

## ДИАГНОСТИКА В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Приводится аргументация необходимости использования систем внутренней диагностики в микропроцессорных системах железнодорожной автоматики и телемеханики. Рассматриваются показатели надежности одноканальной нерезервированной и двухканальной систем без периодического контроля и с периодическим контролем исправности элементов.

**В** настоящее время в основном на Белорусской железной дороге применяются системы централизации стрелок и сигналов, использующие в качестве основной элементной базы электромагнитные реле. Реле как элементная база электрической централизации физически и морально устарела. Современные системы управления движением поездов используют микропроцессорную технику.

Опыт эксплуатации компьютерных систем управления на железных дорогах мира показал их эксплуатационные и технические преимущества перед традиционными релейными системами. Стратегия технического перевооружения хозяйства СЦБ в области управления процессами перевозок с заменой релейных систем ЭЦ, ДЦ на микропроцессорные позволяет оптимизировать процесс управления перевозками, уменьшить эксплуатационные затраты и повысить безопасность движения поездов.

Микропроцессорные системы в качестве объектов управления используют традиционные системы СЦБ нижнего уровня, такие как напольные устройства СЦБ, исполнительные схемы, обеспечивающие безопасность реализации поступающих команд. Концепция схемотехнических решений таких устройств направлена на безопасное их поведение при возникновении отказов (переход в защитное состояние).

В процессе эксплуатации технического объекта необходимо контролировать его работоспособность. Осуществляется это за счет внедрения систем диагностики и мониторинга.

Современные технические средства позволяют получать и обрабатывать большие объемы информации, что с привлечением программных алгоритмов позволит определять предотказное состояние исполнительных устройств по различным критериям оценки, а это позволит локализовать постепенные отказы, выявить их на стадии «зарождения». В микроэлектронной и микропроцессорной технике, как правило, отказы носят случайный характер. По этой причине выявление предотказного состояния практически невозможно. Отказы функционирования таких устройств связаны в основном с негативными проявлениями физических процессов в микроэлектронной технике, такими как: заводские дефекты изготовления микросхем и электронных компонентов; превышение пределов питающего напряжения модулей; импульсные электрические и грозовые разряды; образование перемычек, приводящих к замыканиям на токоведущих магистралях; пробой изоляции в кроссовых соединениях; старение электронных компонентов; длительные нарушения температурных, вибрационных и радиационных режимов

работы электроники и т. д. Поэтому в любых системах предусматривается многоканальное (двукратное и трехкратное) резервирование аппаратуры и линий связи и другие схемные решения, позволяющие продолжать нормальное функционирование системы с исключением влияния отказавших элементов.

Далее рассмотрим показатели надежности и безопасности одноканальной нерезервированной и двухканальной систем в периоде нормальной эксплуатации, а также изменение данных показателей при введении диагностирования в виде периодического контроля исправности элементов.

Если известна интенсивность отказов  $\lambda$  одного канала, то, согласно [1], показатели безотказности рассчитываются по формулам

$$P_{1v1}(t) = e^{-\lambda t}; \quad (1)$$

$$Q_{1v1}(t) = 1 - e^{-\lambda t}; \quad (2)$$

$$T_{1v1} = \frac{1}{\lambda}. \quad (3)$$

Из формулы (1) следует, что вероятность безотказной работы  $P(t)$  убывает по экспоненциальному закону и по истечении времени  $T = \frac{1}{\lambda}$  уменьшается в  $e$  раз.

Если в двухканальной системе "два из двух" оба канала идентичны ( $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$ ), то ее показатели безотказности определяются по формулам

$$P_{2v2}(t) = P_1(t)P_2(t) = e^{-2\lambda t}; \quad (4)$$

$$Q_{2v2}(t) = 1 - e^{-2\lambda t}; \quad (5)$$

$$\lambda_{2v2}(t) = 2\lambda; \quad (6)$$

$$T_{2v2} = \frac{1}{2\lambda}. \quad (7)$$

Таким образом, в области малых значений  $\lambda t$  ( $\lambda t \ll 1$ ), вероятность отказа в двухканальной системе увеличилась примерно в 2 раза, а средняя наработка до отказа уменьшилась в два раза.

