

ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ, РЕЗЕРВИРОВАННЫХ ПО СХЕМЕ С КВОРУМ-ЭЛЕМЕНТОМ

Е. Я. Иванченко, А. М. Кащич

Харьков

Резервирование устройств шахтной автоматики по схеме с кворум-элементом в ряде случаев является весьма рациональным [1]. Наибольшее распространение имеет так называемая схема «два из трех», представленная на рис. 1.

Согласно [2], среднее время безотказной работы устройства, резервированного по такой схеме,

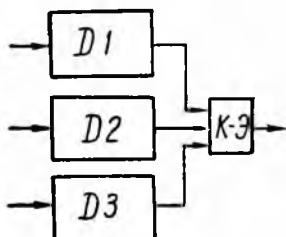


Рис. 1. Устройство, резервированное по схеме «два из трех»

$$T_p = \frac{5}{6} T_o, \quad (1)$$

где T_p ; T_o — среднее время безотказной работы соответственно резервированного и нерезервированного устройств.

Из (1) следует, что среднее время безотказной работы резервированного устройства меньше среднего времени безотказной работы нерезервированного. Однако из этого необычного факта не следует, что такое резервирование не повышает надежность изделия. Дело в том, что резервированное устройство является стареющим элементом, т. е. таким, у которого интенсивность отказов не остается постоянной, а монотонно возрастает [2]. Примерные зависимости вероятности безотказной работы резервированного и нерезервированного устройств изображены на рис. 2 (кривые 1, 2).

Монотонное возрастание интенсивности отказов резервированного устройства приводит к тому, что по истечении некоторого времени t_k вероятность безотказной работы его становится меньше вероятности безотказной работы нерезервированного устройства. Вероятность P_k , соответствующая времени t_k , является критической.

В связи с тем, что среднее время безотказной работы резервированного устройства определяется по формуле

$$T_p = \int_0^{\infty} P_p(t) dt, \quad (2)$$

а интеграл берется в пределах от 0 до ∞ , именно участок кривой $P_p(t)$ при $t > t_k$ и оказывается определяющим, а это приводит к тому, что резервированное устройство, являясь более надежным в течение времени $0 - t_k$, имеет меньшее среднее время безотказной работы.

Из этого следует, что резервирование с кворум-элементом повышает

надежность только тех устройств, вероятность безотказной работы которых больше критической, т. е. при $P_o > P_k$. Для устройств с одним видом отказов критическая надежность $P_k = 0.5$ [2].

Однако многие устройства могут иметь отказы двух видов: ложное срабатывание и несрабатывание, первое из которых будем называть отказом I вида, второе — II вида.

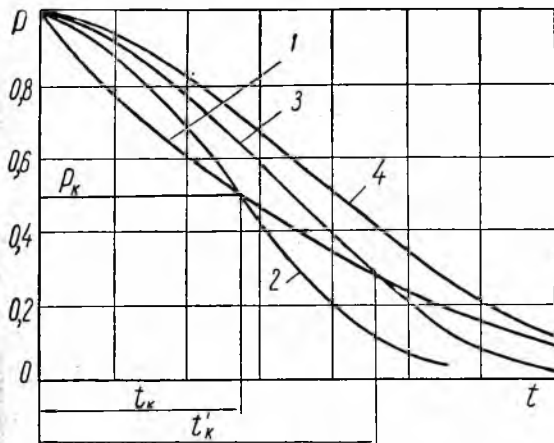


Рис. 2. Зависимости вероятности безотказной работы нерезервированного устройства при различных соотношениях между отказами:

2 — при одном виде отказов в устройстве; 3 — при наличии в устройстве двух видов отказов; 4 — при $\lambda_1 = \lambda_2$

При наличии в устройстве двух видов отказов значение критической надежности

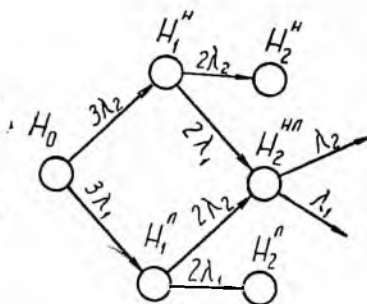


Рис. 3. Граф состояний устройства, резервированного по схеме «Два из трех» при наличии в нем двух видов отказов

ности P_k меняется с изменением соотношения между отказами. В связи с этим необходимо определить среднее время безотказной работы резервированного устройства для случая, когда в исходном устройстве могут иметь место отказы I и II вида. Практически это тем более необходимо, что резервирование с кворум-элементом применяется в основном при наличии в устройстве двух видов отказов и наиболее эффективно, когда эти отказы равновероятны [1]. Граф состояний устройства с двумя видами отказов, резервированного по схеме с кворум-элементом (два из трех), приведен на рис. 3. Здесь H_0 , H_1^H , H_1^H , H_2^H — состояния резервированного устройства, при которых соответственно все три устройства исправны; одно из них отказало, ложно сработав; одно из устройств отказало, не сработав и, наконец, отказало два устройства, причем одно из них не сработало, а другое сработало ложно.

