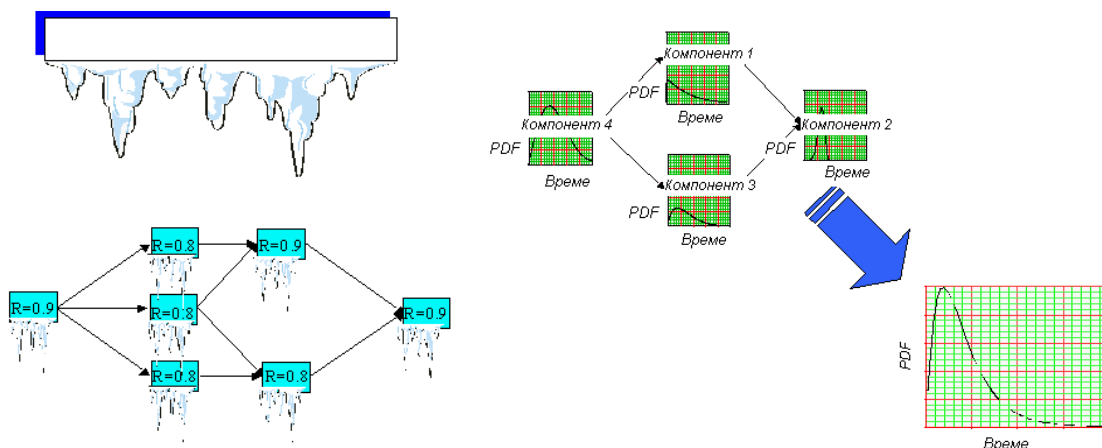


# ОЦЕНКА НАДЕЖДНОСТТА НА ЕЛЕКТРОННИ СХЕМИ И СИСТЕМИ

## I. Кратка теоретична част

### 1. Блокова диаграма на надеждност (RBD)

RBD (Reliability Block Diagram) е графично представяне на компонентите/подсистемите на системата и показва как те са свързани по отношение на надеждността. Понякога може тези свързвания да са различни от физическите връзки. RBD се състои от блокове свързани със стрелки, които показват надеждностните връзки между тях. Обикновено блокът се изразява графично чрез правоъгълник. Първата стъпка при изчисляването на надеждността на системата е да се получат данни за безотказността на компонентите на схемата/системата. Съществуват два вида изчисляване на надеждността: *статични* изчисления и *времезависими* изчисления.



RBD на статична система

Получаване на системна pdf

### Аналитичен подход за оценка на надеждността

При аналитичния подход системната PDF функция се получава аналитично от pdf на всички нейни компонентни, използвайки теорията на вероятностите. Съществуват няколко метода – декомпозиционен, метод на възможните пътища и метод на взаимно изключващите се събития.

Анализи, включващи ремонтируеми системи или информация за поддръжка са много трудни или невъзможни да се извършат аналитично, когато се използва разпределение различно от експоненциалното

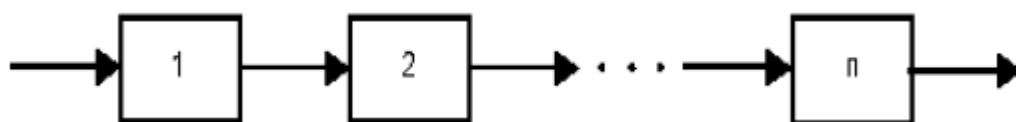
### Оценка на надеждността, базирана на Симулация (Монте Карло)

При този подход се генерират случайно времената на отказ за всеки компонент. На тази база след зададен брой симулации се оценява надеждността, като се отчита вида на RBD.

### Видове структури на RBD

• **Серийна** - отказът, на който и да е компонент води до отказ на цялата система.

където  $R_S$  е надеждността на системата;  $X_i$  е случаят, когато  $i$  работи;  $P(X_i)$  е вероятността, че компонента  $i$  работи.



Електронна система със серийна RBD

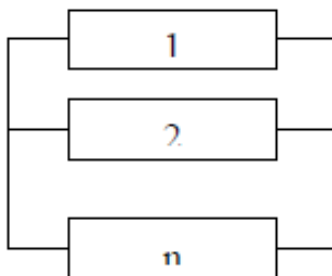
Когато отказът на компонент въздейства на честотата на отказите на останалите компоненти трябва да се разглеждат условните вероятности както е дадено.

$$R_S = P(X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_n) = P(X_1)P(X_2 | X_1)P(X_3 | X_1 X_2) \dots P(X_n | X_1 X_2 \dots X_{n-1})$$

В случай на независимост на режимите на отказ уравнението се преобразува в:

$$R_S = P(X_1)P(X_2) \dots P(X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i) = \prod_{i=1}^n R_i$$

• **Проста паралелна** – необходимо е да остане да работи дори само един компонент, за да функционира системата



Електронна система с проста паралелна RBD

Компонентите в паралелна конфигурация се отнасят към редундантни системи. Редундантността (резервираността) е много важен аспект при системния дизайн, защото води до повишаване на надеждността.

