



УДК:. 621.316.8 – 027.45.001.63

## ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИЛОВОГО РЕЗИСТОРА УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ЭТАПЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

ИМАНАКУНОВА Ж.С.  
КГТУ им. И. Раззакова  
izvestiya@ktu.aknet.kg

*Приводится сравнительный анализ конструкций силовых резисторов с точки зрения их надежности и их оценка на этапе проектирования*

*Comparative analysis of decisions of power resistors from the point of view of their reliability and their assessment of a design stage is provided.*

**Введение.** Исторически сложилось так, что первые российские нормативные документы в области количественного вероятностного анализа надежности энергетических установок их систем были разработаны в области ядерных энергетических установок (ЯЭУ).

Дальнейшее развитие методов количественного анализа надежности ЯЭУ показало, что многие исходные положения и основные математические методы обоснования надежности установок, их систем и элементов, используемые в практике ядерной энергетики, в значительной мере годятся и для обычных энергетических установок, их составных частей и элементов [1]. В данной работе при анализе надежности силовых резисторов (СР) использованы эти методы.

**Цель работы.** Обоснования надежности силовых резисторов усовершенствованной конструкции.

**Метод исследования.** СР находят все более широкое применение в электротехнике и электроэнергетике. Они выполняют ответственные функции защиты, управления и регулирования [2]. Недостатком существующих силовых резисторов является то, что они в силу своих конструктивных особенностей (рис. 1а), имеют нерегулируемую величину сопротивления.

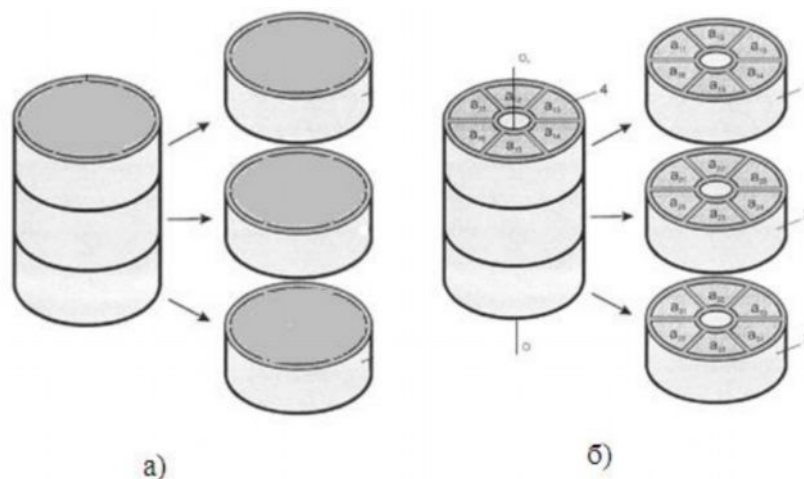


Рис. 1. Резистивные элементы силовых резисторов:  
 а) галетный РЭ [2]; б) дисковый РЭ [3]

Предложенная в работе [3] конструкция силового резистора (рис.1 б) позволяет получить устройство с управляемыми значениями электрического сопротивления. Возможность управления связана с много - вариантностью расположения активных частей  $a_{ij}$  (4) резистивных дисков (1, 2, 3). Изменение вариантов расположения активных частей  $a_{ij}$ , торцы которых для надежного электрического контакта металлизированы алюминием, реализуется путем вращения дисков вокруг их оси  $OO_1$ . Каждая из активных частей  $a_{ij}$  резистора имеет различное электрическое сопротивление и изготовлена из термо – и нагревостойких композиционных материалов, которые заключены также в механически прочную нагревостойкую диэлектрическую оболочку.

Так как, по силовым резисторам рассмотренной конструкции, отсутствуют статистических данных о показателях надежности, мы их можем количественно оценить косвенным способом (закрывающиеся в оценке показателей надежности СРУК исходя из его структурной схемы и надежности составляющих ее элементов). Следуя [1] управления надежностью СРУК на этапе проектирования можно представить в виде следующей схемы (рис.2).

На этапе проектирования звено 1 «оценка» представляет собой выполнение прогнозного расчета надежности СР, в этом звене последовательно выполняются три типа задач: 1.1. Выбор номенклатуры показателей надежности; 1.2. Сбор необходимых для их прогнозной оценки исходных данных, в частности, по надежности составляющих элементов аналогов изделия и его составных частей; 1.3. Оценка надежности в результате структурного количественного анализа надежности СР при заданных показателях надежности составляющих элементов, их функциональных связях, режимах использования.



Рис. 2. Схема управления надежностью СР на этапе проектирования

В звене 2 «контроль» реализует специальная математическая процедура проверки о соответствии прогнозируемой оценки надежности изделия предъявляемым количественным требованиям (нормам) с учетом того, что оценка объективно неточная. Следует отметить что для этого звена предварительно решается задача 2.1 сущность которого заключается в установлении нормы и количественного требования к надежности изделия.

В звене 3 анализируются факторы и пути целенаправленного изменения надежности. В частности, выполняется количественный анализ надёжности возможных вариантов изделия, отличающихся от исходного структурными (например, резервированием) или конструктивными (новые материалы, технология, принципы действия) изменениями. Для этого сначала выявляется и формируется предпочтительный ряд таких вариантов. Результаты по данному звену служат основной исходной информацией для звена 4.

**Результаты обсуждения.** Проведем сравнительный анализ надежности силовых резисторов (рис.1).

Чтобы получить представительную информацию о надежности СР необходимо обследовать достаточно большое их количество за длительный промежуток времени. В реальных условиях это вызывает определенные трудности, поэтому ускоренные испытания на надежность можно осуществить с помощью математического моделирования.

