

Лекция № 6 Методы повышения надёжности ЭТО

Системы, состоящие из подсистем, которые могут быть выделены по функциональным и пространственным признакам, имеют структуру. Если система состоит из подсистем e_1, e_2, e_i, e_n , которые называют элементами, то она также как и элементы может находиться либо в работоспособном состоянии, либо в состоянии отказа.

Состояние системы однозначно определяется состоянием её элементов и зависит от её структуры.

Разбиение системы на блоки осуществляется на базе единства функционирования и физических процессов, происходящих при работе изделия.

С точки зрения надёжности различают последовательные, параллельные и системы со сложной структурой.

Расчёт надёжности при последовательном (основном) соединении элементов

- при таком соединении отказ технического изделия наступает при отказе одного из его узлов. Электрическая машина в большинстве случаев представляется в виде последовательного соединения узлов.

Случайная наработка последовательной системы, состоящей из N узлов

$$T = \min\{t_1, t_2 \dots t_i \dots t_N\} \quad (1)$$

где t_i – наработки элементов системы.

Отсюда

$$P(T < t) = P(t_1 < t \dots t_N < t) = P(t_1 < t) \dots P(t_N < t) \quad (2)$$

p_1, \dots, p_i – надёжность отдельных узлов (N – количество узлов) изделия, тогда надёжность всей системы:

$$P_c = p_1 p_2 \dots p_N = \prod_{i=1}^N p_i \quad (3)$$

Интенсивность отказов последовательной системы равна сумме интенсивностей отказов её элементов

$$\lambda(t) = \lambda_1(t) + \dots + \lambda_N(t) \quad (4)$$

Пример:

Какова вероятность безотказной работы машины постоянного тока, структурная надежность которой состоит из коллекторно-щеточного узла ($p_k = 0,92$), подшипникового узла ($p_n = 0,95$); обмоток якоря ($p_я = 0,99$) и обмоток возбуждения ($p_в = 0,99$). Все данные приведены для $t=5000$ ч.

Работоспособность последовательной системы требует работоспособности всех её элементов, системы которые не обладают этим свойством называются *структурно-избыточными*.

Для повышения надежности систем и элементов применяют резервирование:

Резервирование – это применение дополнительных средств и(или) возможностей с целью сохранения работоспособного состояния объекта при отказе одного или нескольких его элементов.

Резерв – совокупность дополнительных средств и (или) возможностей, используемых для резервирования.

Резервирование основано на использовании того или иного вида избыточности:

- **функциональную избыточность**, если различные устройства выполняют близкие функции или одно устройство выполняет несколько функций;
- **временную**, если имеется резерв времени для повторного решения функциональных задач системы;
- **информационную**, если осуществляется компенсация потери информации по одному каналу информацией по другому;
- **структурную**, реализуемую путем введения дополнительных элементов

Структурная надежность

Структурная надежность – это результирующая надежность при заданной структуре и известных значениях надежности всех входящих в нее блоков или элементов.

Рассмотрим для примера электролебедку, используемую на кораблях. При расчете всей энергосистемы корабля электролебедка представляет собой отдельный блок. Более детально электролебедку можно представить в виде блоков: электродвигатель, редуктор, барабан и канат. В свою очередь блоки делятся на узлы, каждый из которых с точки зрения физической структуры и функционирования представляет автономную единицу: двигатель — подшипниковый узел, коллектор и щетки, обмотки статора и ротора; редуктор — зубчатые колеса и подшипники; барабан - корпус и подшипники. Не учитываются при расчете (приравниваются единице) надежности вала, магнитопроводов, корпуса -у двигателя; у редуктора – надежность корпуса, резьбовых соединений.

При резервировании в системах различают основные и резервные элементы. Если отказывает основной элемент, то его функции берет на себя резервный, который становится основным. Это происходит до тех пор пока в наличии есть работоспособные резервные элементы.

Резервные элементы могут быть ремонтируемыми и неремонтируемыми.

Основной элемент в совокупности с (n-1) нагруженными резервными элементами образуют параллельную систему.

