

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНЖЕНЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

СТРУКТУРНО - ЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ

**Методические указания для
выполнения практической работы
по курсу «Надежность информационных систем»**

**Для студентов, обучающихся по направлению
09.03.02 – «Информационные системы и технологии»**

Воронеж 2020

УДК681.3.07

Структурно - логический анализ систем : Метод. указания к пр. работе по дисциплине «Надежность информационных систем»/ Воронеж. гос. Ун. Инж технол.; Сост. И.А. Козенко. Воронеж, 2020. __ с.

Указания разработаны в соответствии с требованиями ООП подготовки бакалавров по направлению 09.03.02 – «Информационные системы и технологии». Они предназначены для закрепления теоретических знаний дисциплины цикла СД. Методические указания посвящены расчету показателей надежности на основе статистических данных.

Составители И.А. КОЗЕНКО.

Научный редактор профессор _____

Рецензент профессор _____

Печатается по решению
редакционно-издательского совета
Воронежского государственного университета
инженерных технологий

© Козенко И.А.

2020

© Воронежский

государственный

Университет

инженерных технологий,

2020

Оригинал-макет данного издания является собственностью Воронежского государственного университета инженерных технологий, его репродуцирование (воспроизведение) любым способом без согласия академии запрещается.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Найти вероятность безотказной работы системы, состоящей из восьми элементов с известной вероятностью безотказной работы.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Конечной целью расчета надежности систем является оптимизация конструктивных решений и параметров, режимов эксплуатации, организация технического обслуживания и ремонтов. Поэтому уже на ранних стадиях проектирования важно оценить надежность объекта, выявить наиболее ненадежные узлы и детали, определить наиболее эффективные меры повышения показателей надежности. Решение этих задач возможно после предварительного структурно - логического анализа системы.

Большинство технических объектов, в том числе ВС, являются сложными системами, состоящими из отдельных узлов, деталей, агрегатов, устройств контроля, управления и т.д.. *Техническая система* (ТС) - совокупность технических устройств (элементов), предназначенных для выполнения определенной функции или функций. Соответственно, *элемент* - составная часть системы.

Расчленение ТС на элементы достаточно условно и зависит от постановки задачи расчета надежности. Например при анализе работоспособности технологической линии ее элементами могут считаться отдельные установки и станки, транспортные и загрузочные устройства и т.д.. В свою очередь станки и устройства также могут считаться техническими системами и при оценке их надежности должны быть разделены на элементы - узлы, блоки, которые, в свою очередь - на детали и т.д..

При определении структуры ТС в первую очередь необходимо оценить влияние каждого элемента и его

работоспособности на работоспособность системы в целом. С этой точки зрения целесообразно разделить все элементы на четыре группы:

1. Элементы, отказ которых практически не влияет на работоспособность системы (например, деформация кожуха, изменение окраски поверхности и т.п.).

2. Элементы, работоспособность которых за время эксплуатации практически не изменяется и вероятность безотказной работы близка к единице (корпусные детали, малонагруженные элементы с большим запасом прочности).

3. Элементы, ремонт или регулировка которых возможна при работе изделия или во время планового технического обслуживания (наладка или замена технологического инструмента оборудования, настройка частоты селективных цепей ВС и т.д.).

4. Элементы, отказ которых сам по себе или в сочетании с отказами других элементов приводит к отказу системы.

Очевидно, при анализе надежности ТС имеет смысл включать в рассмотрение только элементы последней группы.

Для расчетов параметров надежности удобно использовать *структурно - логические схемы надежности* ТС, которые графически отображают взаимосвязь элементов и их влияние на работоспособность системы в целом. Структурно - логическая схема представляет собой совокупность ранее выделенных элементов, соединенных друг с другом последовательно или параллельно. Критерием для определения вида соединения элементов (последовательного или параллельного) при построении схемы является влияние их отказа на работоспособность ТС.

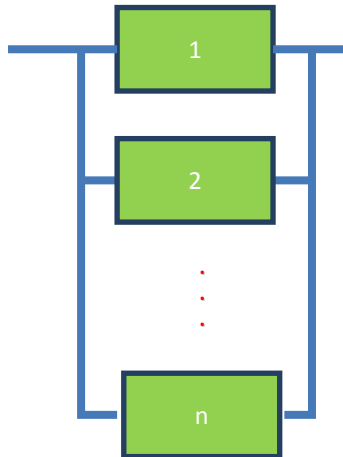
Последовательным (с точки зрения надежности) считается соединение, при котором отказ любого элемента приводит к отказу всей системы.

