

POUZDANOST TEHNIČKIH SUSTAVA

Ver. 23.10.09.

Predmetni nastavnik:
dr. sc. I. Čala, izv. prof.

Obrada:
dr. sc. D. Lisjak

SADRŽAJ

1. POUZDANOST

2. ANALIZA POUZDANOSTI ELEMENATA

2.1 Značajke pouzdanosti

2.2 Funkcije razdioba u teoriji pouzdanosti

2.3 Simulacija funkcija razdiobe

2.4 Rješavanje problema primjenom značajki pouzdanosti

2.5 Rješavanje problema primjenom funkcija razdioba

2.6 Simulacijski *Matlab*[®] program

3. ANALIZA POUZDANOSTI SUSTAVA

3.1 Primjer složenih tehničkih sustava

3.2 Sustavi sa serijskom vezom

3.3 Sustavi sa paralelnom vezom

3.4 Sustavi sa poluserijskom vezom

3.5 Sustavi sa poluparalelnom vezom

3.6 Sustavi sa sklopkom

3.7 Primjeri zadataka

1. POUZDANOST

• Definicija pouzdanosti

Pouzdanost je vjerojatnost da će sustav raditi na predviđeni način u određenom vremenu i u predviđenim radnim uvjetima, uz minimalne prekide uzrokovane greškama u dizajnu ili radu.

■ Vjerojatnost kvara

– Uvijek postoji mogućnost kvara i moguće ju je statistički odrediti.

■ Izvođenje namijenjene funkcije

– Sustav obavlja funkciju za koju je dizajniran. Ako ne radi ono što se očekuje, nije pouzdan.

■ Rad u određenom vremenskom periodu

– Postoji određena vjerojatnost da se kvar neće dogoditi prije isteka tog vremenskog perioda.

Pouzdanost mora biti uključena u proces dizajniranja sustava!

- **Metode određivanja pouzdanosti**

- **“a priori” (prediktivna) metoda**

- Pouzdanost sustava predviđa se “unaprijed” tj. u fazi razvoja i projektiranja sustava i to na temelju poznavanja komponenti sustava i njihovih pouzdanosti.

- **“a posteriori” metoda**

- Pouzdanost sustava određuje se na temelju podataka dobivenih iz eksploatacije sustava. Ova metoda vrši verifikaciju “a priori” metode te omogućava daljnju optimizaciju sustava.



- **Postupci za određivanje pouzdanosti**

- **ANALITIČKI**

- Postupak se temelji na poznavanju strukture procesa poznavanja kvarova pojedinih elemenata sustava.

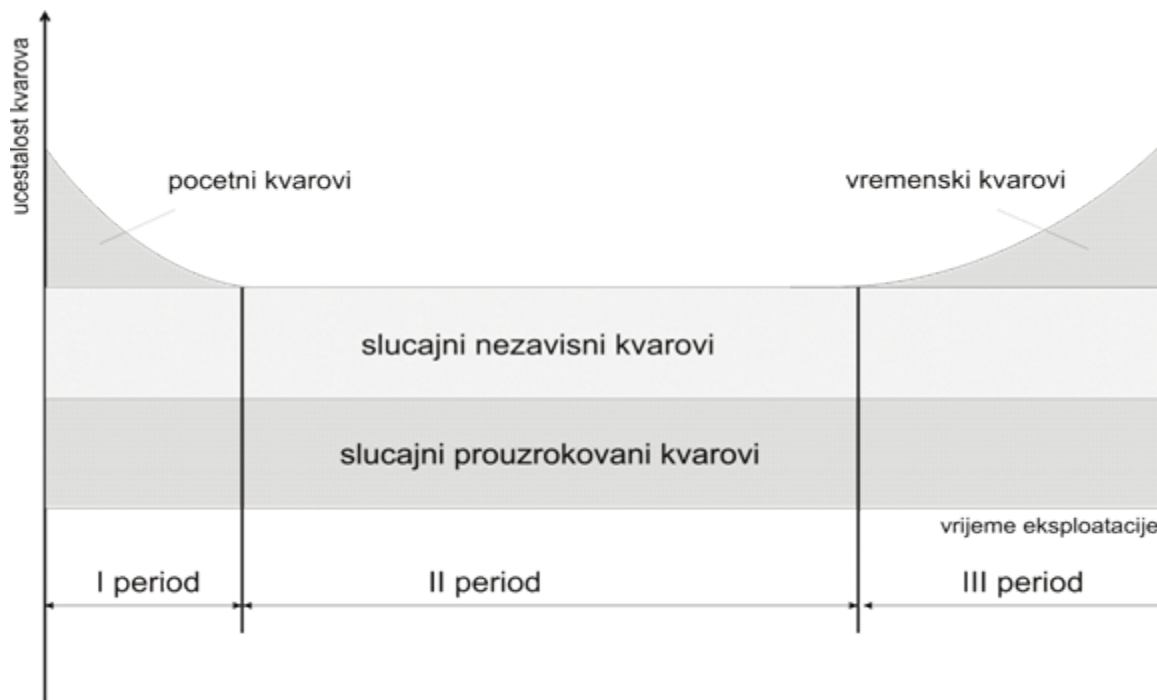
- **EKSPERIMENTALNI**

- Postupak se temelji na podacima dobivenim u laboratorijskim ili u uvjetima eksploatacije.

- **SIMULACIJSKI**

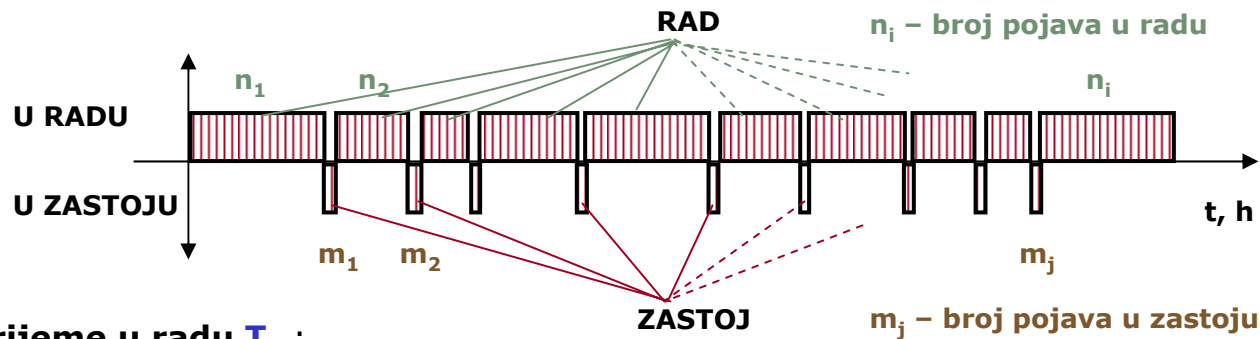
- Postupak se temelji na računalnim simulacijama rada odnosno ispada sustava.

