

# Основные положения теории надежности

## Методы повышения надежности

Варганова Александра Владимировна,  
канд. техн. наук, доцент

# Надежность в технике

## **Основные задачи надежности:**

- выбор критериев и количественных характеристик надежности;
- испытания на надежность и прогнозирование надежности действующего оборудования;
- выбор оптимальной структуры проектируемых (реконструируемых) систем электроснабжения по критерию надежности;
- обеспечение заданных технических и эксплуатационных характеристик работы потребителей;
- разработка наиболее рациональной с точки зрения обеспечения надежности программы эксплуатации системы.

# Нормативные документы

- ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения;
- ГОСТ 27.310-95 «Анализ видов, последствий и критичности отказов»;
- Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 27.004-2009 «Надежность в технике. Модели отказов»;
- Правила устройства электроустановок.

**Надежность** – это способность объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах

**Надежность системы электроснабжения** – это непрерывное обеспечение потребителей электроэнергией заданного качества в соответствии с графиком электропотребления и по схеме, которая предусмотрена для длительной эксплуатации.

В соответствии с ПУЭ все электроприемников по надежности электроснабжения подразделяются на 3 категории:

1. К **I категории** относят электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, значительный материальный ущерб, повреждение дорогостоящего оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Из их состава выделяется особая группа электроприемников, бесперебойная работа которых необходима для безаварийного останова производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования. В качестве примеров электроприемников особой группы для черной металлургии можно привести электродвигатели насосов водоохлаждения доменных печей и электродвигатели механизмов поворота конвертеров.

2. Во **II категорию** входят электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

3. К **III категории** относят все остальные электроприемники, не подходящие под определения I и II категорий.

Надежность электроснабжения определяется числом независимых источников питания и схемой электроснабжения потребителей, поэтому обеспечение надежности электроснабжения, как правило, связано с дополнительными экономическими затратами. Так, электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервируемых источников питания, а для сокращения перерывов их электроснабжения используются быстродействующие устройства релейной защиты и автоматики (АПВ и АВР).

Для особой группы электроприемников I категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого источника (местной электростанции, аккумуляторных батарей и т.п.), что приводит к дополнительному усложнению и удорожанию схемы электроснабжения.

# **Теория надежности –**

**– наука, изучающая закономерности отказов  
сложных технических систем.**

**- предмет;**

**- объект;**

**- терминология;**

**- математический аппарат.**

# **Предмет теории надежности**

**Отказ** (ГОСТ 27.310 – 95) – событие, при котором нарушается работоспособность объекта или он перестает соответствовать требованиям, установленным нормативно технической документацией.

**Любая техническая система** находится в одном из двух состояний:

- работоспособное;
- неработоспособное.

**Элементы** могут быть:

- восстанавливаемыми;
- невосстанавливаемыми.

# Классификация отказов

1. По характеру процесса возникновения:

- **внезапные;**
- **постепенные.**

2. По характеру процесса восстановления:

- **устойчивые ;**
- **неустойчивые (сбои);**
- **перемежающиеся отказы .**

3. В зависимости от причин возникновения:

- **конструкционные ;**
- **производственные;**
- **эксплуатационные.**



# **Объект изучения теории надежности**

**Критерий** – это физическое свойство, по которому оценивается надежность технической системы.

Критерии надежности должны отвечать следующим шести требованиям:

- научность;
- полнота оценки;
- наглядность;
- вычисляемость;
- непротиворечивость;
- возможность применения для оценки других более общих показателей технического объекта.

1. **Безотказность** – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние, соответствующее нормативно-технической документации, в течение заданного времени (нормативный срок службы) или заданной наработки (объем работы или производительность).
2. **Долговечность** – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при условии соблюдения установленной системы технического обслуживания и ремонта.  
Предельным считается такое состояние объекта, при котором его дальнейшее применение по назначению недопустимо, а восстановление невозможно или нецелесообразно.
3. **Ремонтопригодность** заключается в приспособленности объекта к предупреждению и обнаружению отказов и повреждений и восстановлению работоспособности в процессе технического обслуживания и ремонта.
4. **Сохраняемость** свойство объекта сохранять исправное и работоспособное состояние в течение и после его хранения и транспортировки.