Последовательное соединение



Параллельным (с точки зрения надежности) считается соединение, при котором отказ любого элемента не приводит к отказу системы, пока не откажут все соединенные элементы.

Параллельное соединение



Определенная аналогия здесь прослеживается с цепью, составленной из проводящих элементов (исправный элемент пропускает ток, отказавший не пропускает): работоспособному состоянию ТС соответствует возможность протекания тока от входа до выхода цепи.

Примером последовательного соединения элементов структурно - логической схемы может быть технологическая линия, в которой происходит переработка сырья в готовый продукт, или ВС, в котором последовательно осуществляется преобразование входного сигнала. Если же на некоторых участках линии, или пути сигнала, предусмотрена одновременная обработка на нескольких единицах оборудования, то такие элементы (единицы оборудования) могут считаться соединенными параллельно.

Однако не всегда структурная схема надежности аналогична конструктивной или электрической схеме расположения элементов. Например, подшипники на валу редуктора работают конструктивно параллельно друг с другом, однако выход из строя любого из них приводит к отказу системы. Аналогично действие индуктивности и емкости параллельного колебательного контура в селективных каскадах ВС. Указанные элементы с точки зрения надежности образуют последовательное соединение.

В целом анализ структурной надежности ТС, как правило, включает следующие операции:

1. Анализируются устройства и выполняемые системой и ее составными частями функции, а также взаимосвязь составных частей.

2. Формируется содержание понятия “безотказной работы” для данной конкретной системы.

3. Определяются возможные отказы составных частей и системы, их причины и возможные последствия.

4. Оценивается влияние отказов составных частей системы на ее работоспособность.

5. Система разделяется на элементы, показатели надежности которых известны.

6. Составляется структурно - логическая схема надежности технической системы, которая является моделью ее безотказной работы.

7. Составляются расчётные зависимости для определения показателей надёжности ТС с использованием данных по надежности её элементов и с учётом структурной схемы.

В зависимости от поставленной задачи на основании результатов расчета характеристик надежности ТС делаются выводы и принимаются решения о необходимости изменения или доработки элементной базы, резервировании отдельных элементов или узлов, об установлении определенного режима

профилактического обслуживания, о номенклатуре и количестве запасных элементов для ремонта и т.д..

ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Расчеты показателей безотказности ТС обычно проводятся в предположении, что как вся система, так и любой ее элемент могут находиться только в одном из двух возможных состояний - работоспособном и неработоспособном и отказы элементов независимы друг от друга. Состояние системы (работоспособное или неработоспособное) определяется состоянием элементов и их сочетанием. Поэтому теоретически возможен расчет безотказности любой ТС свести к перебору всех возможных комбинаций состояний элементов, определению вероятности каждого из них и сложению вероятностей работоспособных состояний системы.

Такой метод (*метод прямого перебора*) практически универсален и может использоваться при расчете любых ТС. Однако при большом количестве элементов системы n такой путь становится нереальным из-за большого объема вычислений (например, при $n=10$ число возможных состояний системы составляет, $2^n = 1024$, при $n=20$ превышает 10^6 , при $n=30$ - более 10^9). Поэтому на практике используют более эффективные и экономичные методы расчета, не связанные с большим объемом вычислений. Возможность применения таких методов связана со структурой ТС.

Системы с последовательным соединением элементов

Системой с последовательным соединением элементов называется система, в которой отказ любого элемента приводит к отказу всей системы. Такое соединение элементов в технике встречается наиболее часто, поэтому его называют *основным соединением*.