Вероятността за отказ за система от  $n$  статистически независими паралелно свързани компоненти е вероятността всички компоненти да откажат и се изразява с:

$$Q_S = P(X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_n) = P(X_1)P(X_2 | X_1)P(X_3 | X_1 X_2) \dots P(X_n | X_1 \dots X_{n-1})$$

където  $Q_S$  е ненадеждността на системата или Вероятността за отказ на системата,  $P(X_i)$  е вероятността компонент  $i$  да откаже.

В случая на независими режими на отказ уравнението става:

$$R_S = 1 - Q_S = 1 - (Q_1 \cdot Q_2 \cdot \dots \cdot Q_n) = 1 - [(1 - R_1) \cdot (1 - R_2) \cdot \dots \cdot (1 - R_n)] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

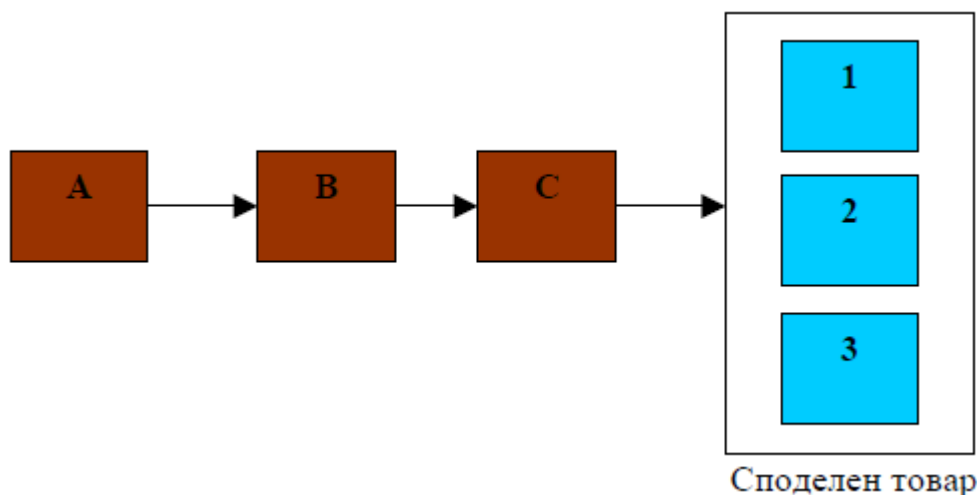
• ***K от N паралелна*** - специален случай на простата паралелна редундантност. Този тип конфигурация изисква поне  $K$  от  $N$  компонента да работят, за да работи системата. В случая, когато  $K = N$  конфигурацията става серийна, а когато  $K = 1$  конфигурацията става проста паралелна. Надеждността на  $K$  от  $N$  независими и идентични компонента се изчислява чрез биномното разпределение:

$$R_S(k, n, R) = \sum_{r=k}^n \binom{n}{r} R^r (1 - R)^{n-r}$$

където  $n$  е общият брой компоненти свързани паралелно,  $k$  е минималният брой компоненти необходими за функционирането на системата,  $R$  е надеждността на всеки компонент.

Надеждността на неидентични  $K$  от  $N$  независими компоненти се изчислява по различен начин – чрез метода на взаимно изключващите се събития.

• ***споделен товар и Stand-By редундантност*** - Компонентите в споделения товар показват различни характеристики на надеждност, когато един или повече от един от тях откаже. Блокове 1, 2 и 3 са споделен товар и имат свои собствени характеристики на отказите. Трите блока трябва да откажат, за да откаже контейнерът-товар. Когато единият компонент откаже, това променя характеристиките на отказ на останалите, тъй като те трябва да носят по-висок товар за компенсация на отказалия. Характеристиките на всеки блок в контейнера-товар се дефинират чрез разпределение на времената на живот и връзката между живота и натоварването



*RBD със споделен контейнер-товар*

Надеждността на контейнера-товар се изчислява за случай на два компонента по формулата:

$$R_{LS}(t, S) = R_1(t, S_1) \cdot R_2(t, S_2) + \int_0^t f_1(x, S_1) \cdot R_2(x, S_2) \cdot \left( \frac{R_2(t_{1e} + (t-x), S)}{R_2(t_{1e}, S)} \right) dx + \\ + \int_0^1 f_2(x, S_2) \cdot R_1(x, S_1) \cdot \left( \frac{R_1(t_{2e} + (t-x), S)}{R_1(t_{2e}, S)} \right) dx$$

