## Zadatak 01:

Podaci o vremenu rada do otkaza *n=5* elemenata neke populacije dati su u tabeli.

| R. br. *j(t)* | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Vreme rada do otkaza, *t [h]* | 4000 | 6000 | 7200 | 8100 | 8900 |

Metodom *medijalnog ranga* odrediti empirijsku raspodelu funkcije nepouzdanosti (otkaza).

<u>Rešenje:</u>

Metodom medijalnog ranga empirijsku raspodelu funkcije nepouzdanosti se određuje preko formule:

$$F(t) = MR(t) = \frac{j(t) - 0{,}3}{n + 0{,}4} \ ,$$

što za *n=5* i vrednosti vremena rada elemenata do otkaza, datih u gornjoj tabeli, daje:

$$F(4000) = MR(4000) = \frac{1 - 0{,}3}{5 + 0{,}4} = 0{,}1296$$

$$F(6000) = MR(6000) = \frac{2 - 0{,}3}{5 + 0{,}4} = 0{,}3148$$

$$F(7200) = MR(7200) = \frac{3 - 0{,}3}{5 + 0{,}4} = 0{,}5$$

$$F(8100) = MR(8100) = \frac{4 - 0{,}3}{5 + 0{,}4} = 0{,}6852$$

$$F(8900) = MR(8900) = \frac{5 - 0{,}3}{5 + 0{,}4} = 0{,}8704 \, .$$

Praktično značenje dobijenih rezultata je sledeće: za približno *4000* časova rada otkazaće ~ *12,96%* elemenata posmatrane populacije, za približno *6000* časova rada otkazaće ~ *31,48%* elemenata posmatrane populacije itd.

Ovakav način određivanja broja (%) elemenata koji će otkazati za određeni broj časova rada predstavlja veoma grubu ocenu, iz razloga što je veličina uzorka mala.

**Zadatak 02:**

U laboratoriji se ispituje $n=12$ elemenata neke populacije, za koje se zna da imaju eksponencijalnu raspodelu vremena rada do otkaza. Posle otkaza sedmog elementa $(r=7)$ ispitivanje je prekinuto. Vreme rada do otkaza za pojedene elemente je dato u tabeli.

| R. br. $(i)$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Vreme rada do otkaza, $t_i$ $[h]$ | 1000 | 1500 | 2500 | 4900 | 6200 | 7500 | 9000 |

Odrediti srednje vreme bezotkaznog rada $T_0$, intenzitet otkaza $\lambda(t)$, funkciju pouzdanosti $R(t)$, funkciju nepouzdanosti $F(t)$ i gustinu funkcije nepouzdanosti $f(t)$ date populacije elemenata.

<u>Rešenje:</u>

Ako se zna da se vreme rada elemenata do otkaza ponaša po Eksponencijalnoj raspodeli, tada se srednje vreme rada do otkaza za celu populaciju može izračunati kao:

$$T_0 = \frac{1}{r} \cdot \left[ \sum_{i=1}^{r} t_i + (n-r) \cdot t_r \right],$$

što za $n=12$, $r=7$ i vrednosti vremena rada elemenata do otkaza, datih u gornjoj tabeli, daje:

$$T_0 = \frac{1}{7} \cdot \left[ 1000 + 1500 + 2500 + 4900 + 6200 + 7500 + 9000 + (12-7) \cdot 9000 \right]$$

$$T_0 = 11086 \text{ h.}$$

Intenzitet otkaza $\lambda(t)$, elemenata čije se vreme rada do otkaza ponaša po Eksponencijalnoj raspodeli, je konstantan $\lambda(t)=const.$, i na osnovu srednjeg vremena bezotkaznog rada $T_0$ se izračunava kao:

$$\lambda = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{11086} = 9{,}02 \cdot 10^{-5} \text{ 1/h odnosno } \approx \frac{9}{100000} \text{ [otkaza/čas]},$$

dok su izrazi za $R(t)$, $F(t)$ i $f(t)$ sledeći:

$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} = e^{-9{,}02 \cdot 10^{-5} \cdot t},$$

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t} = 1 - e^{-9{,}02 \cdot 10^{-5} \cdot t},$$

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} = 9{,}02 \cdot 10^{-5} \cdot e^{-9{,}02 \cdot 10^{-5} \cdot t}.$$

Posmatrani element će imati 9 otkaza na 100.000 časova rada. Ako se u sistemu nalazi samo jedan takav element, to znači da će u toku 100.000 časova rada sistema biti potrebno izvršiti 9 popravki (zamena) datog elementa. U slučaju da se u sistemu nalazi $N$ takvih elemenata to znači da će biti potrebno izvršiti $N \cdot 9$ zamena datog elementa u toku 100.000 časova rada sistema.

**Zadatak 03:**

Ispituje se pouzdanost određene populacije na uzorku od $n=50$ elemenata. Za vreme od $t$=12000 časova otkazalo je 6 elemenata, dok je u intervalu od 12000 – 30000 časova otkazalo još 4 elementa. Odrediti, na osnovu eksperimentalnih vrednosti, vrednosti funkcije pouzdanosti elementa od početka rada elementa do 12000-tog odnosno 30000-tog časa rada – $R(12000)$ i $R(30000)$, gustinu funkcije nepouzdanosti i intenzitet otkaza elementa za vremenski interval od 12000-tog do 30000-tog časa rada – $f(12000)$ i $\lambda(12000)$.

Rešenje:

Empirijski vrednost funkcije pouzdanosti elementa, od početka rada pa do nekog vremenskog trenutka $t$, može se približno odrediti na osnovu izraza:

$$R(t) \approx \frac{n(t)}{n},$$

gde je $n(t)$ broj elemenata koji nije otkazao do trenutka $t$ tj. $n(t)=n - m(t)$, dok $m(t)$ predstavlja broj elemenata koji je otkazao do vremenskog trenutka $t$.

Za $n=50$ i $t$=12000 časova → $m(12000)=6$, dok je
$n(12000)=50 - m(12000) = 50 - 6 = 44$ elementa.

Za $n=50$ i $t$=30000 časova → $m(30000)=6+4=10$, dok je
$n(30000)=50 - m(30000) = 50 - 10 = 40$ elementa.

Empirijska vrednost pouzdanosti za 12000 časova rada iznosi:

$$R(12000) = \frac{n(12000)}{50} = \frac{n - m(12000)}{50} = \frac{50-6}{50} = 0{,}88$$

odnosno za 30000 časova rada:

$$R(30000) = \frac{n(30000)}{50} = \frac{n - m(30000)}{50} = \frac{50-10}{50} = 0{,}8\,.$$

Empirijska vrednost funkcije nepouzdanosti $f(t)$ za vremenski interval od 12000-tog do 30000-tog časa rada izračunava se na osnovu izraza:

$$f(t) \approx \frac{m(t, t+\Delta t)}{n \cdot \Delta t}$$

gde $m(t,t+\Delta t)$ predstavlja broj elemenata koji su otkazali u intervalu $\Delta t$.

U konkretnom slučaju dužina vremenskog intervala je $\Delta t=30000 - 12000 = 18000$ časova, dok je $m(12000,30000)=4$ elementa.

Empirijska vrednost funkcije nepouzdanosti $f(12000)$ iznosi:

$$f(12000) \approx \frac{m(12000,30000)}{50 \cdot 18000} = \frac{4}{50 \cdot 18000} = 4{,}44 \cdot 10^{-6} \, .$$

Vrednost intenziteta otkaza $\lambda(t)$ za vremenski interval od 12000-tog do 30000-tog časa rada izračunava se na osnovu izraza:

$$\lambda(t) = \frac{m(t, t+\Delta t)}{n(t) \cdot \Delta t},$$

i iznosi:

$$\lambda(12000) = \frac{m(12000,30000)}{n(12000) \cdot 18000} = \frac{4}{44 \cdot 18000} = 5{,}1 \cdot 10^{-6} \text{ otkaza/čas.}$$