В системе с последовательным соединением для безотказной работы в течении некоторой наработки t необходимо и достаточно, чтобы каждый из ее n элементов работал безотказно в течении этой наработки. Считая отказы

элементов независимыми, вероятность одновременной безотказной работы n элементов определяется по теореме умножения вероятностей: вероятность совместного появления независимых событий равна произведению вероятностей этих событий:

$$P(t) = p_1(t)p_2(t)\dots p_n(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t) = \prod_{i=1}^n (1 - q_i(t)) \quad (1)$$

(далее аргумент t в скобках, показывающий зависимость показателей надежности от времени, опускаем для сокращения записей формул). Соответственно, вероятность отказа такой ТС

$$Q = 1 - P = 1 - \prod_{i=1}^n p_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - q_i). \quad (2)$$

Если система состоит из равнонадежных элементов ($p_i = p$), то

$$P = p_i^n, \quad Q = 1 - (1 - q)^n. \quad (3)$$

Из формул (1) - (3) очевидно, что даже при высокой надежности элементов надежность системы при последовательном соединении оказывается тем более низкой, чем больше число элементов (например, при $p = 0.95$ и $n = 10$ имеем $P = 0.60$, при $n = 15$ $P = 0.46$, а при $n = 20$ $P = 0.36$). Кроме того, поскольку все сомножители в правой части выражения (1) не превышают единицы, вероятность безотказной работы ТС при последовательном соединении не может быть выше вероятности безотказной работы самого ненадежного из ее элементов (принцип “хуже худшего”) и из малонадежных элементов нельзя создать высоконадежной ТС с последовательным соединением.

Если все элементы системы работают в периоде нормальной эксплуатации и имеет место простейший поток отказов, наработки элементов и системы подчиняются

экспоненциальному распределению и на основании (1) можно записать

$$P = \prod_{i=1}^n \exp(-\lambda_i t) = \exp\left[-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)t\right] = \exp(-\Lambda t), \quad (4)$$

где

$$\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i = n \cdot \lambda_i, \lambda_i = \text{const} \quad (5)$$

есть интенсивность отказов системы. Таким образом, интенсивность отказов системы при последовательном соединении элементов и простейшем потоке отказов равна сумме интенсивностей отказов элементов.

Из (4) - (5) следует, что для системы из n равнонадежных элементов ($\lambda_i = \lambda$)

$$\Lambda = n\lambda, \quad T_0 = \frac{T_{0i}}{n}, \quad (6)$$

где $T_0 = \frac{1}{\Lambda}$ - средняя наработка до отказа системы; T_{0i} - средняя наработка до отказа i -го элемента; n - количество элементов соединения. т.е. интенсивность отказов в n раз больше, а средняя наработка в n раз меньше, чем у отдельного элемента.

Для неравнонадежных элементов ($\lambda_i \neq \text{const}$) интенсивность отказов определяется по формуле

$$\Lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i.$$

Системы с параллельным соединением элементов

Системой с параллельным соединением элементов называется система, отказ которой происходит только в случае отказа всех ее элементов. Такие схемы надежности характерны для ТС, в которых элементы дублируются или резервируются, т.е. параллельное соединение используется

как метод повышения надежности. Однако такие системы встречаются и самостоятельно (например, системы двигателей четырехмоторного самолета или параллельное включение диодов в мощных выпрямителях).

Для отказа системы с параллельным соединением элементов в течение наработки t необходимо и достаточно, чтобы все ее элементы отказали в течение этой наработки. Так что отказ системы заключается в совместном отказе всех элементов, вероятность чего (при допущении независимости отказов) может быть найдена по теореме умножения вероятностей как произведение вероятностей отказа элементов:

$$Q = q_1 q_2 \dots q_n = \prod_{i=1}^n q_i = \prod_{i=1}^n (1 - p_i). \quad (7)$$

Соответственно, вероятность безотказной работы

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^n q_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - p_i). \quad (8)$$

Для систем из равнонадежных элементов ($p_i = p$)

$$Q = q^n, \quad P = 1 - (1 - p)^n, \quad (9)$$

т.е. надежность системы с параллельным соединением повышается при увеличении числа элементов (например, при $p = 0.9$ и $n = 2$ $P = 0.99$, а при $n = 3$ $P = 0.999$).

Поскольку $q_i < 1$, произведение в правой части (7) всегда меньше любого из сомножителей, т.е. вероятность отказа системы не может быть выше вероятности самого надежного ее элемента ("лучше лучшего") и даже из сравнительно ненадежных элементов возможно построение вполне надежной системы.

