УДК 621.102 (035)

Драганов Б.Х., Каплун В.В., Козырский В.В.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

К ВОПРОСУ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Викладається метод оцінки надійності енергетичних систем на основі булевих функцій і алгебри логіки.

Излагается метод оценки надежности энергетических систем на основе булевых функций и алгебры логики.

The method of assessing the reliability of energy systems based on Boolean functions and the algebra of logic is expounded.

Повышение безопасности во всех областях всегда является одним из ведущих мотивов деятельности людей. Это особо актуально в настоящее время, когда приходится иметь дело со сложными по структуре системами, состоящими из многих элементов, некоторые подчиняющиеся детерминированным, а другие − стохастическим закономерностям. Они допускают возможность многократных комбинаций отказов элементов. К таким системам относятся и энергетические установки.

При исследовании безопасности соответствующих объектов и систем необходимо учитывать не только стандартные (проектные) условия их функционирования, но также возможность и нестандартных разрушающих воздействий, включая нарушения правил эксплуатации.

Процесс задания требований по надежности, предъявляемых к отдельным элементам системы, есть не только обеспечение условий безопасности, но также процесс оптимизации синтеза системы.

Анализ надежности сложной по структуре энергетической системы целесообразно проводить на основе положений алгебры логики.

Предварительно приведем некоторые определения, принятые в математической логике.

Функцию называют булевой, если она и ее переменные принимают только два значения. В качестве этих двух значений в математической логике рассматривают значения “истина” и “лож” или 1 и 0 [1].

Из определения булевой функции от n переменных следует, что областью определения булевой функции служит множество всех наборов из 0 и 1 длины n. Число различных наборов из 0 и 1 длины равно 2^n. Следовательно, число булевых функций, зависящих от n переменных, равно 2^{2n}. Также функции называются логическими функциями или функциями алгебры логики (ФАЛ) [2-4].

Пусть имеется логический оператор:

$$y = f(x_1, ..., x_n)\,, \tag{1}$$

где f − некоторая булева функция; $x_1,..., x_n$ − мгновенные значения воздействия и реакции в один и тот же произвольный момент времени t.

Задачи излучения операторов технических систем можно разделить на три типа [4].

1. Задача анализа оператора заключается в отыскании реакций $y(t)$ заданного оператора на заданные воздействия $x_1,..., x_n$.

2. Задача синтеза оператора состоит в построении оператора, преобразующего заданные воздействия $x_1,..., x_n$ в требуемую реакцию $y(t)$. Под построением оператора понимается какое-нибудь конструктивное его задание – абстрактное или структурное (абстрактный или структурный синтез).

3. Задача синтеза воздействий заключается в отыскании воздействий на оператор $x_1,..., x_n$ по заданным оператору G и его реакции $y(t)$.

Такие операции, как конъюнкция (логическое умножение), дизъюнкция (логическое сложение), отрицание, эквивалентность, импликация, соответствуют логическим функциям, которые обозначаются соответствующими знаками [5].

Конъюнкция двух высказываний А и В обозначается А $\wedge$ В.

Значения истинности логического произведения А $\wedge$ В определяется в зависимости от значений истинности высказываний А и В.

Дизъюнкция двух высказываний А и В обозначается А $\vee$ В. Значение истинности сложения определяется А $\vee$ В в зависимости от значений истинности высказываний А и В.

Рассмотрим несколько элементарных логических операторов. Такой оператор можно задать с помощью булевой функции, преобразующей мгновенное значение воздействий в любой момент t в мгновенное значение реакции, относящееся к тому же моменту.

Конъюнктор – двухместный оператор, преобразующий воздействия $x_1(t)$, $x_2(t)$ в реакцию $y(t)$ согласно конъюнкции

$$y = x_1 \wedge x_2. \tag{2}$$

Дизъюнктор – двухместный оператор, преобразующий воздействия $x_1(t)$, $x_2(t)$ в реакцию $y(t)$ согласно дизъюнкции

$$y = x_1 \vee x_2. \tag{3}$$

Инвертор – одноместный оператор, преобразующий воздействие $x(t)$ в реакцию $y(t)$ согласно булевой функции отрицания

$$y = \overline{x}\,. \tag{4}$$

Дизъюнктивный инвертор (оператор Вебба) – двухместный оператор, преобразующий воздействия $x_1(t)$, $x_2(t)$ в реакцию $y(t)$ согласно булевой функции “отрицание дизъюнкции”

$$y = \overline{x_1 \vee x_2}\,. \tag{5}$$

Конъюнктивный инвертор (оператор Шеффера) – двухместный оператор, преобразующий воздействия $x_1(t)$, $x_2(t)$ в реакцию $y(t)$ согласно булевой функции “отрицание конъюнкции”

$$y = \overline{x_1 \wedge x_2}\,. \tag{6}$$

Дизъюнктивный и конъюнктивный инверторы, строго говоря, не могут считаться элементарными операторами, так как они являются суперпозицией операторов (2-4). Однако на практике оба используются часто как элементарные операторы.