5. **Устойчивость** системы – это ее способность возвращаться в устойчивое состояние после прекращения возмущающего воздействия, которое нарушило нормальный режим.
6. **Живучесть** – это свойство системы противостоять крупным возмущениям режима, не допуская их цепочечного развития и массового отключения потребителей, не предусмотряваемого режимом работы противоаварийной автоматики.
7. **Безопасность** определяется, как свойство объекта не создавать опасности для людей и окружающей среды во всех возможных режимах работы и аварийных ситуациях.
8. **Режимная управляемость (управляемость)** - свойство объекта поддерживать нормальный режим посредством управления.

# Основные термины и определения теории надежности

**Элемент** – составная часть технического объекта, рассматриваемая при проведении анализа как единое целое, не подлежащее дальнейшему разукрупнению.

**Система** – совокупность элементов, объединенных конструкционного и/или функционально для выполнения некоторых требуемых функций.

**Структура** – взаимное расположение и функциональные взаимосвязи элементов системы, которые могут быть представлены графически в виде последовательных, параллельных или смешанных соединений, а также поперечных и обратных связей.

**Исправность** – состояние объекта, при котором он соответствует требованиям нормативно – технической документации.

# Основные термины и определения теории надежности

**Предельное состояние** – это состояние объекта, при котором его применять по назначению невозможно, недопустимо или нецелесообразно.

**Срок службы** – календарная продолжительность эксплуатации элемента от ее начала до наступления предельного состояния.

**Наработка** – объем работы объекта, измеряемый не только единицами времени, а также числом рабочих циклов, километров пробега и т.д. (число коммутаций).

**Технический ресурс** – наработка объекта от начала эксплуатации до перехода в предельное состояние, которое определяется его конструктивными прочностными и другими физическими причинами.

**Назначенный ресурс (нормативный)** – любая наработка объекта, регламентируемая нормативной технической документацией, при достижении которой эксплуатация объекта должна быть прекращена независимо от его состояния.

# Количественные показатели надежности

## 1. Вероятностные показатели надежности

### 1.1. Вероятность безотказной работы $P(t)$

$$P(t) = \frac{N_o - n(t)}{N_o} \leq 1$$

### 1.2. Вероятность отказа $Q(t)$

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N_o} \leq 1$$

### 1.3. Вероятность восстановления $R(t)$

$$R(t) = \frac{n(t) - r(t)}{n(t)}$$

# Количественные показатели надежности

## 2. Статистические показатели надежности невосстанавливаемых систем

### 2.1. Математическое ожидание числа отказов

$$M[n(t)] = \frac{\sum n_i(t) \cdot t_i}{\sum t_i}$$

### 2.2. Интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_o \cdot \Delta t}$$

### 2.3. Средняя наработка до отказа

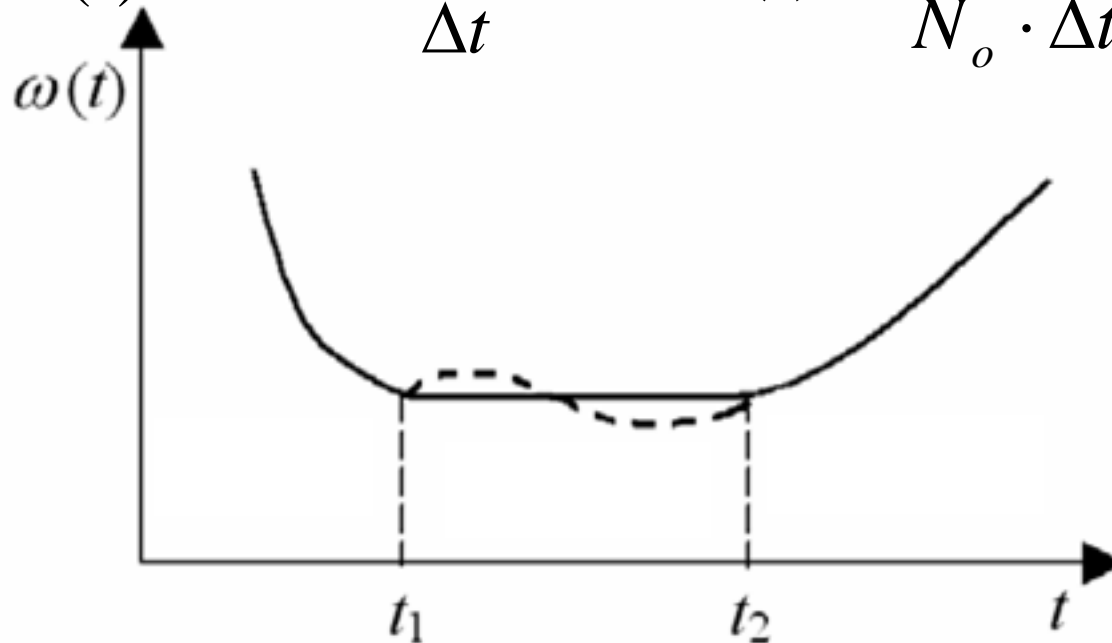
$$T_o = \frac{\sum t_{paбi} \cdot n_i}{N_o} = \frac{1}{\lambda}$$