При экспоненциальном распределении наработки для равнонадежных элементов выражение (9) принимает вид

$$P = 1 - [1 - \exp(-\lambda t)]^n,$$

откуда с помощью (1) после интегрирования и преобразований средняя наработка системы определяется

$$T_0 = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i} = T_{0i} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i},$$

где $T_{0i} = 1 / \lambda_i$ - средняя наработка элемента. При больших значениях n справедлива приближенная формула

$$T_0 = T_{0i} \left(\ln n + \frac{1}{2n} + 0.577 \right).$$

Таким образом, средняя наработка системы с параллельным соединением больше средней наработки ее элементов (например, при $n=2$ $T_0 = 1.5T_{0i}$, при $n=3$ $T_0 = 1.83T_{0i}$).

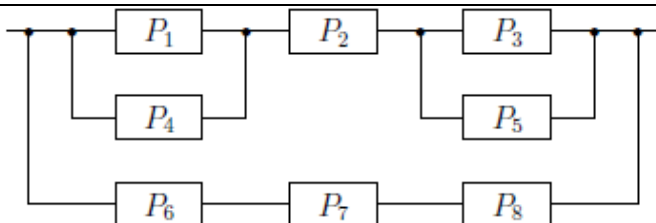
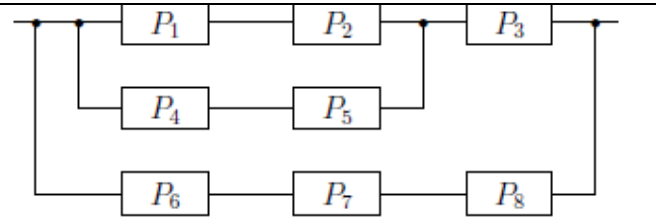
Для неидентичных элементов ($\lambda_i \neq const$)

$$\begin{aligned} T_0 = & \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \right) - \left(\frac{1}{(\lambda_1 + \lambda_2)} + \dots + \frac{1}{(\lambda_{n-1} + \lambda_n)} \right) + \\ & + \left(\frac{1}{(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)} + \dots + \frac{1}{(\lambda_{n-2} + \lambda_{n-1} + \lambda_n)} \right) + \\ & + (-1)^{n+1} \cdot \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \right) \end{aligned}$$

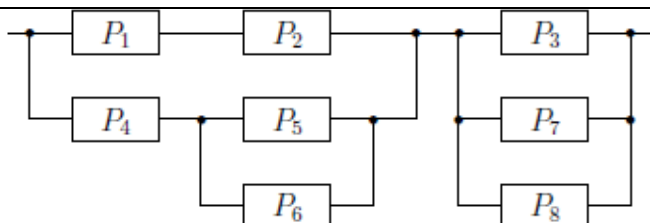
СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.

1. Цель работы
2. Задание.
3. Основные результаты расчетов (численные массивы данных и графики).
4. Выводы.

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

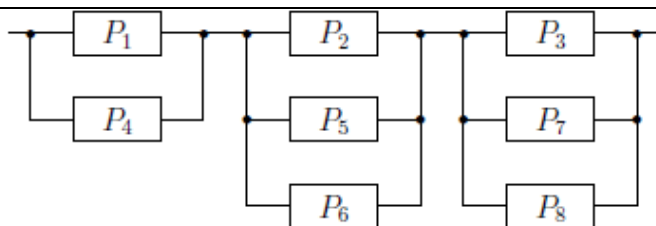
Вариант	Структурная схема																		
1	<div></div> <table><tr><td>i</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>P_i</td><td>0,92</td><td>0,99</td><td>0,93</td><td>0,95</td><td>0,91</td><td>0,94</td><td>0,97</td><td>0,9</td></tr></table>	i	1	2	3	4	5	6	7	8	P_i	0,92	0,99	0,93	0,95	0,91	0,94	0,97	0,9
i	1	2	3	4	5	6	7	8											
P_i	0,92	0,99	0,93	0,95	0,91	0,94	0,97	0,9											
2	<div></div> <table><tr><td>i</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>P_i</td><td>0,82</td><td>0,89</td><td>0,83</td><td>0,85</td><td>0,81</td><td>0,84</td><td>0,87</td><td>0,9</td></tr></table>	i	1	2	3	4	5	6	7	8	P_i	0,82	0,89	0,83	0,85	0,81	0,84	0,87	0,9
i	1	2	3	4	5	6	7	8											
P_i	0,82	0,89	0,83	0,85	0,81	0,84	0,87	0,9											