- *Dijagram kade* – tipična prezentacija učestalosti kvarova



2. ANALIZA POUZDANOSTI ELEMENATA

2.1 Znacajke pouzdanosti



1. Vrijeme u radu T_{ur} :

- Ukupno:

$$T_{ur} = \sum_{i=1}^n t_{uri}, h$$

- Srednje:

$$T_{ur_sred} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{uri}}{n}, h$$

- Srednje kvadratno odstupanje (varijanca):

$$\sigma_{ur}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{uri} - T_{ur_sred})^2}{n}, h$$

2. Vrijeme u zastoju T_{uz} :

- Ukupno:

$$T_{uz} = \sum_{j=1}^m t_{uzj}, h$$

- Srednje:

$$T_{uz_sred} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{uzj}}{n}, h$$

- Srednje kvadratno odstupanje (varijanca):

$$\sigma_{uz}^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (t_{uzj} - T_{uz_sred})^2}{n}, h$$

3. Pouzdanost $R(t)$:

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

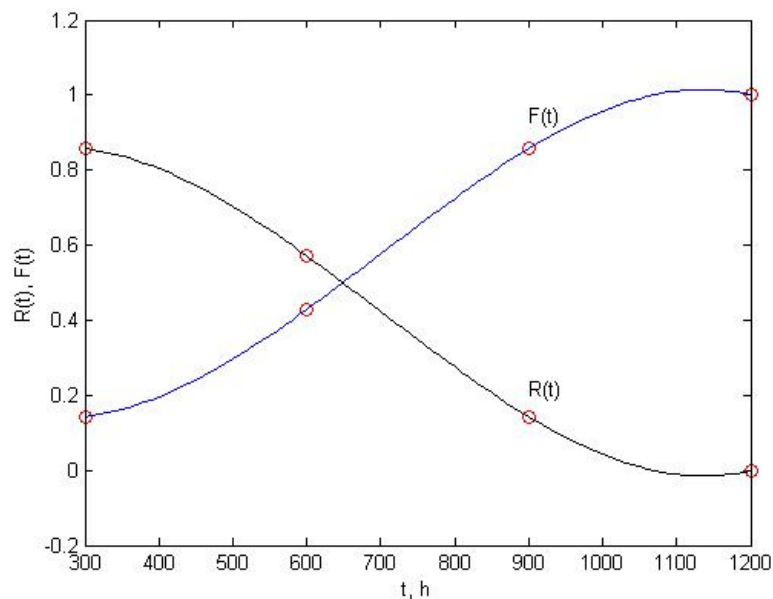
- n – ukupni broj pojava **U RADU** ili ukupni broj elemenata u trenutku $t=0$.
- $N(t)$ – ukupni broj stanja ili elemenata **U ZASTOJU** do trenutka t .
- $n(t)$ – ukupni broj stanja U RADU ili ukupni broj ispravnih elemenata do trenutka t .

4. Nepouzdanost $F(t)$:

$$F(t) = \frac{N(t)}{n} = 1 - R(t)$$

- Zbroj vjerojatnosti pojava u radu $R(t)$ i zastoju $F(t)$ uvijek je jednak jedinici:

$$F(t) + R(t) = 1$$



Tipičane krivulje pouzdanosti $R(t)$ i nepouzdanosti $F(t)$

5. Učestalost $f(t)$:

$$f(t) = \frac{N(\Delta t)}{n * \Delta t}, h^{-1}$$

- gdje $\Delta(t)$ je širina intervala:

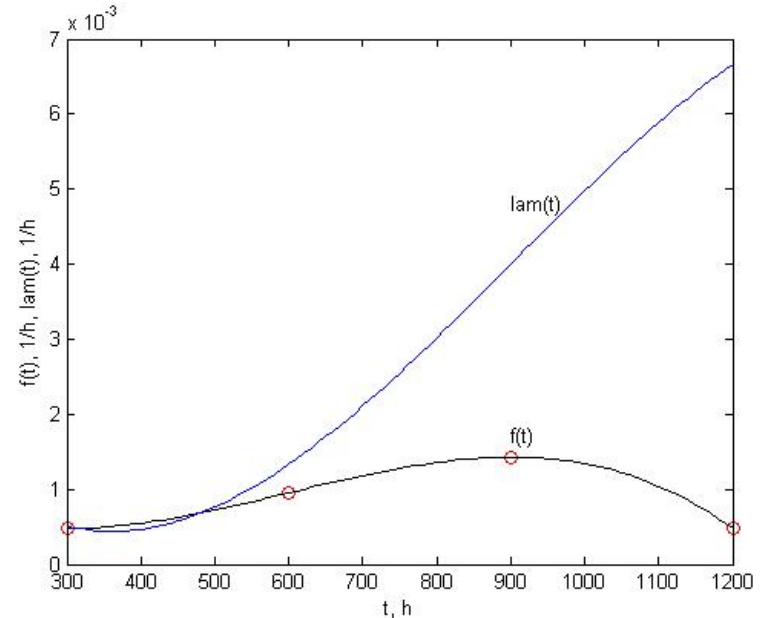
$$\Delta(t) = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{1 + 3,3 \log(n)}, h^{-1}$$

t_{\min} – vrijeme pojave prvog zastoja. Često je $t_{\min}=0$ zbog početka mjerenja.

t_{\max} – vrijeme posljednje pojave zastoja.

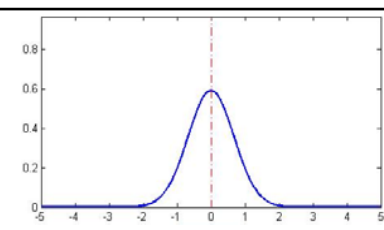
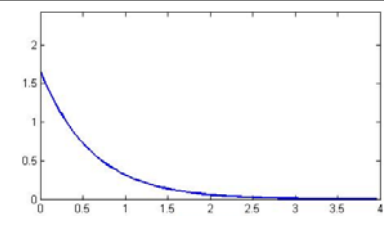
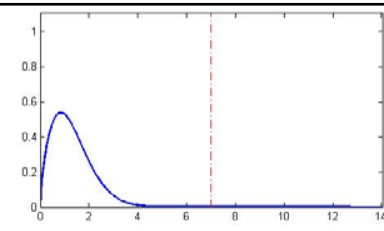
6. Intenzitet $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{N(\Delta t)}{\frac{n(t - \Delta t) + n(t)}{2} \Delta t}, h^{-1}$$

