управляющими автоматами являются автоматы Мили и Мура. Закон функционирования автомата Мили задается уравнениями:

$$a(t+1) = \delta[a(t), z(t)]; \quad (1)$$

$$w(t) = \lambda[a(t), z(t)];$$

$$t = 0, 1, 2, \dots,$$

где $A = \{a_1, \dots, a_n\}$ – множество состояний (алфавит состояний);

$Z = \{z_1, \dots, z_m\}$ – множество входных сигналов (входной алфавит);

$W = \{w_1, \dots, w_k\}$ – множество выходных сигналов (выходной алфавит);

δ – функция переходов, реализующая переход автомата из одного состояния в другое;

λ – функция выходов, реализующая появление сигнала на выходе автомата в соответствии с сигналом на входе и текущим состоянием автомата;

a_1 – начальное состояние автомата.

Особенностью автомата Мили является то, что состояние его выхода возникает одновременно с вызывающим его состоянием входа.

Закон функционирования автомата Мура задается уравнениями:

$$\begin{aligned} a(t) &= \delta(a(t-1), z(t)); \\ w(t) &= \lambda(a(t)). \end{aligned} \quad (2)$$

Различие между автоматами Мили и Мура состоит в том, что выходной сигнал в автомате Мили зависит как от состояния в предыдущий момент времени, так и от входного сигнала в рассматриваемый момент времени, а в автомате Мура – только от состояния в рассматриваемый момент времени. Автомат Мура всегда можно свести к автомату Мили с тем же самым числом состояний и теми же самыми входным и выходным алфавитами.

Таким образом, математической моделью устройства автоматического определения тока однофазного замыкания на землю в электрических сетях 6–10 кВ является управляющий микропрограммный автомат Мили, основной задачей которого является выработка распределенной во времени последовательности управляющих сигналов, под воздействием которых в операционном автомате осуществляются некоторые операции.

Синтез цифрового конечного управляющего автомата Мили сводится к следующим действиям:

- построение графа конечного автомата по граф-схеме алгоритма;
- составление структурной таблицы переходов для заданного графа;
- составление логической схемы автомата;
- разработка управляющей программы.

Граф-схема алгоритма отражает совокупность правил перехода автомата из одного состояния в другое в зависимости от входной информации и внутренних состояний автомата. При построении граф-схем алгоритма используется определённый набор графических символов, соединённых между собой линиями. Символы обозначают выполняемые операции, а линии со стрелками – последовательность их выполнения. Символ может быть начальным, конечным, операторным и условным. Операторный символ обозначается прямоугольником, в который вписывается условное обозначение оператора, реализуемого на данном шаге алгоритма. Операторный символ означает выполнение некоторой операции или группы операций обработки информации. Логический символ означает выбор направления выполнения алгоритма в зависимости от того, выполняется или нет некоторое логическое условие, обозначение которого вписывается в ромб.

По полученной отмеченной граф-схеме алгоритма составляется граф автомата Мили цифрового устройства.

Граф произвольного абстрактного автомата представляет собой комбинацию вершин, изображаемых на рисунках кружочками, и соединяющих их стрелок – ребер графа. Вершины отождествляются с состояниями автомата, а стрелки – с входными сигналами. Если входной сигнал x_i вызывает переход автомата из состояния a_j в состояние a_k , то на графе автомата этому сигналу соответствует обозначенная буквой x_i стрелка, соединяющая вершину, соответствующую состоянию a_j , с вершиной, соответствующей состоянию a_k . При этом вершины a_j и a_k могут совпадать.

Построенный таким образом граф автомата задает только функцию переходов этого автомата. Для задания функций выходов ребра графа обозначаются не только входными, но и соответствующими им выходными сигналами. Граф автомата, благодаря введенным на нем обозначениям вершин и ребер, полностью задает автомат при условии, что каким-то образом отмечена вершина графа, соответствующая начальному состоянию этого автомата.

По графу автомата составляется структурная таблица переходов автомата Мили.

В каждой строке таблицы записываются состояние a_m , из которого осуществляется переход в автомате, состояние a_s , в которое переходит автомат из состояния a_m , $X(a_m, a_s)$, $Y(a_m, a_s)$, – входной и выходной сигналы на переходе (a_m, a_s) . Если на переходе (a_m, a_s) выдается множество выходных сигналов $Y(a_m, a_s) = \{Y_1(a_m, a_s), \dots, Y_j(a_m, a_s), \dots, Y_J(a_m, a_s)\}$ под действием множества входных сигналов $X_{j1}(a_m, a_s), \dots, X_{jh}(a_m, a_s), \dots, X_{jH}(a_m, a_s)$, то в таблице последовательно перечисляются все пути перехода. Также записываются коды исходного состояния $K(a_m) = (T_{m1}, \dots, T_{ml})$; состояния перехода $K(a_s) = (T_{s1}, \dots, T_{sl})$, представляющие собой набор состояний элементарных элементов памяти микропрограммного автомата; $F(a_m, a_s)$ – множество обязательных функций возбуждения, изменяющих состояние элементов памяти и вырабатываемых на переходе (a_m, a_s) .

По структурной таблице переходов составляются система булевых уравнений логических функций для выходных сигналов, система булевых уравнений логических функций возбуждения. По системе уравнений минимизированных функций выходных сигналов и сигналов возбуждения элементов памяти составляется логическая схема цифрового автомата Мили.

Полученные граф-схема алгоритма и граф автомата Мили цифрового устройства являются основой для разработки управляющей программы, определяющей порядок функционирования устройства. Программа записывается в постоянное запоминающее устройство, выполняющее функцию памяти программ. В качестве языка алгоритмизации применяется граф автомата, основными преимуществами которого перед традиционными в программировании блок-схемами алгоритмов являются:

- введение в графической форме понятия «состояние» в практику алгоритмизации и программирования;
- отражение в наглядной форме динамики переходов управляющего автомата из одного состояния в другое при изменении входных воздействий с указанием всех выходных переменных, формируемых во время каждого перехода (автомат Мили);
- обеспечение формального и изоморфного перехода к тексту программы на различных языках программирования, что даёт возможность применения графа автомата в качестве сертификационного теста программного обеспечения.

Таким образом, применение микропрограммных автоматов Мили (Мура), позволяет формализовать и автоматизировать процесс проектирования цифровых логических устройств управления дугогасящих реакторов в сетях напряжением 6 – 10 кВ с целью обеспечения повышения эффективности компенсации емкостного тока.

Список использованных источников

1. Баранов С. И. Синтез микропрограммных автоматов. Л.: Энергия, 1979. 219 с.
2. Кудрявцев В. Б., Алешин С. В., Подколзин А. С. Введение в теорию автоматов. М.: Наука, 1985. 320 с.
3. Утегулов Б. Б., Шинтемиров А. М. Разработка микропроцессорных средств определения и способов компенсации токов однофазного замыкания на землю в электрических сетях 6–10 кВ. Павлодар, 2003. 156 с.
4. Лупал А. М. Теория автоматов: Учеб. пособие. СПб.: СПбГУАП. 2000. 119 с.
5. Утегулов Б. Б., Шинтемиров А. М. Разработка управляющего автомата Мили устройства автоматического определения тока однофазного замыкания на землю в электрической сети напряжением 6–10 кВ // Наука и техника Казахстана. Павлодар, 2003.