3



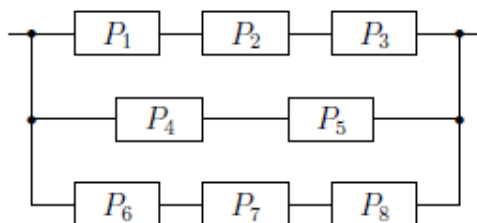
i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_i	0,93	0,98	0,94	0,94	0,92	0,93	0,98	0,89

4



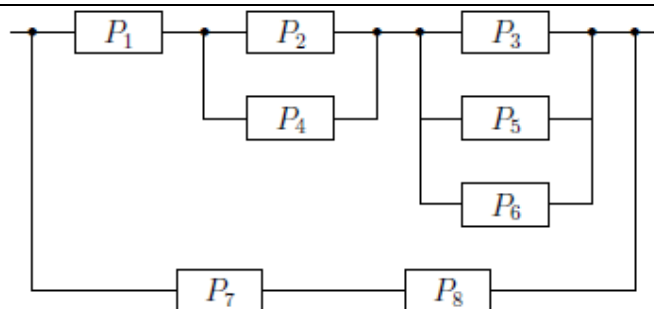
i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_i	0,95	0,96	0,95	0,96	0,93	0,95	0,94	0,91

5



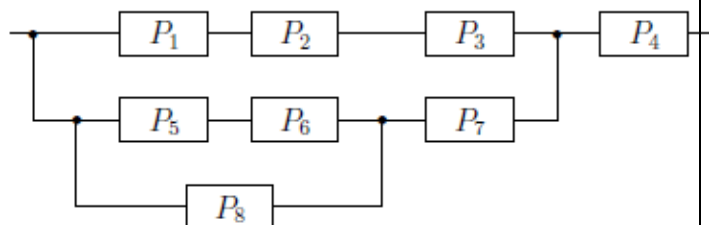
i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_i	0,9	0,97	0,91	0,93	0,89	0,92	0,95	0,98

6



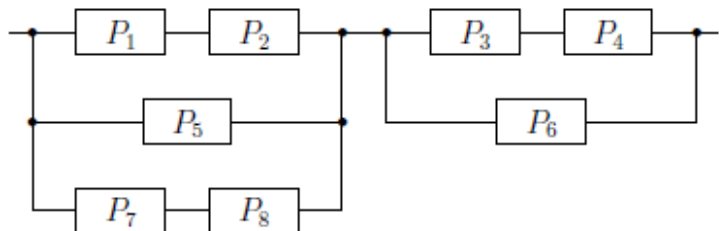
i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_i	0,93	0,97	0,96	0,91	0,96	0,88	0,99	0,81

7



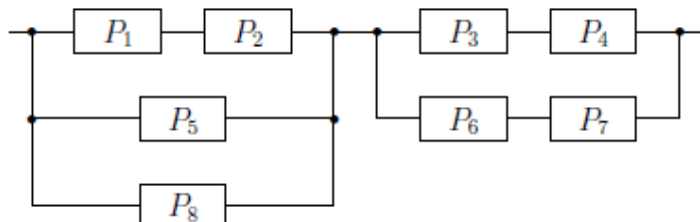
i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_i	0,91	0,99	0,9	0,99	0,86	0,99	0,9	0,98

8



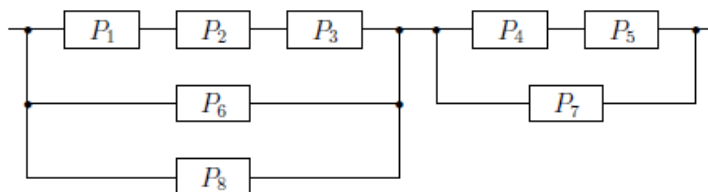
i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_i	0,99	0,92	0,99	0,9	0,95	0,91	0,99	0,89