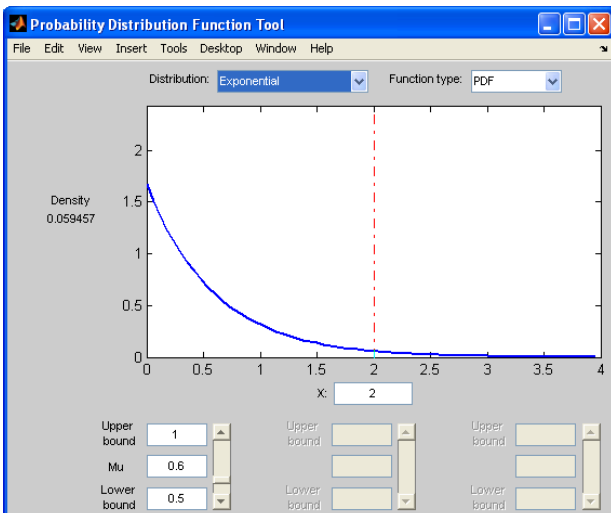
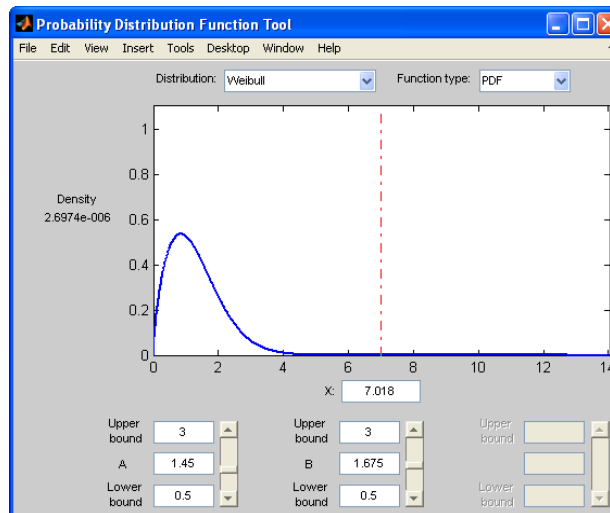
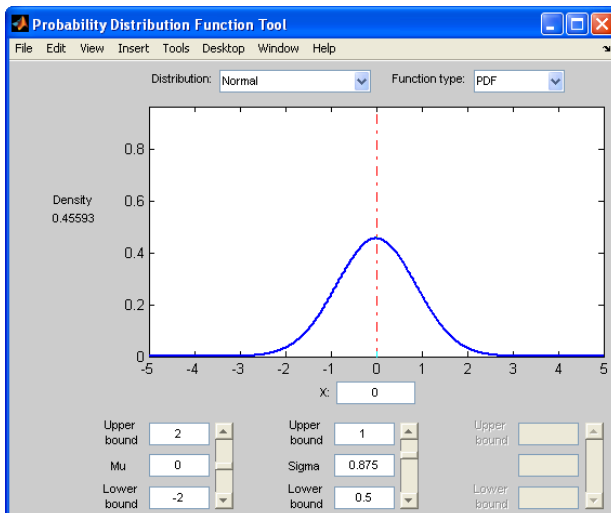


Tipične krivulje učestalosti $f(t)$ i intenziteta $\lambda(t)$

2.2 Funkcije razdioba u teoriji pouzdanosti

RAZDIoba	GRAF	Pouzdanost $R(t)$	Učestalost $f(t)$	Intenzitet $\lambda(t)$	Vrijeme u radu T_{ur}
Normalna		$0,5 + \Phi\left(\frac{t - T_{ur_sred}}{\sigma}\right)$	$0,5 + \frac{1}{\sigma} \phi\left(\frac{t - T_{ur_sred}}{\sigma}\right)$	$\frac{f(t)}{R(t)}$	T_{ur_sred}
Eksponen.		$e^{-\lambda t}$	$\lambda e^{-\lambda t}$	$\lambda = \text{const.}$	$\left(\frac{1}{\lambda}\right)$
Weibull		$e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$	$\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}$	$\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \eta$

2.3 Simulacija funkcija razdiobe



Matlab: *disttool*

Vrijeme u radu T_{ur}

$$T_{ur} = \sum_{i=1}^n t_{uri}, h$$

$$T_{ur_sred} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{uri}}{n}, h$$

$$\sigma_{ur}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (t_{uri} - T_{ur_sred})^2}{n}, h$$

$$\sigma_{ur} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{uri_sred} - T_{ur_sred})^2}{n} N(\Delta t)}, h$$

Vrijeme u zastoju T_{uz}

$$T_{uz} = \sum_{j=1}^m t_{uzj}, h$$

$$T_{uz_sred} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{uzj}}{n}, h$$

$$\sigma_{uz}^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (t_{uzi} - T_{uz_sred})^2}{n}, h$$

$$\sigma_{uz} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (t_{uzi_sred} - T_{uz_sred})^2}{n} N(\Delta t)}, h$$

Pouzdanost $R(t)$

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

Nepouzdanost $F(t)$

$$F(t) = \frac{N(t)}{n} = 1 - R(t)$$

Učestalost $f(t)$

$$f(t) = \frac{N(\Delta t)}{n * \Delta t}, h^{-1}$$

Intenzitet $\lambda(t)$

$$\lambda(t) = \frac{N(\Delta t)}{\frac{n(t - \Delta t) + n(t)}{2} \Delta t}, h^{-1}$$

Širina intervala $\Delta(t)$

$$\Delta(t) = \frac{t_{max} - t_{min}}{1 + 3,3 \log(n)}, h^{-1}$$

Normalna razdioba

$$R(t) = 0,5 + \Theta \left(-\frac{t_{uri} - T_{ur_sred}}{\sigma_{ur}} \right)$$

$$f(t) = 0,5 + \frac{1}{\sigma_{ur}} \Theta \left(-\frac{t_{uri} - T_{ur_sred}}{\sigma_{ur}} \right), h^{-1}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}, h^{-1}$$

$$T_{ur_sred} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{t_{uri} + t_{uri+1}}{2} N(\Delta t), h^{-1}$$

Eksponencijalna razdioba

$$R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, h^{-1}$$

$$\lambda(t) = \text{const.}, h^{-1}$$

$$T_{ur} = \left(\frac{1}{\lambda} \right)$$

Weibull-ova razdioba

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}$$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}, h^{-1}$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1}, h^{-1}$$

$$T_{ur} = \Gamma \left(1 + \frac{1}{\beta} \right) \eta, h$$

2.4 Rješavanje problema primjenom značajki pouzdanosti

Zadatak 1.