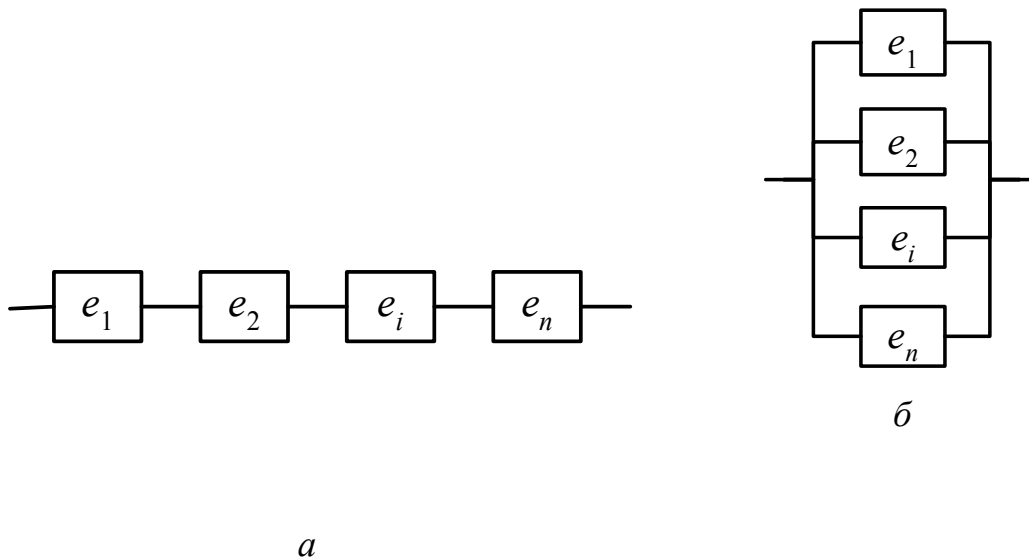


Рисунок 1 - Структурная схема надежности: а - последовательной системы, б - параллельной системы

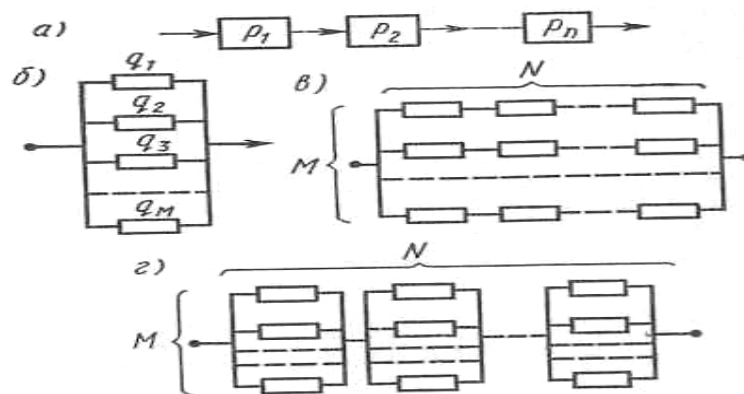


Рис. 8.4. Блок-схемы для определения структурной надежности при последовательном (а), параллельном (б) и смешанном (для общего (в) и раздельного (г) резервирования) соединении элементов

Расчёт надежности при параллельном соединении элементов(резервирование).

- параллельная работа трансформаторов в синхронных генераторах в энергосистемах;
- параллельное включение диодов в электронных схемах, например, пускорегулирующей аппаратуры и т.д.

Последовательные и параллельные системы изображаются в виде *структурной схемы для расчёта надёжности* или просто *схемой надёжности*, представляющей собой ненаправленный граф с входной и выходной вершинами, каждое ребро которого соответствует одному элементу системы, рисунок 1.

Система работоспособна тогда и только тогда, когда существует по крайней мере один путь от входной вершины к выходной.

Случайная наработка параллельной системы, состоящей из n независимых элементов равна

$$T = \max\{t_1, t_2, \dots, t_n\}, \quad (5)$$

где t_i - наработки элементов системы.