9

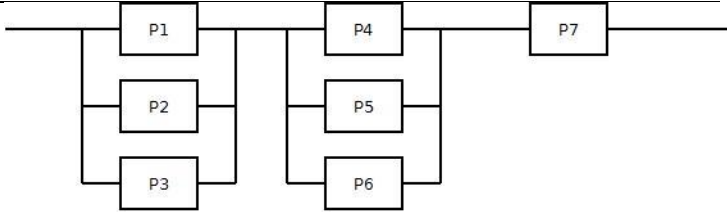
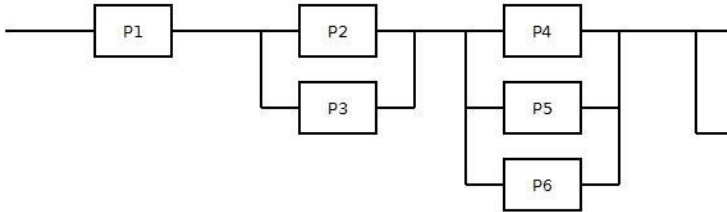
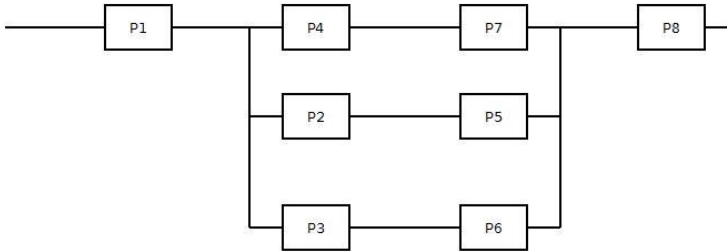
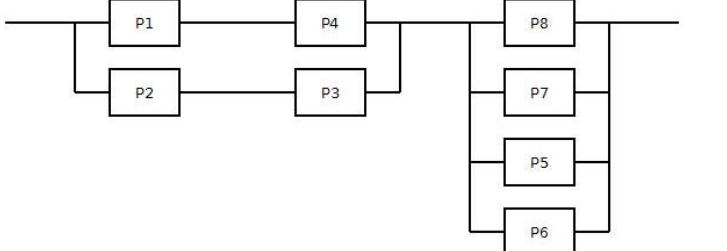


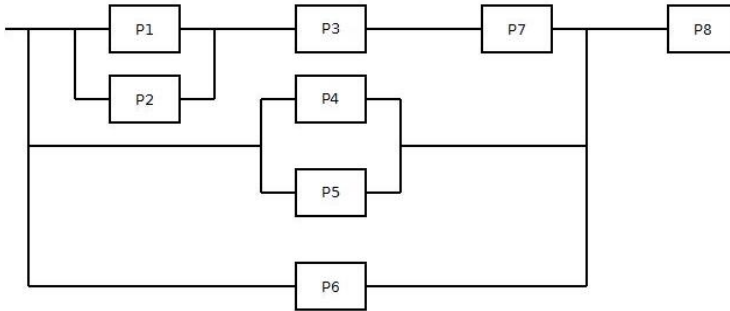
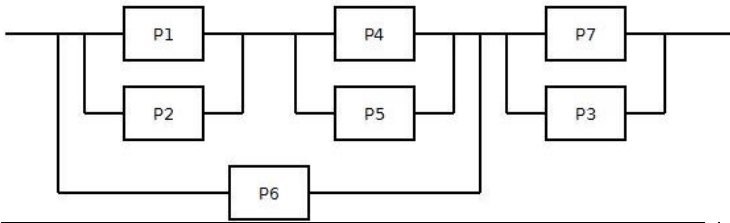
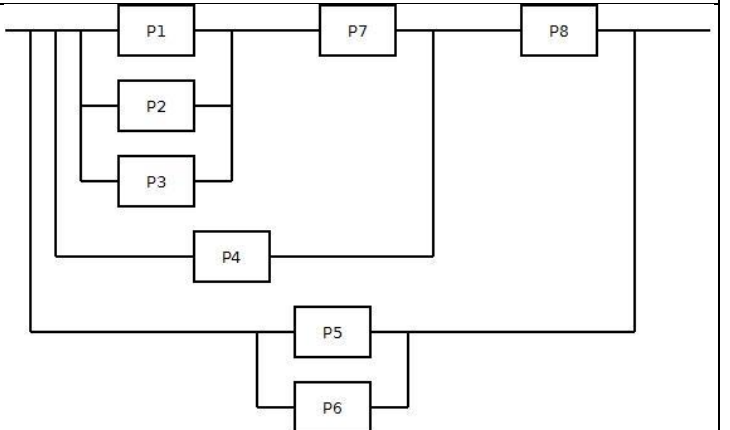
i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_i	0,84	0,99	0,87	0,99	0,88	0,96	0,9	0,95