U procesu rada radijalne bušilice dobivena su sljedeća vremena u satima:

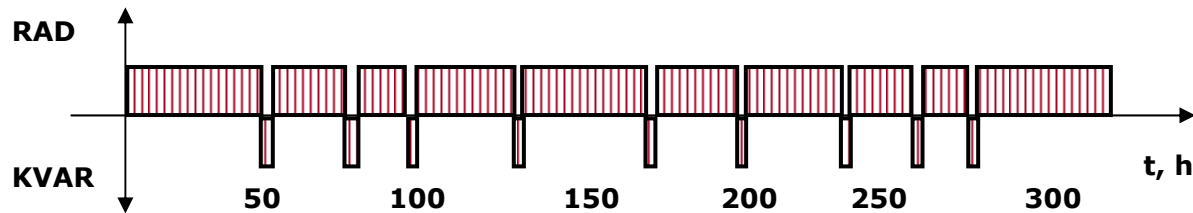
	Vrijeme, h									
RAD	47	23	16	34	41	28	32	20	18	39
KVAR	2	4	3	2	5	3	1	5	2	-

Potrebno je:

- Prikazati vremensku sliku stanja RAD – ZASTOJ:
- Odrediti ukupno, srednje vrijeme i srednje kvadratno odstupanje vremena u RADU i KVARU

Rješenje:

a) Vremenska slika stanja RAD – KVAR:



b) Vrijeme u radu T_{ur} :

- Ukupno:

$$T_{ur} = \sum_{i=1}^{10} t_{uri} = 47 + 23 + 16 + 34 + 41 + \dots + 39 = 298 \text{ h}$$

- Srednje:

$$T_{ur_{\bar{x}}} = \frac{\sum_{i=1}^{10} t_{uri}}{n} = \frac{298}{10} = 29,8 \text{ h}$$

- Srednje kvadratno odstupanje:

$$\sigma_{ur}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{10} (t_{uri} - T_{ur_{\bar{x}}})^2}{n - 1} = \frac{(47 - 29,8)^2 + (23 - 29,8)^2 + \dots + (39 - 29,8)^2}{10 - 1} = 11,73 \text{ h}$$

b) Vrijeme u kvaru T_{uk} :

- Ukupno:

$$T_{uk} = \sum_{j=1}^9 t_{ukj} = 2 + 4 + 3 + \dots + 2 = 27 \text{ h}$$

- Srednje:

$$T_{uk_{\bar{x}}} = \frac{\sum_{j=1}^9 t_{ukj}}{n} = \frac{27}{9} = 3 \text{ h}$$

- Srednje kvadratno odstupanje:

$$\sigma_{uk}^2 = \frac{\sum_{j=1}^9 (t_{ukj} - T_{uk_{\bar{x}}})^2}{n-1} = \frac{(2-3)^2 + (4-3)^2 + \dots + (2-3)^2}{9-1} = 2,25 \text{ h}$$

Zadatak 2.

Ispitivanjem pouzdanosti 7 remena elektromotora dobivena su sljedeća vremena kvarova istih u satima: 260, 400, 540, 680, 800, 890, 1200. Za navedena vremena kvarova remena potrebno je prema intervalima kvara analizirati sljedeće:

- a) Odrediti broj intervala z ,
- b) Odrediti širinu intervala Δt ,
- c) Odrediti broj kvarova po intervalu $N(\Delta t)$,
- d) Izračunati pouzdanost $R(t)$,
- e) Izračunati nepouzdanost $F(t)$,
- f) Izračunati učestalost kvarova $f(t)$,
- g) Izračunati intenzitet kvarova $\lambda(t)$,
- h) Grafički prikazati funkcije $R(t)$, $F(t)$, $f(t)$, $\lambda(t)$.

Rješenje:

a) Broj intervala (**z**) izračunava se prema izrazu:

$$z = 5 \log n$$

$$z = 5 \log n = 5 \log 7 = 4,22 \approx 4$$

b) Širina intervala (**Δt , h**) s obzirom da je najduže vrijeme ispravnog rada jednako vremenu sedmog vremena **$t_{\max} = 1200\text{h}$** i **$z = 4$** izračunava se prema izrazu.

$$\Delta t = \frac{t_{\max}}{z} = \frac{1200}{4} = 300\text{h}$$

c) Broj kvarova **$N(\Delta t)$** po intervalima širine **$\Delta t = 300\text{ h}$** je:

$$\text{Za } \Delta t = 0 \div 300\text{ h} \quad \text{---> } N(\Delta t) = 1$$

$$\text{Za } \Delta t = 300 \div 600\text{h} \quad \text{---> } N(\Delta t) = 2$$

$$\text{Za } \Delta t = 600 \div 900\text{h} \quad \text{---> } N(\Delta t) = 3$$

$$\text{Za } \Delta t = 900 \div 1200\text{h} \quad \text{---> } N(\Delta t) = 4$$

d) Pouzdanosti $R(t)$ izračunava se prema izrazu:

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

$$R(300) = \frac{n - N(300)}{n} = \frac{7 - 1}{7} = 0,86$$

$$R(600) = \frac{n - N(600)}{n} = \frac{7 - (1 + 2)}{7} = 0,57$$

$$R(900) = \frac{n - N(900)}{n} = \frac{7 - (1 + 2 + 3)}{7} = 0,14$$

$$R(1200) = \frac{n - N(1200)}{n} = \frac{7 - (1 + 2 + 3 + 1)}{7} = 0,0$$

e) Nepouzdanosti $F(t)$ od $t=0-1200$ h a za svaki $\Delta t=300$ h se određuje se prema izrazu:

$$F(t) = \frac{N(t)}{n} = 1 - R(t)$$

$$F(300) = 1 - R(300) = 1 - 0,86 = 0,1428$$

$$F(600) = 1 - R(600) = 1 - 0,57 = 0,4284$$

$$F(900) = 1 - R(900) = 1 - 0,14 = 0,8571$$

$$F(1200) = 1 - R(1200) = 1 - 0,0 = 1,000$$

f) Funkcija učestalosti kvarova $f(t)$ određuje se prema izrazu:

$$f(t) = \frac{N(\Delta t)}{n * \Delta t}, h^{-1}$$

$$f(300) = \frac{N(300)}{n * (\Delta t)} = \frac{1}{7 * 300} = 4,76 * 10^{-4}, h^{-1}$$

$$f(600) = \frac{N(600)}{n * (\Delta t)} = \frac{2}{7 * 300} = 9,52 * 10^{-4}, h^{-1}$$

$$f(900) = \frac{N(900)}{n * (\Delta t)} = \frac{3}{7 * 300} = 14,29 * 10^{-4}, h^{-1}$$

$$f(1200) = \frac{N(1200)}{n * (\Delta t)} = \frac{1}{7 * 300} = 4,76 * 10^{-4}, h^{-1}$$

g) Funkcija intenziteta kvarova $\lambda(t)$ određuje se prema izrazu:

$$\lambda(t) = \frac{N(\Delta t)}{\frac{n(t - \Delta t) + n(t)}{2} \Delta t}, h^{-1}$$