# Количественные показатели надежности

## 3. Статистические показатели надежности восстанавливаемых систем

3.1. Параметр потока отказов – плотность вероятности возникновения отказа восстанавливаемой системы (элемента), определяемая для заданного момента времени.

$$w(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M[r(t) - r(t - \Delta t)]}{\Delta t} \quad w(t) = \frac{n(t)}{N_o \cdot \Delta t}$$





### 3.2. Нарботка на отказ

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^r t_i}{r} \quad T_o = \frac{\sum_{i=1}^N T_{oi}}{N}$$

### 3.3. Среднее время восстановления

$$T_e = \frac{\sum_{i=1}^r \tau_i}{r}$$

### 3.4. Интенсивность восстановления

$$\mu(t) = \frac{1}{T_e}$$

# Безразмерные коэффициенты, характеризующие надежность технических систем

## 1. Коэффициент готовности

$$K_{\Gamma} = \frac{t_{\text{раб}\Sigma}}{t_{\text{раб}\Sigma} + t_{\text{нераб}\Sigma}} \qquad K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_B}$$

## 2. Коэффициент вынужденного простоя

$$K_{\Pi} = \frac{t_{\text{нераб}}}{t_{\text{раб}} + t_{\text{нераб}}} \qquad K_{\Pi} = \frac{T_B}{T_o + T_B} = 1 - K_{\Gamma}$$