10



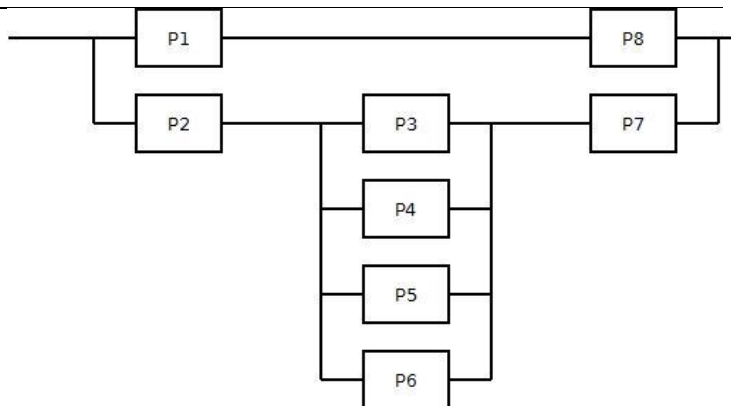
i	1	2	3	4	5	6	7	8
P_i	0,92	0,93	0,89	0,87	0,96	0,96	0,97	0,94

11																									
	<table> <tr> <td>i</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr> <td>Pi</td><td>0,89</td><td>0,89</td><td>0,89</td><td>0,94</td><td>0,89</td><td>0,90</td><td>0,87</td><td>0,91</td></tr> </table>	i	1	2	3	4	5	6	7	8	Pi	0,89	0,89	0,89	0,94	0,89	0,90	0,87	0,91						
i	1	2	3	4	5	6	7	8																	
Pi	0,89	0,89	0,89	0,94	0,89	0,90	0,87	0,91																	
12																									
	<table> <tr> <td>i</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr> <td>Pi</td><td>0,87</td><td>0,91</td><td>0,92</td><td>0,88</td><td>0,91</td><td>0,90</td><td>0,94</td><td>0,87</td></tr> </table>	i	1	2	3	4	5	6	7	8	Pi	0,87	0,91	0,92	0,88	0,91	0,90	0,94	0,87						
i	1	2	3	4	5	6	7	8																	
Pi	0,87	0,91	0,92	0,88	0,91	0,90	0,94	0,87																	
13																									
	<table> <tr> <td>i</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr> <td>Pi</td><td>0,93</td><td>0,90</td><td>0,94</td><td>0,88</td><td>0,96</td><td>0,89</td><td>0,91</td><td>0,88</td></tr> </table>	i	1	2	3	4	5	6	7	8	Pi	0,93	0,90	0,94	0,88	0,96	0,89	0,91	0,88						
i	1	2	3	4	5	6	7	8																	
Pi	0,93	0,90	0,94	0,88	0,96	0,89	0,91	0,88																	
14																									
	<table> <tr> <td>i</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr> <td>Pi</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	i	1	2	3	4	5	6	7	8	Pi														
i	1	2	3	4	5	6	7	8																	
Pi																									

	0,92	0,92	0,93	0,95	0,87	0,90	0,87	0,93	0,92
15									
	i	1	2	3	4	5	6	7	8
	Pi	0,92	0,87	0,88	0,91	0,93	0,95	0,87	0,89
16									
	i	1	2	3	4	5	6	7	8
	0,90	0,92	0,92	0,91	0,95	0,93	0,87	0,95	0,90
17									
	i	1	2	3	4	5	6	7	8
	0,95	0,95	0,87	0,93	0,92	0,91	0,88	0,94	0,95