Моделью надежности для совокупности взаимосвязанных элементов (таких, как для СР, показанных на рис. 1а) является простейшая схема с точки зрения теории надежности, схема когда отказ одного элемента вызывает отказ всей системы, но не изменяет надежность других элементов (рис. 3). Такая структура в теории надежности представляется **последовательным соединением элементов** [4].

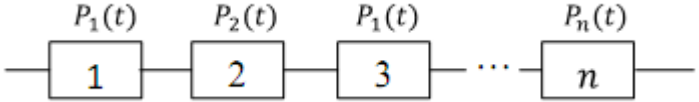


Рис. 3. Структурная схема надежности системы с последовательным соединением элементов

Вероятность безотказной работы такой системы определяется как вероятность безотказной работы всех элементов в течение времени  $t$  [4]:

$$P(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t),$$

где  $P_i(t)$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента.

Выразив  $P_i(t)$  через параметр потока отказов, получим

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \omega(x) dx\right] = \prod_{i=1}^n \exp\left[-\int_0^t \omega_i(x) dx\right] = \exp\left[-\sum_{i=1}^n \int_0^t \omega_i(x) dx\right],$$

откуда

$$\omega(t) = \sum_{i=1}^n \omega_i(t).$$

Структурой с **параллельным соединением** [4] элементов (рис. 4) моделируется силовой резистор (рис. 1б) в общем случае из  $n$  элементов, в которой для нормальной работы необходимо  $r$  элементов, а  $(n - r)$  элементов являются резервными.

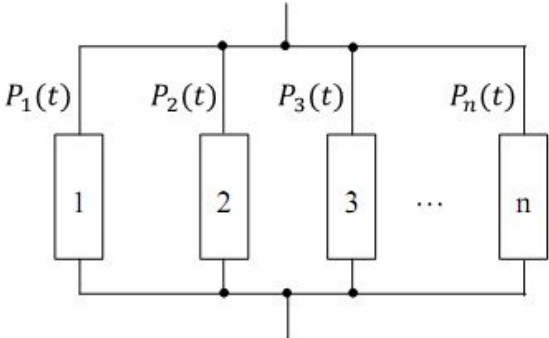
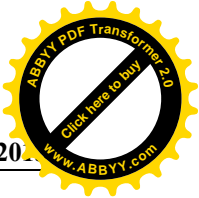
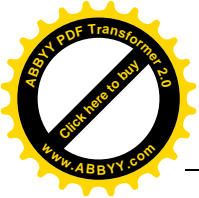


Рис. 4. Структурная схема надежности СР усовершенствованной конструкции



Пока число резервных элементов превышает число отказавших, система работоспособна. Таким образом, условие отказа имеет вид:

$$m - 1 = n - r.$$

Вероятность отказа СР определяется как вероятность совпадения отказов  $m = (n - r + 1)$  элементов в течение расчетного времени.

Если отказы одного элемента независимы от отказов других элементов, то формулы для оценки вероятности безотказной работы или вероятности отказа СР можно получить, сформировав сумму произведений вероятностей  $Q_i(t)$  и  $P_i(t)$  на основе произведения  $n$  биномов  $[P_i(t) + Q_i(t)] = 1, [4]:$

$$\prod_{i=1}^n [P_i(t) + Q_i(t)] = [P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t)] + [Q_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t)] + \dots + [Q_1(t) \cdot Q_2(t) \cdot \dots \cdot Q_n(t)]$$

Выбрав из этой суммы члены со значением  $Q_i(t) \geq m$ , можно сформировать из них выражение для вероятности отказа. Выбрав же члены со значением  $Q_i(t) < m$ , можно сформировать из них выражение для вероятности безотказной работы силового резистора.

При условии равной надежности элементов получим: (4)

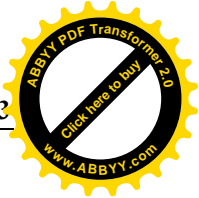
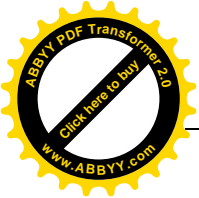
$$Q(t) = \sum_{k=r}^n C_n^k P^{n-k}(k) Q^k(t)$$
$$Q(t) = \sum_{k=r}^n C_n^k P^k(k) Q^{n-k}(t),$$

где  $C_n^k = \frac{n!}{(n-k)!k!}$ .

**Выводы.** Более высокая надежность силового резистора усовершенствованной конструкции будет соблюдаться при условии взаимонезависимости отказов элементов и если при изменении числа находящихся в работе элементов не наблюдается их значительной перегрузки. Таким образом, СР с параллельным соединением элементов является *резервированной системой*, т.е. отказ одного или нескольких элементов не вызывает отказа всей системы. Рассмотренное резервирование является постоянным, так как в работе постоянно находятся все элементы, и СР не отказывают до выхода из строя определенного их числа.

### Литература

1. Клемин А. И. Надежность ядерных энергетических установок: Основы расчета. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 34 с.: ил.
2. Врублевский Л. Е., Зайцев Ю.В., Тихонов А. И. Силовые резисторы –М.: Энергоатомиздат, 1991, – 256 с.: ил.



3. Патент КР № 1030. Силовой резистор с управляемой вольтамперной характеристикой и величиной сопротивления / К.А. Сатаркулов и др. // 2008.

4. Шеметов А.Н. Надежность электроснабжения: учебное пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение». – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006.