

СЕКЦИЯ 3. Электроснабжение

УДК 620.004.5

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ВЫБОРА СХЕМ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Северин Л.А.

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор АНИЩЕНКО В.А.

Высокая надежность систем управления производственными объектами, выход из строя которых может привести к недопустимо большим последствиям, может быть достигнута путем структурного резервирования. Простейшая схема резервирования – дублирование – не позволяет идентифицировать отказавшую систему управления при несовпадении управляющих команд, выдаваемых обеими системами. В этих случаях применяются мажоритарные схемы резервирования «два из трех» или «три из пяти» («2 из 3» или «3 из 5»). В первой схеме в качестве достоверной принимается управляющая команда, одинаковая на выводах двух или всех трех параллельно работающих систем. В схеме «3 из 5» достоверной полагается команда одинаковая на выходах по меньшей мере трех из пяти параллельно работающих систем. Поставленная задача выяснить, какую из этих схем следует предпочесть.

Основными показателями, характеризующими надежность работы систем до наступления первого отказа или в промежутке между смежными отказами, являются вероятность $P(t)$ и среднее время T безотказной работы.

При экспоненциальном законе надежности каждого элемента система, составленная из n последовательно соединенных элементов, также подчиняется этому закону:

$$P(t) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^n \lambda_i\right);$$
$$T = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)^{-1}.$$

Интенсивность отказов такой системы Λ представляет собой сумму интенсивностей отказов элементов λ_i и постоянна во времени:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = \text{const}.$$

Системы с последовательным соединением элементов при большем среднем времени имеют и большую вероятность безотказной работы.

В отличие от них резервированные системы не подчиняются экспоненциальному закону надежности, т. е. интенсивности их отказов изменяются во времени. Это может привести к тому, что сравнение резервированных систем по показателям надежности $P(t)$ и T может дать разные ответы.

Логика расчета надежности системы управления, резервированной по мажоритарной схеме «2 из 3», описывается в теории булевой алгебры следующим образом:

$$Y = x_1 \cdot x_2 + x_1 \cdot x_3 + x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3,$$

где x_1, x_2, x_3 – события, заключающиеся в безотказной работе 1-й, 2-й, 3-й систем соответственно;

Y – событие, заключающееся в безотказной работе резервированной системы в целом.

Логика расчета надежности системы, резервированной в по мажоритарной схеме «3 из 5»:

$$Y = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_5 + x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 + x_1 \cdot x_3 \cdot x_5 + x_1 \cdot x_4 \cdot x_5 + \\ + x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 + x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 + x_2 \cdot x_4 \cdot x_5 + x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 + \\ + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_5 + x_1 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 + x_1 \cdot x_2 \cdot x_4 \cdot x_5 + x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5 + \\ + x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4 \cdot x_5.$$

При работе одинаковых систем ($\lambda_1 = \dots = \lambda_n = \lambda$) по схеме «2 из 3» вероятность безотказной работы:

$$P_{2/3}(t) = 3 \exp(-2\lambda t) - 2 \exp(-3\lambda t), \quad (1)$$

а среднее время безотказной работы:

$$T_{2/3} = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{3} \right). \quad (2)$$

Для схемы резервирования «3 из 5» имеем:

$$P_{3/5}(t) = 6 \exp(-5\lambda t) - 15 \exp(-4\lambda t) + 10 \exp(-3\lambda t); \quad (3)$$

$$T_{3/5} = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{1}{5} \right). \quad (4)$$

Результаты расчетов вероятностей безотказной работы по формулам (1) и (3) приведены на рисунке 1. В таблице 1 помещены результаты расчетов среднего времени безотказной работы по формулам (2) и (4).