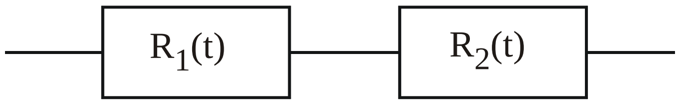
## Zadatak 04:

Odrediti pouzdanost, za *t=100* časova rada, sistema koji se sastoji od dva elementa čije su pouzdanosti $R_1(100)=0{,}9$ i $R_2(100)=0{,}8$ ako su elementi u sistemu povezani:

a) rednom vezom, i
b) paralelnom vezom.

<u>Rešenje:</u>

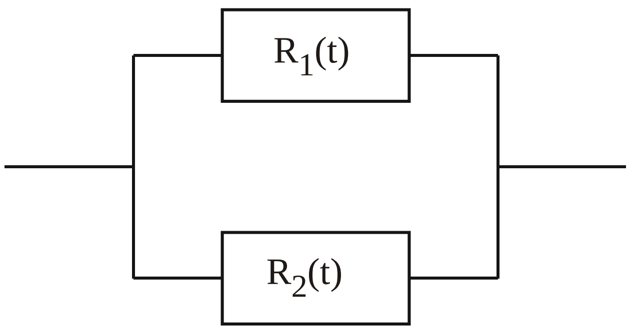
a) Sistem koji se sastoji od dva *redno* povezana elementa, šematski se može prikazati kao:




Pouzdanost sistema $R_S(t)$, dva redno povezana elementa, za *t=100* časova rada, određuje se preko izraza:

$$R_S(t)=R_1(t)\cdot R_2(t),$$
$$R_S(100)=R_1(100)\cdot R_2(100)=0{,}9\cdot 0{,}8=0{,}72\,.$$

b) Sistem koji se sastoji od dva *paralelno* povezana elementa, šematski se može prikazati kao:



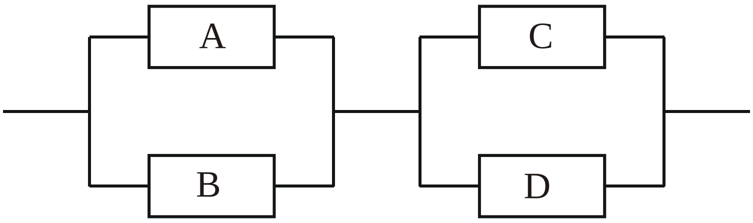

Pouzdanost sistema $R_S(t)$, dva paralelno povezana elementa, za *t=100* časova rada, određuje se preko izraza:

$$R_S(t)=1-\left[1-R_1(t)\right]\cdot\left[1-R_2(t)\right],$$
$$R_S(100)=1-\left[1-R_1(100)\right]\cdot\left[1-R_2(100)\right]=1-\left[1-0{,}9\right]\cdot\left[1-0{,}8\right],$$
$$R_S(100)=1-0{,}1\cdot 0{,}2=0{,}98\,.$$

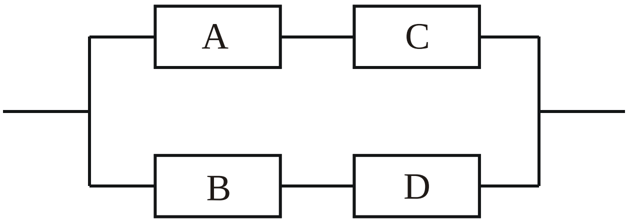
**Zadatak 05:**

Elementi sistema imaju sledeće pouzdanosti: $R_A=0{,}92$, $R_B=0{,}86$, $R_C=0{,}99$ i $R_D=0{,}89$. Odrediti pouzdanost sistema ako se elementi povezuju u sistem na sledeće načine:

a)




b)