Запишем систему дифференциальных уравнений, соответствующих этому графу состояний

$$\frac{dP_o(t)}{dt} = -3\lambda_1 \cdot P_o(t) - 3\lambda_2 P_o(t); \quad (3)$$

$$\frac{dP_1^H(t)}{dt} = 3\lambda_1 P_o(t) - 2\lambda_1 P_1^H(t) - 2\lambda_2 P_1^H(t);$$

$$\frac{dP_1^H(t)}{dt} = 3\lambda_2 P_o(t) - 2\lambda_2 P_1^H(t) - 2\lambda_1 P_1^H(t); \quad (4)$$

$$\frac{dP_2^{HH}(t)}{dt} = 2\lambda_2 P_1^H(t) + 2\lambda_1 P_1^H(t) - \lambda_1 P_2^{HH}(t) - \lambda_2 P_2^{HH}(t),$$

где $P_0(t)$; $P_1^I(t)$; $P_1^H(t)$; $P_2^{HI}(t)$ — вероятности пребывания резервированного устройства в состояниях H_0 ; H_1^I ; H_1^H ; H_2^{HI} соответственно;

λ_1, λ_2 — (интенсивности отказов I и II вида).

Поскольку отказ устройства, резервированного по схеме с кворум-элементом, наступает в том случае, когда два из трех устройств не сработают или же сработают ложно, вероятность безотказной работы его.

$$P_D(t) = P_0(t) + P_1^I(t) + P_1^H(t) + P_2^{HI}(t). \quad (5)$$

Для определения $P_D(t)$ необходимо, решив систему уравнений (4), определить все вероятности, входящие в правую часть уравнения (5). Так как наибольшая вероятность безотказной работы при резервировании с кворум-элементом достигается в том случае, когда отказы I и II видов в устройстве равновероятны [1], то для определения величины максимальной вероятности безотказной работы систему уравнений (4) следует решать при $\lambda_1 = \lambda_2$.

При этом условии система уравнений упрощается. Решив ее, получим

$$P_0(t) = e^{-3\lambda_0 t};$$

$$P_1^I(t) = P_1^H(t) = \frac{3}{2} (-e^{-3\lambda_0 t} + e^{-2\lambda_0 t}); \quad (6)$$

$$P_2^{HI}(t) = \frac{3}{2} (e^{-3\lambda_0 t} - 2e^{-2\lambda_0 t} + e^{-\lambda_0 t}),$$

где $\lambda_0 = \lambda_1 + \lambda_2$ — интенсивность отказов вообще в нерезервированном устройстве.

Подставляя затем (6) в (2), определяем среднее время безотказной работы резервированного устройства при условии $\lambda_1 = \lambda_2$. После преобразований и упрощений

$$T_D^I = 1 \frac{1}{3} T_0, \quad (7)$$

где T_D^I — среднее время безотказной работы резервированного устройства при $\lambda_1 = \lambda_2$.

Этот результат можно получить и другим способом. Согласно [1], максимальная вероятность безотказной работы при резервировании с кворум-элементом, достигаемая при $\lambda_1 = \lambda_2$

$$P_D(t) = 1 - [1,5q^2(t) - 0,5q^3(t)], \quad (8)$$

где $q = 1 - e^{-\lambda_0 t}$ — вероятность отказа нерезервированного устройства. Подставив (8) в (2), после преобразований получим

$$T_D^I = 1 \frac{1}{3} T_0.$$

Помимо этого из (7) и (8) следует, что при $\lambda_1 = \lambda_2$ резервированное устройство всегда надежнее нерезервированного (рис. 2, кривая 4), т. е.

$$P_D(t) > P_0(t).$$

ВЫВОДЫ

1. Для устройств, резервированных по схеме с кворум-элементом, формула (1) справедлива лишь в том частном случае, когда исходное устройство имеет один вид отказов.

2. В общем случае справедливо соотношение

$$\frac{5}{6} T_0 \leq T_p \leq 1\frac{1}{3} T_0,$$

т. е. в зависимости от соотношения отказов в исходном устройстве среднее время безотказной работы резервированного изменяется в указанных пределах. При этом левое равенство справедливо при $\lambda_1 = 0$; $\lambda_2 \neq 0$ или $\lambda_2 = 0$; $\lambda_1 \neq 0$, а правое — при $\lambda_1 = \lambda_2$.

3. Поскольку резервирование с кворум-элементом наиболее рационально и применяется в основном при условии $\lambda_1 \approx \lambda_2$, то в большинстве случаев оказывается справедливой формула (7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Я. Иванченко, А. М. Качич. Резервирование с кворум-элементом в системах шахтной автоматики. «Известия вузов Горный журнал», № 3, 1966.
 2. А. М. Половко. Основы теории надежности. Изд-во «Наука», 1964.
-