## 3. Коэффициент отказов

$$K_o = \frac{r_i}{r_{\Sigma}}$$

## 4. Коэффициент относительного простоя

$$K_{оп} = \frac{r_i \cdot T_{Bi}}{r_{\Sigma} \cdot T_{B\Sigma}}$$

# Количественные расчеты надежности сложных систем

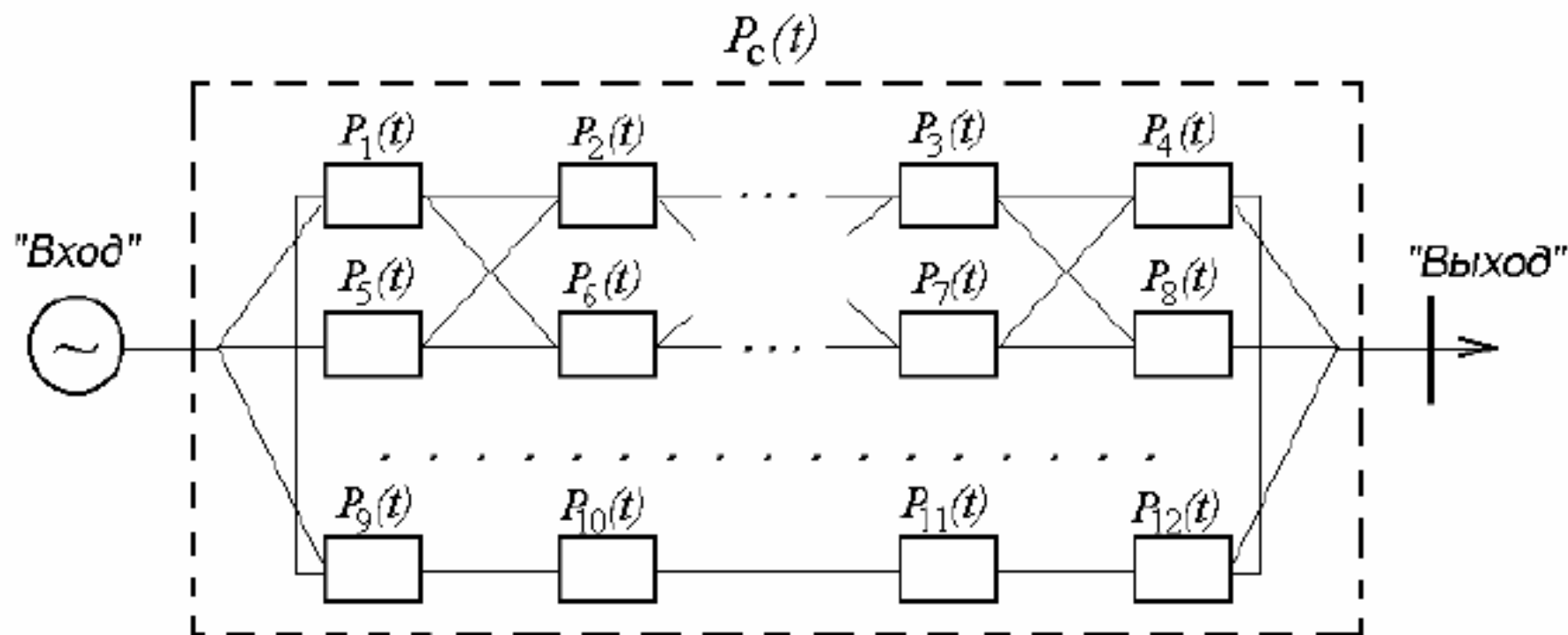
Методы расчета надежности

1. **аналитические** — используют известные математические выражения алгебры