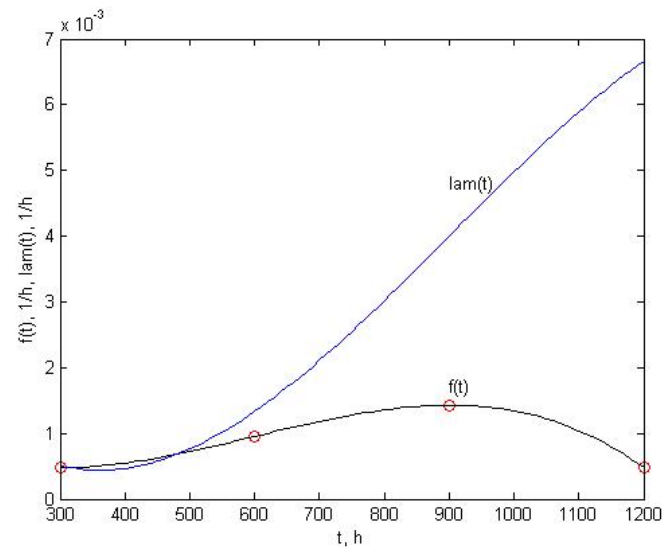
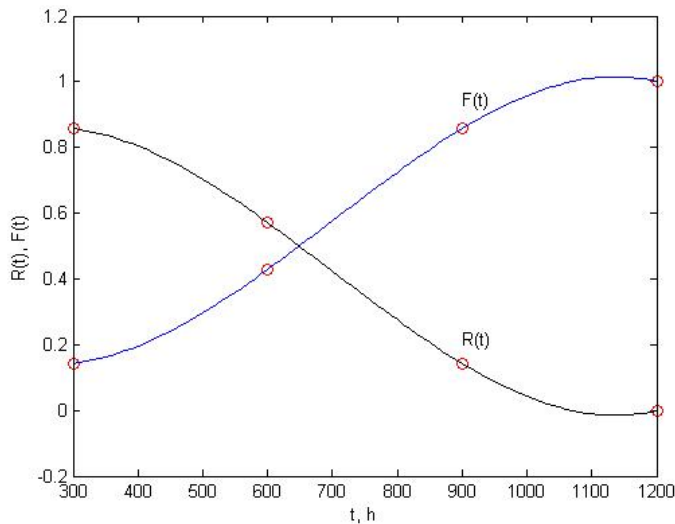
$$\lambda(300) = \frac{N(300)}{\frac{n(300 - 300) + n(300)}{2} \Delta t} = \frac{1}{\frac{(7 - 0) + (7 - 1)}{2} 300} = 5,128 * 10^{-4}, h^{-1}$$

$$\lambda(600) = \frac{N(300)}{\frac{n(600 - 300) + n(600)}{2} \Delta t} = \frac{2}{\frac{(7 - 1) + (7 - (1 + 2))}{2} 300} = 13,33 * 10^{-4}, h^{-1}$$

$$\lambda(900) = \frac{N(300)}{\frac{n(900 - 300) + n(900)}{2} \Delta t} = \frac{3}{\frac{(7 - (1 + 2)) + (7 - (1 + 2 + 3))}{2} 300} = 13,33 * 10^{-4}, h^{-1}$$

$$\lambda(1200) = \frac{N(300)}{\frac{n(1200 - 300) + n(1200)}{2} \Delta t} = \frac{1}{\frac{(7 - (1 + 2 + 3)) + (7 - (1 + 2 + 3 + 1))}{2} 300} = 66,67 * 10^{-4}, h^{-1}$$

h) Grafički prikazi funkcija **R(t)**, **F(t)**, **f(t)**, **λ(t)**.



Zadatak 9.

Na temelju dobivene funkcije pouzdanosti $R_t(t)$ iz zadatka 8. potrebno je odrediti:

- a) Pouzdanost sustava nakon 1500h rada
- b) Vrijeme kada pouzdanost padane na iznos 0.7

Rješenje:

a)

$$R_t(t) = e^{-\left(\frac{t}{1354.894836}\right)^{1.957623501}}$$

$$R_t(1500) = e^{-\left(\frac{1500}{1354.894836}\right)^{1.957623501}} = 0.295114827$$

b)

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} / \ln$$

$$\ln(R(t)) = -\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta$$

$$t = -\eta * \ln(R(t))^{\frac{1}{\beta}} = 1354.894836 * \ln(0.7)^{\frac{1}{1.957623501}} = 800.195 \text{ h}$$

Zadatak 10.

Televizor ima intezitet kvarova 0.002 h^{-1} . Kolika je vjerojatnost da neće doći do kvara tijekom tri mjeseca eksploatacije ako se televizor koristi svaki dan 4 sata? Koliko je srednje vrijeme između dva kvara?

Rješenje:

$$t = 3 \cdot 30 \cdot 4 = 360 \text{ h}$$

$$\lambda = 0.002 \text{ h}^{-1}$$

$$R = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-0.002 \cdot 360} = 0.48675$$

$$SVIK = MTBF = T_{ur} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.002} = 500 \text{ h}$$

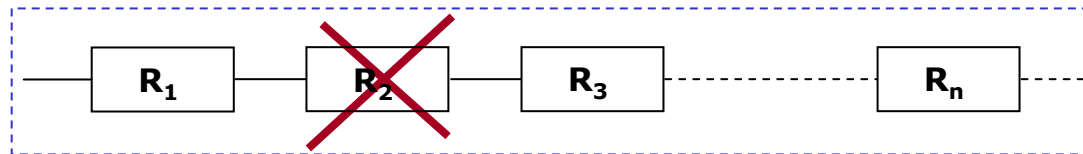
3. ANALIZA POUZDANOSTI SUSTAVA

- **Tehnički sustavi** predstavljaju skupove elemenata i relacije između njih i njihovih karakteristika, povezanih međusobno u cjelinu na način koji je pogodan za izvođenje korisnog rada.
- Složeni sustavi objedinjavaju veći ili manji broj sastavnih elemenata (podsustava, sklopova, podsklopova, dijelova) te se o njegovoj pouzdanosti može govoriti samo ako se analiziraju i analitički obuhvate svi elementi zasebno.
- Teorijom pouzdanosti analiziraju se načini povezivanja elemenata sustava na temelju kojih se dobiju analitički izrazi za izračunavanje pouzdanosti sustava.
- Načini povezivanja mogu biti:
 - serijski,
 - paralelni,
 - poluserijski,
 - poluparalelni,
 - sa sklopkom.