Показатели безопасности системы "два из двух", согласно [1] вычисляются по формулам

$$Q_{он2v2}(t) = Q_1(t)Q_2(t) = (1 - e^{-\lambda t})^2; \quad (8)$$

$$P_{Б2v2}(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^2 = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}; \quad (9)$$

$$\lambda_{он2v2}(t) = -\frac{P'_{Б2v2}(t)}{P_{Б2v2}(t)} = \frac{2\lambda(1 - e^{-\lambda t})}{2 - e^{-\lambda t}}; \quad (10)$$

$$T_{\text{он}2\vee 2} = \int_0^{\infty} P_{\text{Б}2\vee 2}(t) dt = \int_0^{\infty} (2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}) dt = \frac{3}{2\lambda}. \quad (11)$$

Так, если рассматривать систему с интенсивностью отказов в одном канале  $\lambda = 10^{-7}$  1/ч на протяжении работы в  $t = 10000$  ч, то получим, что по сравнению с одноканальной системой, вероятность опасного отказа двухканальной системы уменьшилась в 1000 раз, а средняя наработка до опасного отказа увеличилась в полтора раза.

Применение систем с постоянным резервированием дает наибольший выигрыш надежности и безопасности в области малых значений  $\lambda$ . С ростом же данной величины эффект от резервирования существенно падает. Интенсивность отказов возрастает и стремится в пределе к интенсивности отказов нерезервированной системы.

Еще одним средством повышения безопасности в этом случае является организация периодического контроля исправности элементов.

Контроль исправности вычислительных каналов может осуществляться непрерывно во времени в процессе рабочего функционирования в течение некоторого периода диагностирования  $\tau_d$  или дискретно периодически через время  $\tau_d$  за специально отведенный для этого достаточно малый промежуток времени, когда осуществляется тестовое диагностирование аппаратуры. Если в результате процедуры контроля системы установлен факт неисправности хотя бы одного канала системы, то она больше не используется по назначению. Ее выходы отключаются от объектов управления, и система переходит в необратимое защитное состояние.

Задача по выявлению данных отказов должна возлагаться на системы технической диагностики, реализация которых должна быть обязательной в структуре микропроцессорных систем управления перевозочным процессом.

Таким образом все время работы системы разбивается на малые промежутки времени  $\tau_d$  между диагностическими воздействиями. Величина  $\lambda_{\text{оп } s(t)}$  изменяется от 0 в начале периода диагностирования до значения  $\lambda_{\text{оп max}}$  в конце периода. Для систем "2  $\vee$  2" при  $\lambda\tau_d \ll 1$  имеем

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{оп max } 2\vee 2}(t) &= \frac{2\lambda(1 - e^{-\lambda\tau_d})}{2 - e^{-\lambda\tau_d}} \approx \frac{2\lambda \cdot \lambda\tau_d}{2 - 1 + \lambda\tau_d} = \\ &= \frac{2\lambda^2\tau_d}{1 + \lambda\tau_d} \approx 2\lambda^2\tau_d \end{aligned} \quad (12)$$

В моменты времени  $\tau_d, 2\tau_d, \dots, k\tau_d$  величина  $\lambda_{\text{оп } s(t)}$  становится равной нулю, если все элементы резервированной системы исправны к этому моменту времени и если наработка до отказа имеет экспоненциальное распределение.

Далее рассчитаем величину  $Q_{\text{он}}(t)$  для системы "2  $\vee$  2" с периодическим контролем за время  $t = n\tau_d$ . Обозначим:  $p_{\text{Б}}(\Delta\tau_d)$  – вероятность безотказной работы системы "2  $\vee$  2" за время периода диагностирования  $\Delta\tau_d$  при условии, что в начале периода система была исправна.

