

## Математическая модель надежности релейно-контактных систем

Анищенко В.А., Бакун Т.А.

Белорусский национальный технический университет

Повышение надежности систем без изменения надежности отдельных элементов производится структурным резервированием. В случае релейно-контактных систем резервирование может как повысить, так и понизить их надежность. Это зависит от преобладающего типа отказов и числа элементов, а также от топологии системы. В общем случае возможны пять реакций релейно-контактных элементов в процессе их функционирования:

1) нормальная работа с вероятностью  $p_i$ ; 2) отказ типа «обрыв» при включении входного сигнала с вероятностью  $q_{io}$ ; 3) отказ типа «замыкание» при выключении входного сигнала с вероятностью  $q_{is}$ ; 4) самопроизвольное замыкание контактов при отсутствии входного сигнала с вероятностью  $r_{is}$ ; 5) самопроизвольное размыкание контактов при наличии входного сигнала с вероятностью  $r_{io}$ .

Отказы типов «обрыв» и «замыкание» вызываются внутренними причинами и характеризуют надежность элементов без учета их функционирования в реальных условиях. Самопроизвольные срабатывания элементов обусловлены внешними факторами, например, воздействием электромагнитных помех при несоблюдении требований по электромагнитной совместимости, некачественным монтажом или неблагоприятными условиями окружающей среды (вибрации и др.)

Выражения для соответствующих вероятностей реакций системы  $P$ ,  $Q_o$ ,  $Q_s$ ,  $R_o$ ,  $R_s$  основаны на биномиальном разложении Ньютона:

$$\prod_{i=1}^n (p_i + q_{io} + q_{is} + r_{is} + r_{io}) = 1,$$

где  $n$  – число элементов в системе.

Для параллельного соединения идентичных элементов получаем:

$$P = (1 - q_s)^n + (1 - r_s)^n - q_o^n - r_o^n - 1; \quad Q_o = q_o^n; \\ Q_s = 1 - (1 - q_s)^n; \quad R_o = r_o^n; \quad R_s = 1 - (1 - r_s)^n.$$

Для последовательного соединения идентичных элементов:

$$P = (1 - q_o)^n + (1 - r_o)^n - q_s^n - r_s^n - 1; \quad Q_s = q_s^n; \\ Q_o = 1 - (1 - q_o)^n; \quad R_s = r_s^n; \quad R_o = 1 - (1 - r_o)^n.$$

Параллельное резервирование снижает вероятности отказа типа «обрыв» ( $Q_o$ ) и самопроизвольного размыкания релейно-контактной системы ( $R_o$ ), но повышает вероятности отказов типа «замыкание» ( $Q_s$ ) и самопро-

звольного замыкания системы ( $R_s$ ). При последовательном соединении элементов  $Q_o$  и  $R_o$  увеличиваются, а  $Q_s$  и  $R_s$  уменьшаются.

УДК 621.32

### Достоверность и точность измерений электрической энергии

Анищенко В.А., Худик В.Д.

Белорусский национальный технический университет

Основное усилие в обеспечении достоверности и точности измерений электрической энергии направляется на совершенствование технических средств. Вместе с ним имеются дополнительные возможности решения этой задачи, использующие избыточную информацию об измеряемой электроэнергии. Источником этой информации являются уравнения взаимных связей между показаниями электросчетчиков, отражающие топологию схем электрических соединений. Сравнение фактических небалансов уравнений связи  $\Delta_{j\text{факт}}$  с их допустимыми приемлемыми значениями  $\Delta_{j\text{доп}}$  позволяет выявить подозреваемые в недостоверности результаты измерений. Условия достоверности имеют вид

$$|\Delta_{j\text{факт}}| \leq \Delta_{j\text{доп}}, \quad j = 1, 2, \dots, r;$$

где  $r$  – число независимых и зависимых уравнений связи.

Фактические небалансы определяются подстановкой в уравнения связи измерений электроэнергии  $\bar{w}_i$ :

$$\Delta_{j\text{факт}} = \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot \bar{w}_i, \quad j = 1, 2, \dots, r;$$

где  $n$  – число измерений;  $a_{ij}$  – коэффициенты, значения которых (1,0,-1) зависят от топологии электрической схемы и направлений потоков электроэнергии.

Предельные значения допустимых небалансов рассчитываются в зависимости от относительных допустимых погрешностей измерений  $\delta_i$  и показаний электросчетчиков  $\bar{W}_i$ :

$$\Delta_{j\text{доп}} = \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \cdot (\delta_i \bar{W}_i)^2 \right)^{1/2}, \quad j = 1, 2, \dots, r.$$

Следующим этапом контроля достоверности является локализация недостоверных измерений и замещение их наиболее вероятными значениями. Реализация методов контроля достоверности и повышения точности измерений электроэнергии, использующая топологическую избыточность схем