3.2 Sustavi sa serijskom vezom

- Elementi su povezani u serijski spoj, a kvar bilo kojeg elementa u spoju ima za posljedicu zastoj (kvar) cijelog sustava.

$$R_s = 0; F_s = 1$$



$$R_s = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n = \prod_{i=1}^n (1 - F_i) = \prod_{i=1}^n R_i$$

- Ako je pouzdanost svih elemenata međusobno jednaka ($R_i = R$) tada je:

$$R_s = (1 - F)^n = R^n$$

- Gdje je:

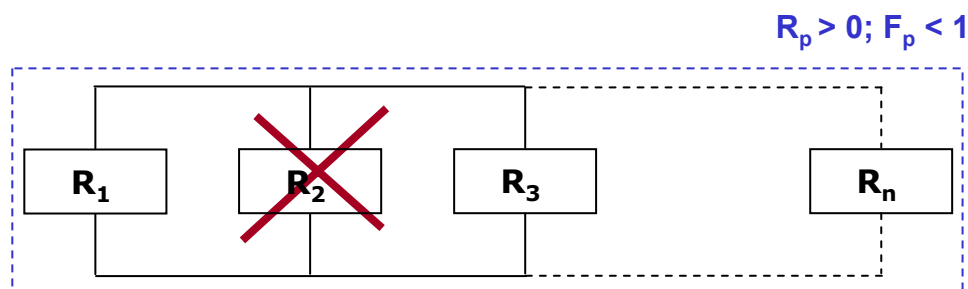
n – broj elemenata u spoju

R_i – pouzdanost pojedinog elementa

F_i – nepouzdanost pojedinog elementa

3.3 Sustavi sa paralelnom vezom

- Elementi su povezani u paralelni spoj, a kvar bilo kojeg elementa u spoju nema za posljedicu zastoja (kvara) cijelog sustava.



$$R_p = 1 - \prod_{i=1}^n F_i = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

- Ako je pouzdanost svih elemenata međusobno jednaka ($R_i=R$) tada je:

$$R_p = 1 - F^n = 1 - (1 - R)^n$$

- Gdje je:

n – broj elemenata u spoju

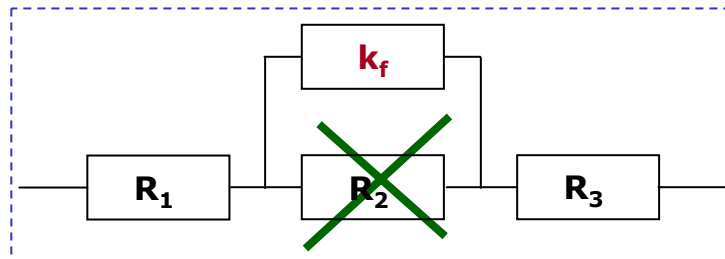
R_i – pouzdanost pojedinog elementa

F_i – nepouzdanost pojedinog elementa

3.4 Sustavi sa poluserijskom vezom

- Elementi su povezani u "poluserijsku" vezu kada kvar jednog ili više elemenata sustava nema za posljedicu zastoja cijelog sustava već sustav i dalje radi ali sa pogrešnim karakteristikama.

$$R_{PS} > 0; F_{PS} < 1$$



$$R_{PS} = R_1 \cdot [1 - (1 - R_2) \cdot (1 - k_f)] \cdot R_3$$

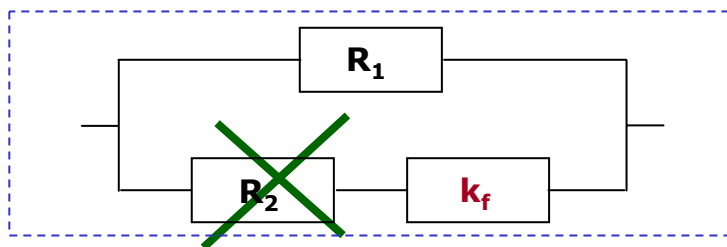
- Gdje je:

k_f – fiktivni element - faktor umanjena pouzdanosti nekog elementa sustava kada on ne radi kako bi trebao.

3.5 Sustavi sa poluparalelnom vezom

- Elementi su povezani u "poluparalelnu" vezu kada kvar jednog ili više elemenata sustava nema za posljedicu zastoja cijelog sustava već sustav i dalje radi ali sa pogrešnim karakteristikama.

$$R_{pp} > 0; F_{pp} < 1$$



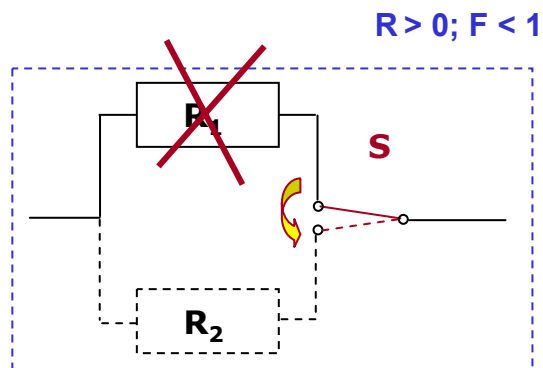
$$R_{pp} = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2 \cdot k_f)$$

- Gdje je:

k_f – faktor umanjena pouzdanosti nekog elementa sustava kada on ne radi kako bi trebao

3.6 Sustavi sa sklopkom

- Elementi su povezani u paralelnu vezu kod kojeg kvar jednog elemenata izaziva automatsko uključivanje sklopke **S** te sustav radi dalje bez zastoja.



- Idealno stanje sustava: - sklopka se uključuje kada je potrebno

$$R_{p_s} = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2)$$

- Realno stanje sustava:

- Element 1 radi ispravno, sklopka se aktivira prijevremeno i element 2 otkazuje,
- Element 1 otkazuje i sklopka otkazuje,
- Element 1 otkazuje, sklopka se propisno aktivira ali element 2 otkazuje.

- Pouzdanost sustava sa sklopkom:

$$R_{ps} = 1 - \underbrace{(R_1 \cdot Q'_S \cdot Q_2)}_{a)} + \underbrace{Q_1 \cdot Q_S}_{b)} + \underbrace{Q_1 \cdot R_S \cdot Q_2}_{c)}$$

F_{ps} - NEPOUZDANOST

- Gdje je:

R_1 – pouzdanost elementa 1

$Q_1 = 1 - R_1$ – nepouzdanost sklopke u serijskoj vezi sa elementom 1

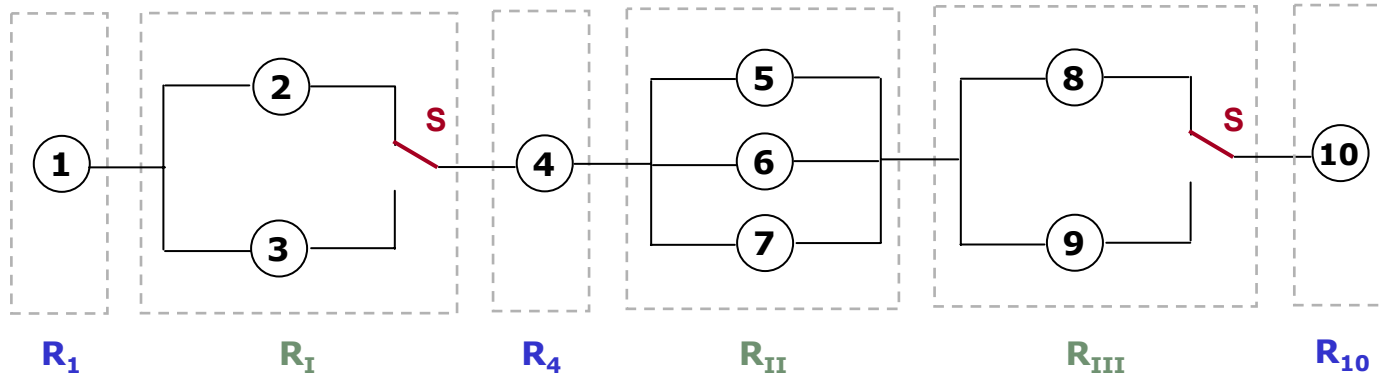
$Q_2 = 1 - R_2$ – nepouzdanost sklopke u serijskoj vezi sa elementom 2

Q_S – **vjerojatnost** (nepouzdanost) uključivanja sklopke

Q'_S – **vjerojatnost** (nepouzdanost) prijevremenog uključivanja sklopke

$R_S = 1 - Q_S$ – pouzdanost sklopke u trenutku uključivanja

Primjer:



$$R_S = R_1 \cdot R_I \cdot R_4 \cdot R_{II} \cdot R_{III} \cdot R_{10}$$

$$R_I = 1 - (R_2 \cdot Q'_S \cdot Q_3 + Q_2 \cdot Q_S + Q_2 \cdot R_S \cdot Q_3)$$

$$R_{II} = 1 - (1 - R_5) \cdot (1 - R_6) \cdot (1 - R_7) = 1 - Q_5 \cdot Q_6 \cdot Q_7$$

$$R_{III} = 1 - (R_8 \cdot Q'_S \cdot Q_9 + Q_8 \cdot Q_S + Q_8 \cdot R_S \cdot Q_9)$$

3.7 Primjeri zadatka

Zadatak 1.

Odrediti pouzdanost za 3 sata rada sustava prikazanog na slici ako su zadane sljedeće veličine:

$$R_1 = 0.79$$

$$R_5 = 0.60$$

$$Q_9 = 0.10$$

$$R_2 = 0.68$$

$$R_6 = 0.65$$

$$R_{10} = 0.95$$

$$R_3 = 0.88$$

$$R_7 = 0.80$$

$$R_8 = 0.87$$

$$Q_4 = 0.42$$

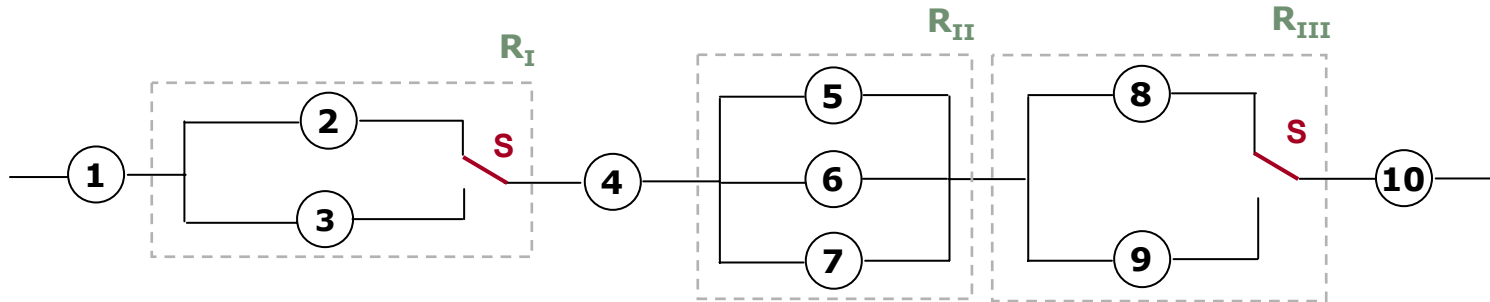
$$Q_8 = 0.34$$

Vjerojatnosti da se sklopka uključi prije vremena: $Q'_s = 0.00015$

Napomena:

-računati na 5 decimala

Rješenje:



$$R_I = 1 - (R_2 \cdot Q_S' \cdot Q_3 + Q_2 \cdot Q_S + Q_2 \cdot R_S \cdot Q_3) =$$

$$= 1 - (0.68 \cdot 0.00015 \cdot 0.12 + 0.32 \cdot 0.13 + 0.32 \cdot 0.87 \cdot 0.12) = 0.92498$$

$$Q_2 = 1 - R_2 = 1 - 0.68 = 0.32$$

$$Q_3 = 1 - R_3 = 1 - 0.88 = 0.12$$

$$R_{II} = 1 - [(1 - R_5) \cdot (1 - R_6) \cdot (1 - R_7)] = 1 - [0.4 \cdot 0.35 \cdot 0.2] = 0.972$$

$$R_{III} = 1 - (R_8 \cdot Q_S' \cdot Q_9 + Q_8 \cdot Q_S + Q_8 \cdot R_S \cdot Q_9) =$$

$$= 1 - (0.66 \cdot 0.00015 \cdot 0.1 + 0.34 \cdot 0.13 + 0.34 \cdot 0.87 \cdot 0.1) = 0.92621$$

$$R_S = R_1 \cdot R_I \cdot R_4 \cdot R_{II} \cdot R_{III} \cdot R_{10} = 0.79 \cdot 0.92498 \cdot 0.58 \cdot 0.972 \cdot 0.92621 \cdot 0.95 = 0.36248$$

Zadatak 2.