Отсюда

$$\begin{aligned} P(T > t) &= 1 - P(T \leq t) = 1 - P(t_1 \leq t, t_2 \leq t, \dots, t_n \leq t) = \\ &= 1 - P(t_1 \leq t)P(t_2 \leq t) \dots P(t_n \leq t) = \\ &= 1 - [1 - P(t_1 > t)][1 - P(t_2 > t)] \dots [1 - P(t_n > t)], \end{aligned} \quad (6)$$

а ВБР параллельной системы, состоящей из независимых элементов, равна произведению вероятности безотказной работы своих элементов

$$P(t) = 1 - [1 - P_1(t)][1 - P_2(t)] \dots [1 - P_n(t)]. \quad (7)$$

На схеме надёжности один элемент может быть поставлен в соответствие нескольким ребрам, что отражает особенности функциональной и технической структур системы. Одна и та же система может иметь несколько эквивалентных схем надёжности, а для различных видов отказов (обрыв или короткое замыкание) схемы надёжности одной и той же системы существенно различаются.

На практике встречаются системы которые образованы последовательным включением параллельных систем, и наоборот. Для расчёта показателей таких систем сначала производится их декомпозиция на

параллельные и последовательные подсистемы, и представление их в системе элементами.

Существуют системы, структурная схема которых не приводится к последовательной или параллельной схемам надежности. Это системы, как правило, включающие в себя восстанавливающие органы - элементы, реализующие реконфигурацию системы при отказах основных элементов с целью перехода на резервный элемент. Для получения оценок ВБР систем, имеющих сложные структурные схемы надежности, например, в виде мостиковой схемы (Рисунок 2), используется несколько методов.

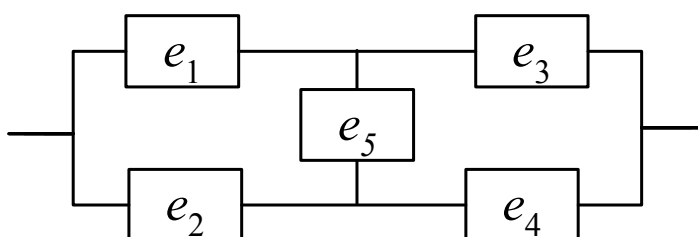


Рисунок 2 - Мостиковая схема соединения элементов

Наиболее известны методы перебора состояний, разложения функции работоспособности относительно особого элемента, минимальных путей и сечений, а также логико-вероятностные методы.

Из всех методов наименьшей трудоемкостью характеризуется метод разложения относительно особого элемента. Особым элементом является тот элемент системы, исключение которого позволяет описать ее параллельной или последовательной схемой.

В системе выделяются один или несколько особых элементов и рассматриваются все их возможные состояния H_i , образующие полную группу, т.е. выполняется условие

$$\sum_{i=1}^n P\{H_i\} = 1, \quad (8)$$

где $P(H_i)$ - вероятность нахождения особых элементов в состоянии H_i .

Вероятность работоспособного состояния системы в этом случае определяется по формуле полной вероятности

$$P\{A\} = \sum_{i=1}^n P\{H_i\}P\left\{A/H_i\right\} = \sum_{i=1}^n P_i\{A\}, \quad (9)$$

где $P\left\{A/H_i\right\}$ - вероятность работоспособного состояния A при условии, что особые элементы системы находятся в состоянии H_i ; $P_i(A)$ - безусловная вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии при нахождении особых элементов в состоянии H_i .

Например, если в системе имеется два особых элемента с вероятностями безотказной работы $p_1(t)$ и $p_2(t)$, то в системе возможны следующие состояния H_i :

- H_1 - особые элементы исправны;
- H_2 - особые элементы неисправны;
- H_3 - первый особый элемент исправен, второй - неисправен;
- H_4 - второй особый элемент исправен, первый - неисправен.

Вероятности $P(H_i)$ появления этих состояний определяются через ВБР особых элементов и соответственно равны:

- $P(H_1) = p_1(t) p_2(t)$;
- $P(H_2) = [1 - p_1(t)] [1 - p_2(t)]$;
- $P(H_3) = p_1(t) [1 - p_2(t)]$;
- $P(H_4) = [1 - p_1(t)] p_2(t)$.