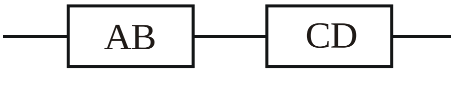

Rešenje:

a) Ovakav način povezivanja elemenata u sistem predstavlja tzv. „*redno-paralelnu*" vezu. Prvi korak u određivanu pouzdanosti sistema je određivanje ekvivalentne pouzdanosti paralelno povezanih elemenata: A i B – $R_{AB}$ i elemenata C i D – $R_{CD}$.

$$R_{AB}=1-[1-R_A]\cdot[1-R_B]=1-[1-0{,}92]\cdot[1-0{,}86]=1-0{,}08\cdot 0{,}14,$$
$$R_{AB}=0{,}9888.$$

$$R_{CD}=1-[1-R_C]\cdot[1-R_D]=1-[1-0{,}99]\cdot[1-0{,}89]=1-0{,}01\cdot 0{,}11,$$
$$R_{CD}=0{,}9989.$$

Ekvivalentna šema za određivanje pouzdanosti sistema svodi se na rednu vezu dva fiktivna elementa AB i CD tj.




$$R_s=R_{AB}\cdot R_{CD}=0{,}9888\cdot 0{,}9989=0{,}9877.$$

U slučaju da svi elementi imaju istu pouzdanost npr. $R_A=R_B=R_C=R_D=R=0{,}9$ pouzdanost sistema $R_S$ iznosi:

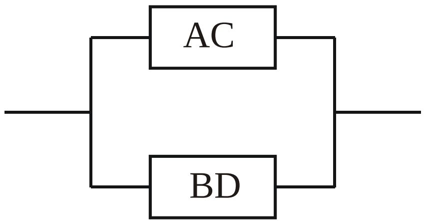
$$R_{AB} = 1 - [1 - R_A] \cdot [1 - R_B] = 1 - [1 - R]^2 = 1 - [1 - 0{,}9]^2,$$
$$R_{AB} = 0{,}99.$$
$$R_{CD} = 1 - [1 - R_C] \cdot [1 - R_D] = 1 - [1 - R]^2 = 1 - [1 - 0{,}9]^2,$$
$$R_{CD} = 0{,}99.$$

$$R_s = R_{AB} \cdot R_{CD} = 0{,}99 \cdot 0{,}99 = 0{,}9801.$$

b) Ovakav način povezivanja elemenata u sistem predstavlja tzv. „*paralelno-rednu*“ vezu. Prvi korak u određivanu pouzdanosti sistema je određivanje ekvivalentne pouzdanosti redno povezanih elemenata: A i C – $R_{AC}$ i elemenata B i D – $R_{BD}$.

$$R_{AC} = R_A \cdot R_C = 0{,}92 \cdot 0{,}99 = 0{,}9108$$
$$R_{BD} = R_B \cdot R_D = 0{,}86 \cdot 0{,}89 = 0{,}7654$$

Ekvivalentna šema za određivanje pouzdanosti sistema svodi se na paralelnu vezu dva fiktivna elementa AC i BD tj.




$$R_s = 1 - [1 - R_{AC}] \cdot [1 - R_{BD}] = 1 - [1 - 0{,}9108] \cdot [1 - 0{,}7654],$$
$$R_s = 1 - 0{,}0892 \cdot 0{,}2346 = 0{,}9791.$$

U slučaju da svi elementi imaju istu pouzdanost npr. $R_A = R_B = R_C = R_D = R = 0{,}9$ pouzdanost sistema $R_S$ iznosi:

$$R_{AC} = R_A \cdot R_C = R^2 = 0{,}9^2 = 0{,}81,$$
$$R_{BD} = R_B \cdot R_D = R^2 = 0{,}9^2 = 0{,}81,$$

$$R_s = 1 - [1 - R_{AC}] \cdot [1 - R_{BD}] = 1 - [1 - 0{,}81] \cdot [1 - 0{,}81],$$
$$R_s = 1 - 0{,}19^2 = 0{,}9639.$$

