

Надежность резервированных систем с тремя состояниями

АНИЩЕНКО В.А.

Белорусский национальный технический университет

Системы с тремя состояниями формируются из элементов, которые могут находиться в одном из трех состояний: исправном, иметь отказы вида «обрыв» или «замыкание». Типичными примерами являются релейная защита и противоаварийная автоматика, различные электронные устройства, регулируемые клапаны, изменяющие расходы жидкостей, пара, газа.

Надежность систем можно повысить, применяя более надежные, но дорогие элементы, и путем их структурного резервирования. Элементы с тремя состояниями могут образовывать различные схемы резервирования: с последовательным, параллельным, последовательно-параллельным, параллельно-последовательным и смешанным соединением элементов. Выбор оптимальной схемы предлагается производить по критерию

$$F_j = P_0 \Delta P_j - n_j c = \max; \quad j = 1, \dots, m,$$

где P_0 – относительное приращение производственного эффекта от повышения надежности на одну относительную единицу; ΔP_j – повышение вероятности безотказной работы устройства в результате резервирования; n_j – число резервных элементов; c – стоимость одного элемента; m – число рассматриваемых схем резервирования.

Вероятности безотказной работы схем определяются по выражениям, основанным на биномиальном разложении

$$(p + q_0 + q_s)^{(n_j+1)} = 1,$$

где p – вероятность безотказной работы одного элемента; q_0 и q_s – вероятности его отказов видов «обрыв» и «замыкание».

Последовательное и параллельное дублирование элемента с равновероятными отказами не влияет на вероятность безотказной работы устройства, но приводит к перераспределению вероятностей разноименных отказов. Поэтому дублирование имеет смысл только для устройств, на надежность которых влияют отказы одного определенного вида. В устройствах релейной защиты и противоаварийной автоматики перспективны мажоритарные схемы резервирования «2 из 3» с двумя и «3 из 5» с четырьмя дополнительными промежуточными реле. Они существенно повышают надежность в отношении как замыкания, так и размыкания электрической цепи. Построена номограмма, определяющая области эффективности применения мажоритарных резервированных схем.