Условная вероятность работоспособного состояния системы $P\left\{A/H_i\right\}$ рассчитывается по структурной схеме для расчета ее надежности, в которой ребро, соответствующее особому элементу, удаляется, если особый элемент заведомо неработоспособен, или заменяется ребром, соответствующим

абсолютно надежному элементу, если особый элемент заведомо работоспособен.

Формула для расчета полной вероятности принимает вид

$$P\{A\} = p_1(t)p_2(t)P\left\{\frac{A}{H_1}\right\} + [1 - p_1(t)][1 - p_2(t)]P\left\{\frac{A}{H_2}\right\} + p_1(t)[1 - p_2(t)]P\left\{\frac{A}{H_3}\right\} + [1 - p_1(t)]p_2(t)P\left\{\frac{A}{H_4}\right\}. \quad (1)$$

Для упрощения расчетов целесообразно проводить декомпозицию системы таким образом, чтобы в выделяемой подсистеме было не более двух или трех особых элементов.

Пример:

В энергосистеме при повышении тока нагрузки на 20% выключатель разрывает цепь. Вероятность того, что выключатель работает правильно, составляет 0,98. Как обеспечить вероятность размыкания цепи не менее 0,99?

Решение:

Для обеспечения заданной надежности необходимо N выключателей соединить последовательно. Включенные M выключателей дублируют друг друга (их функциональное назначение – разрыв цепи), поэтому схема надежности представляет собой параллельное (!) соединение элементов. Т.к. число выключателей не может быть дробным, получим, что для обеспечения заданной надежности необходимо включить два выключателя $M=2$. При этом вероятность аварийного размыкания цепи будет 0,9996.

Резервные элементы могут работать в следующих режимах:

нагруженный – элементы подвергаются той же нагрузке и выполняют те же функции, что и основной элемент;

ненагруженный – элементы не подвергаются никакой нагрузке и поэтому не могут отказать во время нахождения в резерве;

облегченный – элементы функционируют с неполной нагрузкой, поэтому вероятность его отказа меньше по сравнению с вероятностью отказа основного элемента.

Различают резервирование:

- **с восстановлением** т.е. возможен ремонт любого основного и резервного элемента в процессе работы и **без восстановления**;
- общее** – при котором система резервируется в целом;
- поэлементное** (раздельное) – при котором каждый элемент резервируется отдельно или группами, рисунок 1в).

Рисунок 3.

Существуют три способа включения резерва:

- **постоянное** – при котором элементы функционируют наравне с основными, такое резервирование называют пассивным или нагруженным;
- **резервирование замещением** – при котором резервный элемент вводится в состав системы после отказа основного, такое резервирование называется активным и оно требует использования коммутирующих устройств.

Элементы могут находиться в нагруженном, облегченном и ненагруженном режимах.

- **скользящее резервирование** – резервирование замещением, при котором группа основных элементов системы резервируется одним или несколькими резервными элементами, каждый из которых может заменить любой отказавший основной элемент в данной группе, рисунок 3.

Кратность резервирования – отношение числа резервных элементов к числу резервируемых. Различают однократное и многократное резервирование.

Рисунок 4. Схема надежности при скользящем резервировании

Недостатки резервирования:

- усложнение аппаратуры;
- увеличение массы и размеров изделия;
- увеличение потребляемой мощности и стоимости..

Стандартизация в области надежности электромеханических систем

Стандартизация – установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных стран, в частности для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении условий эксплуатации (использования) и требования безопасности.

Цели стандартизации в области надежности ЭМС:

1. Ускорение научно-технического процесса. Разработка новых научно-технических решений, обеспечивающих внутреннюю и внешнюю техническую, энергетическую и информационную совместимость изделий с точки зрения надежности и контроля.
2. Обеспечение объективности и сопоставимости результатов контроля и испытаний.
3. Обеспечение эффективности организационных, конструкторских, технологических и эксплуатационных мероприятий, направленных на достижение оптимального уровня надежности.