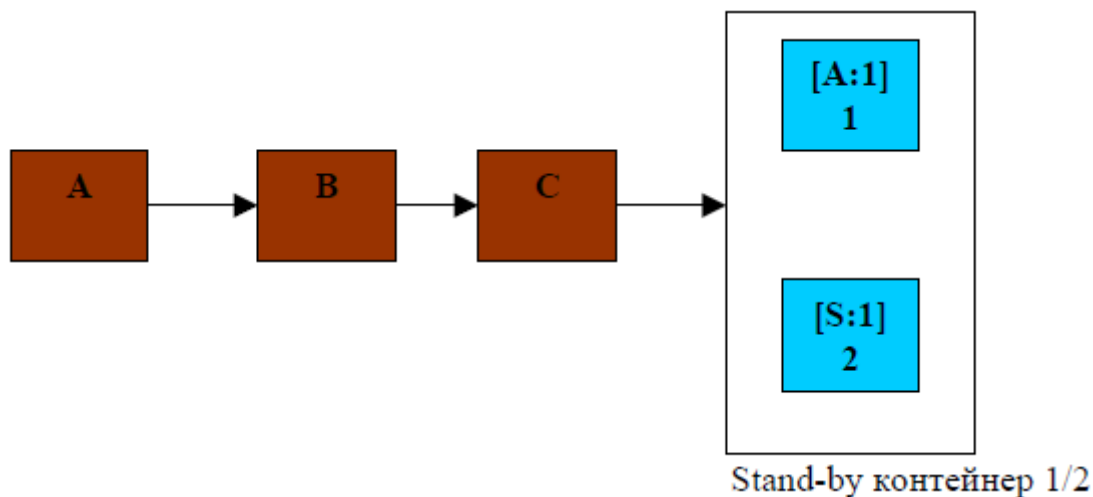
където  $S_1 = S \cdot P_1$  и  $S_2 = S \cdot P_2$

$S$  е общият товар (необходимият изход);  $P_1$  и  $P_2$  са части от общия товар, които всеки компонент поддържа, когато компонентите работят (в конкретния случай  $P_1 = P_2 = 50\%$ );  $S_1$  и  $S_2$  представят частите от товара, които компонент 1 и компонент 2 трябва да поддържат, когато двата компонента работят,  $t_{1e}$  е еквивалентното работно време за компонент 1, ако той работи при товар  $S$  вместо  $S_1$ .

$$R_S = R_A R_B R_C R_{LS}$$

е надеждността на цялата система.

Stand-by контейнерът има две цели. Първата е ясно да очертава и дефинира връзките между активните компоненти и stand-by компонента. Втората цел е да работи като управлява процеса на превключване. Поради тази причина контейнерът може да се дефинира с негови собствени вероятности на успешно активиране на stand-by компонентите, когато е необходимо. Фигурата включва stand-by контейнер с два компонента в stand-by конфигурация, където само единият компонент е активен, а другият е в престой.



*RBD със Stand-by контейнер*

Надеждността на контейнера се определя от следното уравнение:

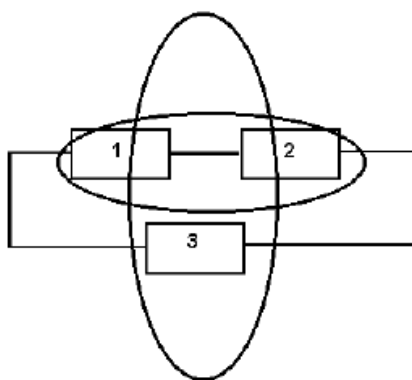
$$R(t) = R_1(t) + \int_0^t f_1(x) R_{2;SB}(x) * \frac{R_{2;A}(t_e + t - x)}{R_{2;A}(t_e)} dx$$

където:  $R_1$  е надеждността на активния компонент;  $f_1$  е pdf на активния компонент;  $R_{2;SB}$  е надеждността на stand-by компонента, когато е в stand-by режим;  $R_{2;A}$  е надеждността на stand-by компонента в активен режим;  $t_e$  е еквивалентното работно време на stand-by компонента, ако работеше в активен режим така че:

$$R_{2;SB}(x) = R_{2;A}(t_e)$$

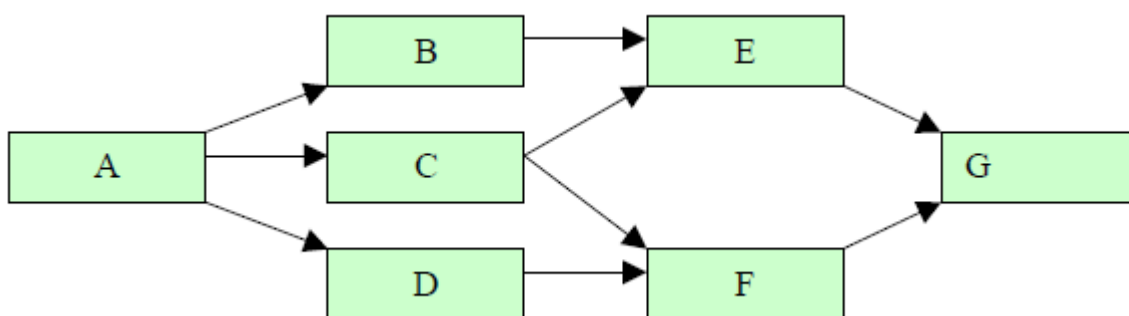
което се решава относно  $t_e$  и се замества в уравнението за  $R(t)$ .

• **Комбинирана (серийна и паралелна)** - Системи с този тип конфигурация могат да се анализират чрез изчисляване на надеждностите поотделно за серийните компоненти и паралелните компоненти и след това да се комбинират по подходящ начин



Комбинирана RBD от серийни и паралелни подсистеми

• **Комплексна** - В много случаи е трудно да се разбере кои компоненти са свързани паралелно и кои последователно. Фигурата е добър пример за комплексна система и както се вижда системата не може да се раздели на групи от серийни и паралелни подсистеми.



Пример за система с комплексна RBD

За изчисляване на надеждността на комплексните системи се използват следните методи: декомпозиционен, метод на възможните пътища и метод на взаимно изключващите се събития.

## ЗАДАЧИ ЗА ИЗПЪЛНЕНИЕ

### А. Аналитичен подход за изчисление на надеждността на електронна система

1. Оценете надеждността на електронна система  $R_S$  със серийна RBD, състояща се от три компонента на ненадеждност (блока), всеки от които има вероятност за безотказна работа  $R = 0,8$ .

- Оценете как ще се промени надеждността на системата  $R_S$  ако се включи в серийната RBD още един четвърти компонент с надеждност  $R = 0,8$

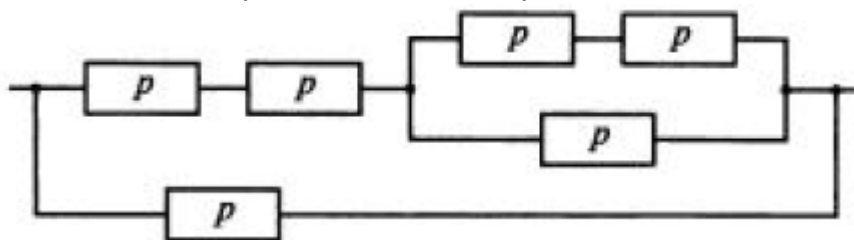
- Оценете как ще се промени надеждността на системата  $R_S$  ако се включи в серийната RBD още един четвърти компонент с надеждност  $R = 0,9$

2. Оценете надеждността на електронна система  $R_S$  с паралелна RBD, състояща се от три компонента на ненадеждност (блока), всеки от които има вероятност за безотказна работа  $R = 0,8$ .

- Оценете как ще се промени надеждността на системата  $R_S$  ако се включи в паралелната RBD още един четвърти компонент с надеждност  $R = 0,8$

- Оценете как ще се промени надеждността на системата  $R_S$  ако се включи в паралелната RBD още един четвърти компонент с надеждност  $R = 0,9$

3. Оценете ненадеждността на системата с комбинирана RBD, като се знае че всичките 6 блока са равнонадеждни с  $p = 0,7$ .



4. Оценете надеждността на система от три паралелно свързани резистора, всеки от които има надеждност  $R = 0,95$ , като се знае че вида на отказите е топлинна деструкция.

## II. МОНТЕ КАРЛО симулации на надеждност

1. Всяка подгрупа работи с данните зададени от преподавателя, за да оцени надеждността за сериен, паралелен, k от n и Stand-by модели.
2. Анализират резултатите и направят заключения

*За сериен и паралелен модел данните са:*

$$\lambda_1 = \lambda_4 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

$$\lambda_2 = \lambda_3 = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$$

време на мисия T: 15 000 h и 25 000

брой итерации: 1000 и 5000

*За модел K от N данните са:*

модел 3 от 5

$$\lambda_1 = \lambda_4 = \lambda_5 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

$$\lambda_2 = \lambda_3 = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$$

време на мисия T: 15 000 h и 25 000

брой итерации: 1000 и 5000

*За Stand –by модел данните са:*

$$\lambda_1 = 5 \cdot 10^{-5} \text{ h}^{-1}$$

$$\lambda_2 = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$$

$$\lambda_3 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1}$$

време на мисия T: 15 000 h и 25 000

брой итерации: 1000 и 5000