логики и теории вероятности, базируется на поэтапном упрощении схемы к элементарному виду (остается только источник питания и потребитель).

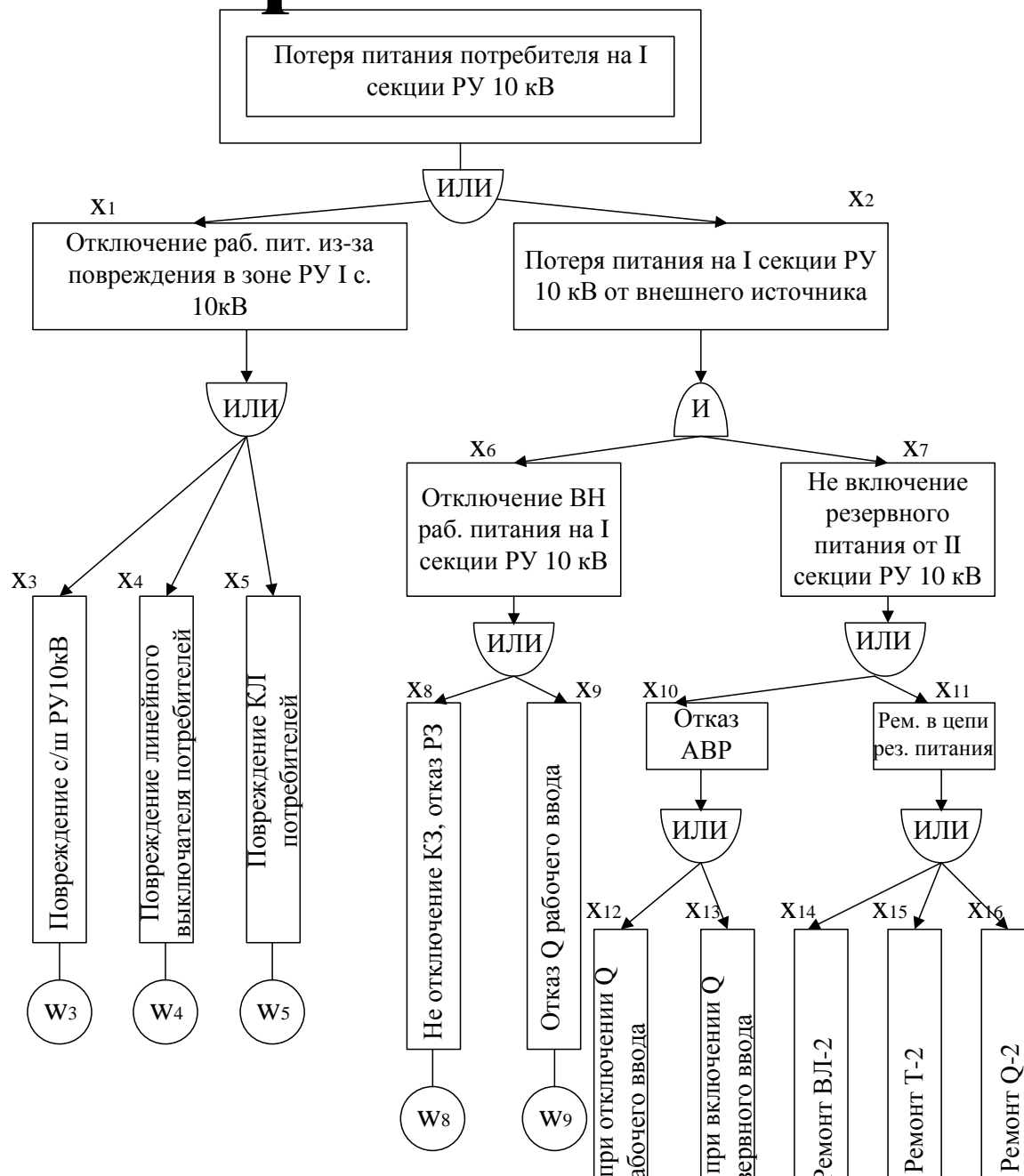
2. **логико-вероятностные** — базируются на анализе причинно — следственных связей между случайными событиями отказов в отдельных элементах системы и отказе работы всей системы.