Величину  $Q_{\text{он}}(t)$  найдем через противоположное событие:

$$Q_{\text{он}}(t) + \bar{Q}_{\text{он}}(t) = 1. \quad (13)$$

Противоположным же событием будет являться отсутствие опасного отказа во всех интервалах между диагностическими воздействиями. Также введем допущение, что любой отказ в системе будет опасным и при этом каждый из отказов будет обнаруживаться. Вероятность данного события

$$\bar{Q}_{\text{он}}(t) = (p_{\text{Б}}(\Delta\tau_d))^k. \quad (14)$$

Согласно (9) имеем

$$p_{\text{Б}}(\Delta\tau_d) = 2e^{-\lambda\Delta\tau_d} - e^{-2\lambda\Delta\tau_d}. \quad (15)$$

Подставляя (15) в (14), получаем

$$\bar{Q}_{\text{он}}(t) = (2e^{-\lambda\Delta\tau_d} - e^{-2\lambda\Delta\tau_d})^n. \quad (16)$$

Тогда

$$Q_{\text{он}2\vee 2}(t) = 1 - (2e^{-\lambda\Delta\tau_d} - e^{-2\lambda\Delta\tau_d})^n. \quad (17)$$

Еще раз рассмотрим систему "2  $\vee$  2" с интенсивностью отказов одного канала  $\lambda = 10^{-7}$  1/ч. Для  $t = 10000$  ч величина  $Q_{\text{он}}(t) = 9,990006 \cdot 10^{-7}$ . Организуем диагностирование этой системы через каждый час работы системы, т.е.  $\tau_d = 1$  ч и  $n = 10000$ . Тогда имеем, согласно формуле (17),

$$Q_{\text{он}2\vee 2}(t) = 9,880985 \cdot 10^{-11}.$$

Таким образом, произошло уменьшение вероятности опасного отказа примерно в 10100 раз.

Как видно, величина  $Q_{\text{он}}(t)$  при наличии периодического контроля уменьшается примерно в  $n$  раз, где  $n$  – число периодов диагностирования за время  $t$ .

Усложнение микропроцессорных систем управления современных микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики и возрастание ответственности решаемых ими задач выдвигают на передний план проблему оптимальной организации эксплуатации этих объектов, контроль и диагностирование. Важную роль при этом отводят созданию высокоэффективных систем диагностирования, которые выполняют функции определения и обеспечения работоспособности технических объектов, а также определения области отказа, для сокращения времени восстановления и повышения коэффициента готовности микропроцессорных систем.

В процессе создания систем диагностирования знания о них, закладываемые в алгоритмы, программы и технические средства диагностирования, часто оказываются недостаточными для обеспечения требуемого уровня готовности объекта диагностирования в процессе его эксплуатации.

Разработка технических средств диагностирования (ТСД) микропроцессорных средств управления объектами до сих пор ведется без какой-либо систематизации

и анализа процесса взаимодействия объекта диагностирования и ТСД в системе диагностирования, большинство технических решений принимается на интуитивной основе.

Перед тем как приступить к построению ТСД, необходимо обоснованно сформулировать требования к техническим средствам, которые будут служить исходной информацией для дальнейшего процесса их проектирования в системе диагностирования. Данные же требования к ТСД определяются на этапе составления технического задания.

Получено 12.05.2014

**V. V. Shkurynau.** Diagnostics in microprocessor systems of railway automatic equipment and telemechanics.

The argumentation of need of use of systems of internal diagnostics is provided in microprocessor systems of railway automatic equipment and telemechanics. Indexes of reliability of single-channel nonredundant and dual-channel systems without periodic monitoring and with periodic monitoring of operability of elements are considered.

Таким образом, эффективность микропроцессорных систем управления во многом определяется составом и свойствами используемых технических средств диагностирования.

#### Список литературы

1 Сапожников, В. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Шаманов; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.