Элементарной конъюнкцией (дизъюнкцией) называют конъюнкцию (дизъюнкцию) переменных или их отрицаний, причем каждая переменная входит не более одного раза.

Функция алгебры логики, связывающие состояние элементов с состоянием системы [5]

$$y(x_1, x_2, ..., x_m) = y(x) \tag{7}$$

называют функцией работоспособности системы.

Для систем, у которых замена отказывающего элемента на исправленный, не может привести к отказу системы, функция работоспособности системы называется монотонной. Всякая функция алгебры логики, записанная через конъюнкцию и дизъюнкцию, задает некоторую монотонную функцию.

Функцию, записанную в виде матрицы, в которой конъюнкции обозначаются расположением логических символов в строке, а дизъюнкции – их расположением в столбце, называют логической матрицей.

Для монопольных структур функцию работоспособности системы $y(t)$ можно записать с помощью принципов кратчайших путей успешного функционирования и минимальных сечений отказов системы.

Кратчайший путь успешного функционирования системы представляет собой такую конъюнкцию ее элементов, ни одну из компонент которых нельзя изъять, не нарушив условия функционирования системы. Такую конъюнкцию можно записать в виде следующей функции алгебры логики [6]:

$$\Pi_i = \bigwedge_{i \in K_{\Pi i}} x_i\,, \tag{8}$$

где $K_{\Pi i}$ – множество номеров, соответствующих данному пути.

Следует, что это один из возможных вариантов выполнения задачи, стоящей перед системой, с помощью минимального набора работоспособных элементов, безусловно, необходимых для осуществления работы системы.

Минимальное сечение отказов системы представляет собой такую конъюнкцию из отрицаний ее элементов, ни одну из которой нельзя изъять, не нарушив условие работоспособности системы. Такую конъюнкцию можно записать в виде следующей функции алгебры логики:

$$S_i = \bigwedge_{i \in K_{Sj}} x_i^{'}, \tag{9}$$

где K_{Sj} – множество номеров, соответствующих данному сечению.

Другими словами, минимальное сечение отказов системы описывает один из возможных способов нарушения работоспособности системы с помощью минимального набора отказавших элементов.

Каждая избыточная система имеет конечное число кратчайших путей ($l = 1, 2,\ldots, m$) и минимальных сечений ($j = 1, 2,\ldots, n$). Используя эти понятия, можно по-разному записать условия работоспособности системы [7]:

- в виде дизъюнкции всех кратчайших путей успешного функционирования

$$y(x_1,...,x_m) = \bigvee_{l=1}^{m} \Pi_l = \bigvee_{l=1}^{m} \left[\bigwedge_{i \in K_l} x_i \right]; \tag{10}$$

- в виде конъюнкции отрицаний всех минимальных сечений отказов

$$y(x_1,...,x_m) = \bigvee_{j=1}^{n} S_j^{'} = \bigvee_{j=1}^{n} \left[\bigwedge_{i \in K_{Sj}} x_i \right]. \tag{11}$$

Выводы

Условия работоспособности реальной системы можно представить в виде условий работоспособности некоторой эквивалентной (в смысле надежности) системы, структура которой представляет параллельное соединение путей успешного функционирования, или другой эквивалентной системы, структура которой означает последовательное соединение отрицаний минимальных сечений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Владимиров Д.А*. Булевы алгебры. – М.: Матгиз, 1969.

2. *Новиков П.С.* Элементы математической логики, 2-е изд. М.: Матгиз, 1973.

3. *Надежность и эффективность* в технике: Справочник. В 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдуевский и др. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности / Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Машиностроение. – 1987.

4. *Левин В.И.* Логические методы в теории надежности. I. Математический аппарат. Вестн. ТГТУ. – 2009. Т. 15. – №4. – С. 873-884.

5. *Левин В.И*. Логические методы в теории надежности. II. Математические модели надежности // Вестник ТГТУ. 2010. Т. 16. №1. Левин В.И. Логические методы в теории надежности. С. 119-131.

6. *Рябинин И.А.* Расчет надежности систем со структурной избыточностью // Справочник в десяти томах “Надежность и эффективность в технике”. Т. 5. – М.: Машиностроение. 1988. – С. 58-101.

7. Рябинин А. Надежность и безопасность структурно сложных систем. Левин В.И. Логические методы в теории надежности. – Спб: Политехника, 2000. – 248 с.

Получено 04.02.2011 г.