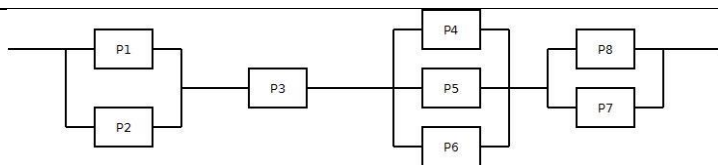
18																									
	<table> <tr> <th>i</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th></tr> <tr> <th>Pi</th><td>0,87</td><td>0,87</td><td>0,94</td><td>0,89</td><td>0,96</td><td>0,94</td><td>0,90</td><td>0,89</td></tr> </table>	i	1	2	3	4	5	6	7	8	Pi	0,87	0,87	0,94	0,89	0,96	0,94	0,90	0,89						
i	1	2	3	4	5	6	7	8																	
Pi	0,87	0,87	0,94	0,89	0,96	0,94	0,90	0,89																	
19																									
	<table> <tr> <th>i</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th></tr> <tr> <th>Pi</th><td>0,93</td><td>0,91</td><td>0,88</td><td>0,88</td><td>0,93</td><td>0,89</td><td>0,92</td><td>0,96</td></tr> </table>	i	1	2	3	4	5	6	7	8	Pi	0,93	0,91	0,88	0,88	0,93	0,89	0,92	0,96						
i	1	2	3	4	5	6	7	8																	
Pi	0,93	0,91	0,88	0,88	0,93	0,89	0,92	0,96																	
20																									
	<table> <tr> <th>i</th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th><th>5</th><th>6</th><th>7</th><th>8</th></tr> <tr> <th>Pi</th><td>0,87</td><td>0,88</td><td>0,95</td><td>0,90</td><td>0,87</td><td>0,95</td><td>0,96</td><td>0,92</td></tr> </table>	i	1	2	3	4	5	6	7	8	Pi	0,87	0,88	0,95	0,90	0,87	0,95	0,96	0,92						
i	1	2	3	4	5	6	7	8																	
Pi	0,87	0,88	0,95	0,90	0,87	0,95	0,96	0,92																	

21



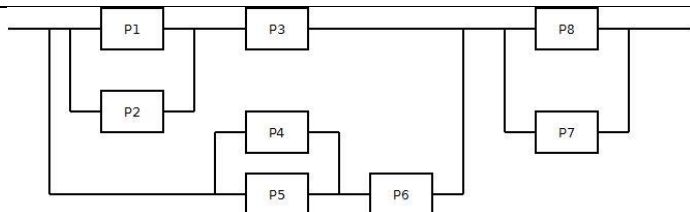
i	1	2	3	4	5	6	7	8
Pi	0,91	0,87	0,86	0,95	0,91	0,89	0,89	0,93

22



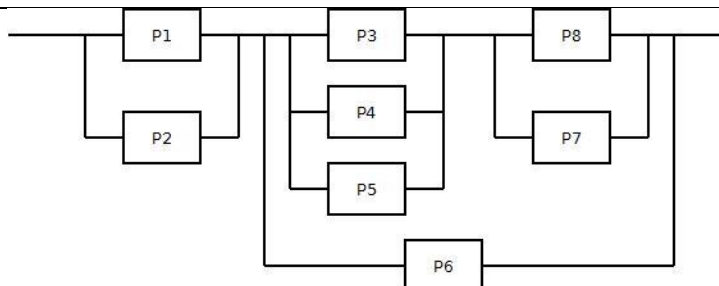
i	1	2	3	4	5	6	7	8
Pi	0,92	0,89	0,90	0,86	0,88	0,88	0,87	0,94

23



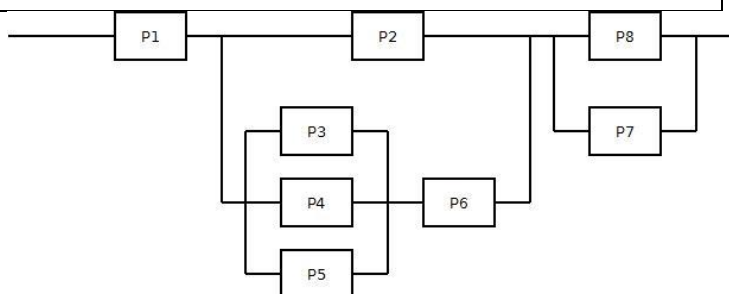
i	1	2	3	4	5	6	7	8
Pi	0,93	0,91	0,91	0,91	0,95	0,96	0,92	0,87

24



i	1	2	3	4	5	6	7	8
Pi	0,92	0,94	0,87	0,95	0,96	0,93	0,94	0,86

25



i	1	2	3	4	5	6	7	8
Pi	0,92	0,95	0,91	0,95	0,94	0,94	0,87	0,88