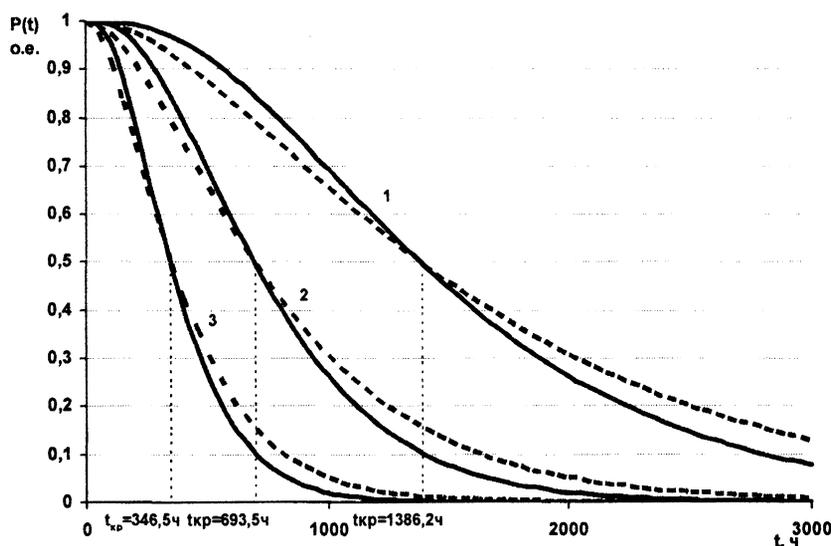


Рисунок 1. Результаты расчетов вероятностей безотказной работы:
 1 – $\lambda = 0,0005 \text{ ч}^{-1}$; 2 – $\lambda = 0,001 \text{ ч}^{-1}$; 3 – $\lambda = 0,002 \text{ ч}^{-1}$;
 ——— схема «3 из 5»; - - - - - схема «2 из 3»

Таблица 1

$\lambda, \text{ч}^{-1}$	0,0005	0,001	0,002
T, ч схема «2 из 3»	1666,667	833,3333	416,6667
T, ч схема «3 из 5»	1566,667	783,3333	391,6667

Если ресурс работы объекта меньше критического времени $t_{кр}$, схему резервирования целесообразно выбрать по критерию $P(t) \rightarrow \max$, т. е. схему «3 из 5». Выигрыш по вероятности отказа $Q(t)$, например, при $\lambda = 0,0005 \text{ ч}^{-1}$, $t = 200 \text{ ч}$ составит:

$$\frac{Q_{2/3}(200)}{Q_{3/5}(200)} = \frac{1 - P_{2/3}(200)}{1 - P_{3/5}(200)} = \frac{1 - 0,975}{1 - 0,993} \approx 3,5 \text{ раза.}$$

Если же ресурс превышает $t_{кр}$, предпочтительнее основываться на критерии $T \rightarrow \max$ и выбрать схему «2 из 3».

Окончательное решение принимается с учетом материальных затрат на резервирование.

Литература

1. Глазунов, Л.П., Грабовецкий, В.П., Щербakov, О.В. Основы теории надежности автоматических систем управления. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.

УДК 621.318

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНИЗМАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Белько В.В., Хверось А.Ю.

Научный руководитель – САЦУКЕВИЧ В.Н.

Использование компьютерных технологий позволяет быстро и качественно производить расчет электромагнитных механизмов и моделировать различные процессы, протекающие в них.

Разработанная программа предназначена для моделирования динамических процессов в электромагнитных механизмах постоянного тока (на примере контактора постоянного тока). Контакттор представляет собой электрический аппарат, предназначенный для коммутации силовых электрических цепей. Он имеет следующие основные узлы: контактную систему, дугогасительное устройство, электромагнит и систему вспомогательных контактов. При подаче напряжения на обмотку электромагнита контактора его якорь притягивается. Подвижный контакт, связанный с якорем электромагнита, замыкает или размыкает главную цепь. Дугогасительное устройство обеспечивает быстрое гашение дуги. В контакторах постоянного тока применяются электромагниты клапанного типа [1].

Исходными данными для работы программы являются следующие параметры электромагнита: напряжение питания, сила тяги, геометрические размеры, величины рабочего и паразитного зазоров.

В результате работы программы производится расчет параметров обмотки напряжения электромагнита, определяется тепловой режим, делается вывод о работоспособности электромагнита [2].

Главной особенностью программы является графическое моделирование работы контактора постоянного тока. При включении электромагнита моделируется процесс притяжения якоря. При этом подвижный контакт, связанный с якорем электромагнита, замыкает главную цепь. Если время включения обмотки электромагнита ограничено, то программа выдает сообщение об этом и моделируется процесс перегрева. Цвет обмотки