Общетеchnические и организационно-методические стандарты регламентируют шесть классификационных групп объектов стандартизации:

Группа 0 Стандарты, нормирующие общие вопросы надежности:

- организационные вопросы обеспечения надежности;
- терминологию;
- общие требования к программам обеспечения надежности;
- экономические проблемы надежности и т.д.

Группа 1 Стандарты, нормирующие показатели надежности

- общие требования к номенклатуре и нормам показателей надежности;
- правила выбора и задания показателей надежности в нормативно-технической документации;
- правила установления критериев отказов и предельных состояний и т.д.

Группа 2 Стандарты, нормирующие методы расчёта надежности

- методы расчета норм надежности;
- расчёта и анализа показателей надежности с учётом видов разрушений и функциональной структуры;
- расчета норм запасных частей и т.д.

Группа 3 Стандарты, нормирующие методы обеспечения надежности

- методы оптимизации показателей надежности;
- учёта условий эксплуатации и режимов работы;
- технологического обеспечения надежности;
- обеспечения ремонтпригодности и т.д.

Группа 4 Стандарты, нормирующие вопросы испытаний и контроля надежности.

Группа 5 Стандарты, нормирующие правила сбора и обработки информации по надежности.

Стандарты в области надежности обозначаются следующим образом

ГОСТ 27410 – 83

27 – Система стандартов «Надежность в технике»

4 – № классификационной группы

10 – порядковый номер стандарта в группе

83 – год утверждения стандарта

Методы обеспечения надежности электромеханических систем

При проектировании:

1. Необходимо предусмотреть использование качественных активных и конструктивных материалов (особенно теплостойкой корпусной изоляции и обмоточных проводов).
2. Необходимо использовать эффективные средства охлаждения для снижения рабочей температуры машины.
3. Необходимо учитывать рациональный выбор электрических и магнитных нагрузок, учитывая при этом требования обеспечения заданной надежности и минимальных масс и габаритов (это противоречивые требования).
4. Использование конструкций отдельных узлов и элементов машины с учётом требований эксплуатации.
5. Использование более простых конструкций отдельных узлов и элементов машины и в целом машины.
6. Использование специальных защитных устройств, предотвращающих развитие аварийной ситуации, а также встраиваемых датчиков для диагностики ЭМС.

При производстве

- 1-изготовление изделий с помощью прогрессивных типов технологических процессов, позволяющих автоматизировать и механизировать операции по всей цепи процесса с использованием типовой оснастки и типовых приспособлений.
- 2- периодическая проверка качества и надежности готовых изделий; отбраковка материалов и узлов, пострадавших при транспортировке и хранении.
- 3- строгое соблюдение режимов в технологическом процессе и технологии сборки и монтажа.
- 4 – повышение культуры производства; недопущение замены сортности материалов и комплектующих изделий, а если замена произведена, то она не

должна снижать качество изделия (качество должно соответствовать требованиям нормативно-технической документации).

5- осуществлять тренировку применяемых деталей и сборочных единиц, что сокращает этап приработки аппаратуры и позволяет оценить правильность выбранных схемных решений.

6- контроль физических свойств, параметров и характеристик материалов и комплектующих изделий (например, обмоточные проводов, подшипников и т.д.) поступающих от предприятий поставщиков.

7- введение контрольных карт

Наиболее эффективный метод выполнения перечисленных требований – разработка и внедрение на заводах электротехнической промышленности систем управления надежностью.

При эксплуатации

1. Условия эксплуатации (температура окружающей среды; уровень влажности и запыленности, влияние агрессивных сред; уровень вибрации и т.д.) и система обслуживания (уход за машинами; периодический и профилактический контроль; установленная по регламенту чистка и наладка; ремонт или замена износившихся деталей) должны соответствовать установленным нормам.

2. Обеспечение необходимой диагностической и контрольно-измерительной аппаратурой, автоматизация контроля диагностики и контроля.

3. Повышение квалификации обслуживающего персонала.