3. **таблично-логические** — служат для анализа последствий оперативных переключений в различных режимах работы схемы.

# Аналитический метод расчета



# Логико-вероятностные методы

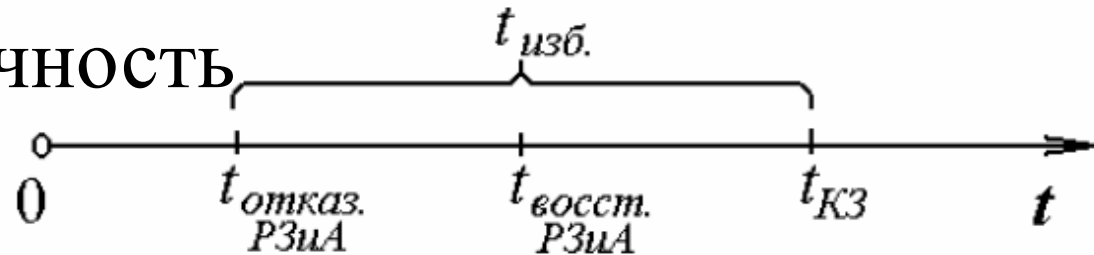


# Таблично – логический метод

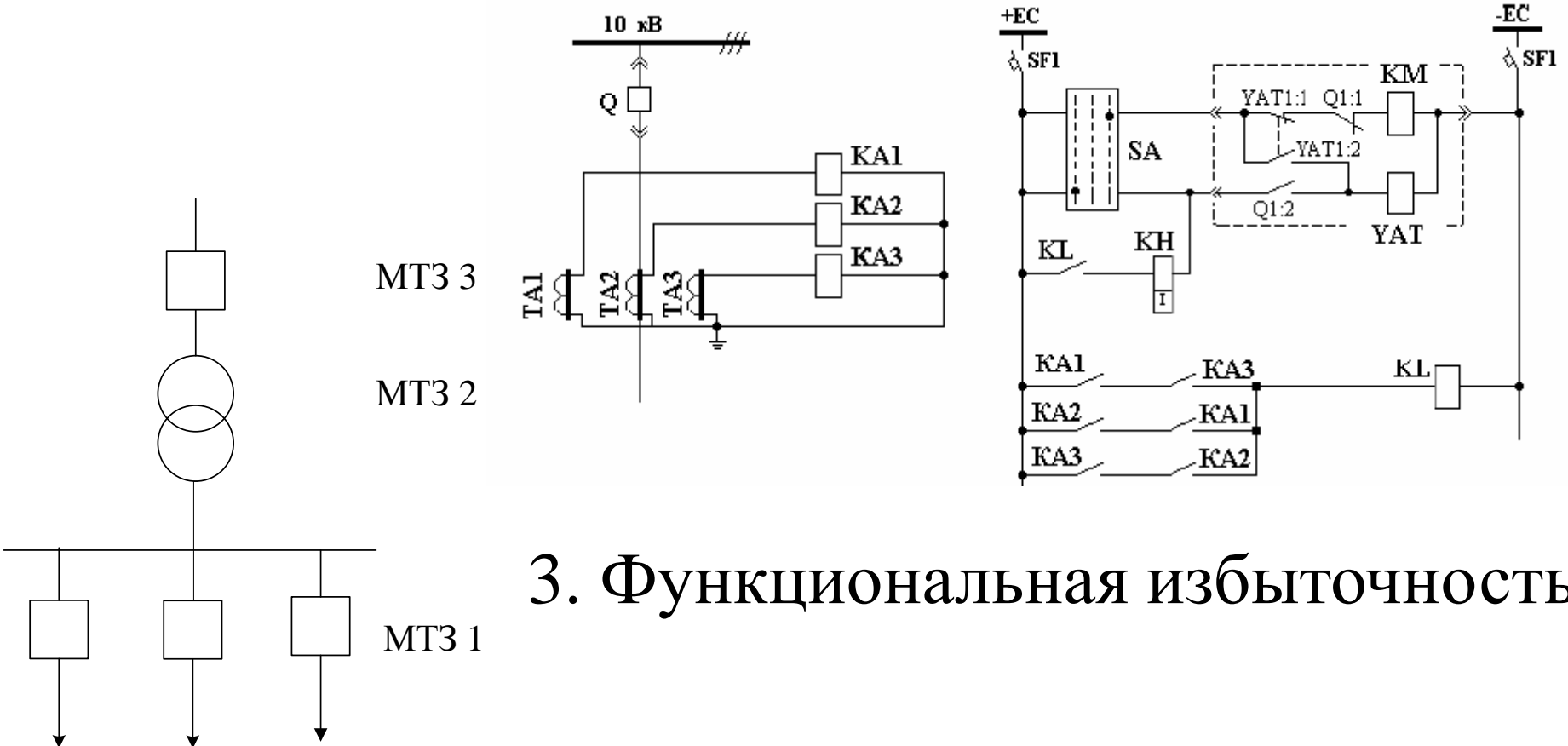
		Расчетный режим j				
		1	2	3	4	0
Элемент, i	1	Коды расчетных аварий				
	2					
	3					
	4					

# Методы повышения надежности

## 1. Временная избыточность



## 2. Схемная избыточность



# Резервирование

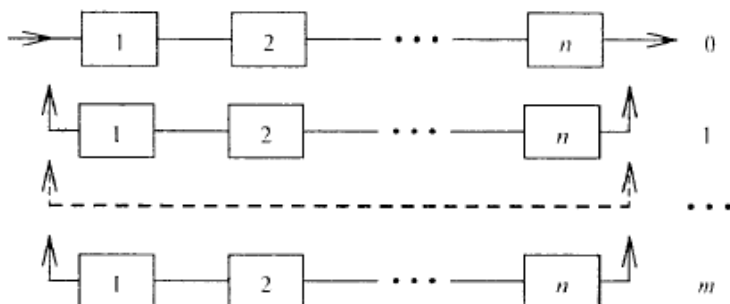
1. Резервирование замещением
2. Постоянное резервирование

## Степень резервирования питания

$$N_{рез} = \frac{S_I + S_{II}}{S_I + S_{II} + S_{III}}$$

## Способы резервирования систем электроснабжения

### 1. Общее резервирование



### 2. Раздельное резервирование