Odrediti pouzdanost za 3 sata rada sustava prikazanog na slici ako su zadane sljedeće veličine:

$$R_1 = 0.72$$

$$\lambda_5 = 0.042611124$$

$$R_{s1} = 0.888$$

$$\lambda_2 = 0.003350112$$

$$Q_6 = 0.59$$

$$Q_{s2} = 0.223$$

$$Q_3 = 0.03$$

$$Q_7 = 0.15$$

$$R_{s3} = 0.999$$

$$R_4 = 0.90$$

$$R_8 = 0.80$$

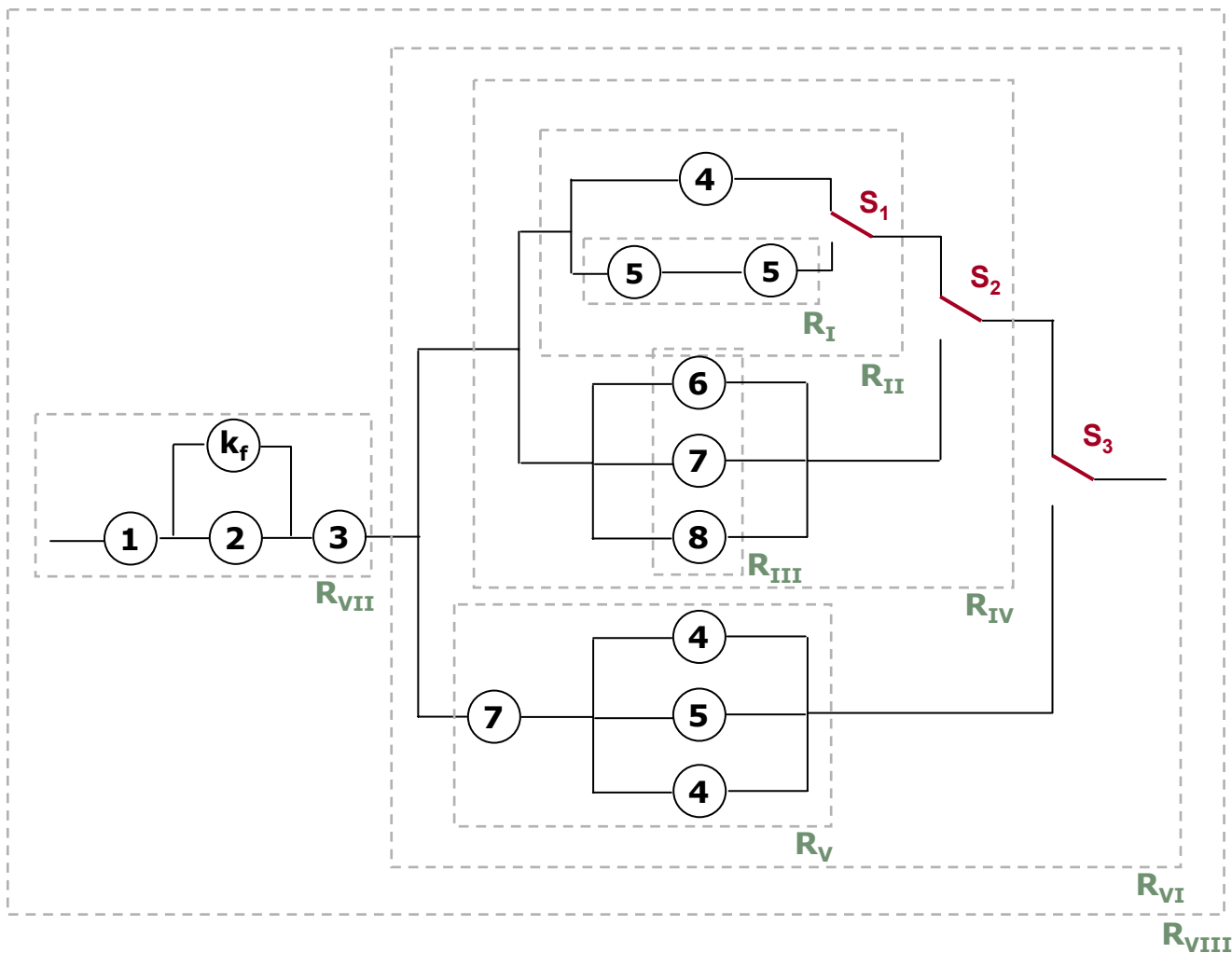
Pouzdanost fiktivnog elementa $k_f = 0.987$

Vjerojatnosti da se sklopke uključe prije vremena: $Q'_{s1} = 0.009$; $Q'_{s2} = 0.007$; $Q'_{s3} = 0.002$

Napomena:

- raspodjela pouzdanosti je eksponencijalna, a računa se za vrijeme od 3 sata,
- pouzdanost elemenata 2 i 5 zaokružiti na dvije decimale,
- sve ostale proračune raditi na 5 decimala.

Rješenje:



$$R_I = R_5^2 = (e^{-\lambda_5 \cdot t})^2 = (e^{-0.042611124 \cdot 3})^2 = 0.7744$$

$$Q_I = 1 - R_I = 1 - 0.7744 = 0.2256$$

$$R_{II} = 1 - (R_4 \cdot Q_{S1}' \cdot Q_I + Q_4 \cdot Q_{S1} + Q_4 \cdot R_{S1} \cdot Q_I) =$$
$$= 1 - (0.9 \cdot 0.009 \cdot 0.2256 + 0.1 \cdot 0.112 + 0.1 \cdot 0.888 \cdot 0.2256) = 0.96694$$

$$Q_{II} = 1 - R_{II} = 1 - 0.96694 = 0.03306$$

$$R_{III} = 1 - (Q_6 \cdot Q_7 \cdot Q_8) = 1 - (0.59 \cdot 0.15 \cdot 0.2) = 0.9823$$

$$Q_8 = 1 - R_8 = 1 - 0.80 = 0.20$$

$$Q_{III} = 1 - R_{III} = 1 - 0.9823 = 0.0177$$

$$R_{IV} = 1 - (R_{II} \cdot Q_{S2}' \cdot Q_{III} + Q_{II} \cdot Q_{S2} + Q_{II} \cdot R_{S2} \cdot Q_{III}) =$$
$$= 1 - (0.96694 \cdot 0.007 \cdot 0.0177 + 0.03306 \cdot 0.223 + 0.03306 \cdot 0.777 \cdot 0.0177) = 0.99205$$

$$Q_{IV} = 1 - R_{IV} = 1 - 0.99205 = 0.00795$$

$$R_V = R_7 \cdot (1 - (Q_4 \cdot Q_5 \cdot Q_4)) = 0.85 \cdot (1 - (0.1 \cdot 0.12 \cdot 0.1)) = 0.84898$$

$$Q_V = 1 - R_V = 1 - 0.84898 = 0.15102$$

$$R_{VI} = 1 - (R_{IV} \cdot Q_{S3}' \cdot Q_V + Q_{IV} \cdot Q_{S3} + Q_{IV} \cdot R_{S3} \cdot Q_V) =$$
$$= 1 - (0.99205 \cdot 0.002 \cdot 0.15102 + 0.00795 \cdot 0.001 + 0.00795 \cdot 0.999 \cdot 0.15102) = 0.99849$$

$$R_{VII} = R_1 \cdot [1 - (1 - R_2) \cdot (1 - k_f)] \cdot R_3 = 0.72 \cdot [1 - (1 - 0.99) \cdot (1 - 0.987)] \cdot 0.97 = 0.69831$$

$$R_{VIII} = R_{VII} \cdot R_{VI} = 0.69831 \cdot 0.99849 = 0.69726$$