## Zadatak 06:

Sistem se sastoji od tri redno povezana elementa koji imaju konstantne intenzitete otkaza: $\lambda_1=4,2\cdot10^{-6}$ otkaza/h, $\lambda_2=8\cdot10^{-6}$ otkaza/h, $\lambda_3=0,5\cdot10^{-6}$ otkaza/h. Odrediti intenzitet otkaza sistema $\lambda_S$, pouzdanost sistema za $t=100$ časova rada – $R(100)$, srednje vreme bezotkaznog rada – $T_0$ i izraz za funkciju gustine nepouzdanosti – $f(t)$.

Rešenje:

Pošto su intenziteti otkaza konstantni, vreme rada do otkaza datih elemenata ima eksponencijalnu raspodelu. Intenzitet otkaza sistema $\lambda_S$, koga čine redno povezani elementi koji imaju eksponencijalnu raspodelu vremena rada do otkaza, određuje se kao zbir intenziteta otkaza sastavnih elemenata, tj.:

$$\lambda_S = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = (4{,}2 + 8 + 0{,}5) \cdot 10^{-6} = 12{,}7 \cdot 10^{-6} \text{ otkaza/h.}$$

Funkcija pouzdanosti $R(t)$ sistema koga čine redno povezani elementi koji imaju eksponencijalnu raspodelu vremena rada do otkaza je sledećeg oblika:

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

gde $\lambda_S$ intenzitet otkaza sistema. Za $t=100$ časova rada pouzdanost sistema iznosi:

$$R(100) = e^{-12{,}7\cdot10^{-6}\cdot100} = 0{,}9987 .$$

Srednje vreme bezotkaznog rada sistema $T_0$, u slučaju kada se vreme rada do otkaza ponaša po eksponencijalnoj raspodeli, određuje se kao recipročna vrednost intenziteta otkaza sistema, tj.:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_S} = \frac{1}{12{,}7 \cdot 10^{-6}} = 78740 \text{ h.}$$

Gustina funkcije nepouzdanosti $f(t)$, u slučaju kada se vreme rada do otkaza ponaša po eksponencijalnoj raspodeli, je oblika:

$$f(t) = \lambda_S \cdot e^{-\lambda_S \cdot t} = 12{,}7 \cdot 10^{-6} \cdot e^{-12{,}7\cdot10^{-6}\cdot t} .$$

U slučaju da su svi intenziteti otkaza elemenata međusobno jednaki npr. $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3= \lambda =8\cdot10^{-6}$ otkaza/h, intenzitet otkaza sistema bi bio jednak:

$$\lambda_S = 3 \cdot \lambda = 3 \cdot 8 \cdot 10^{-6} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ otkaza/h.}$$

**Zadatak 07:**

Sistem se sastoji od tri paralelno povezana elementa koji imaju konstantne intenzitete otkaza: $\lambda_1=4{,}2\cdot 10^{-6}$ otkaza/h, $\lambda_2=8\cdot 10^{-6}$ otkaza/h, $\lambda_3=0{,}5\cdot 10^{-6}$ otkaza/h. Odrediti pouzdanost sistema za $t=100$ časova rada – $R(100)$.

Rešenje:

Pošto su intenziteti otkaza konstantni, vreme rada do otkaza datih elemenata ima eksponencijalnu raspodelu. Pouzdanost sistema, koga čine paralelno povezani elementi, određuje se na osnovu izraza:

$$R(t)=1-[1-R_1(t)]\cdot[1-R_2(t)]\cdot[1-R_3(t)],$$

dok su funkcije pouzdanosti elemenata oblika:

$$R_1(t)=e^{-\lambda_1\cdot t},\ R_2(t)=e^{-\lambda_2\cdot t},\ R_3(t)=e^{-\lambda_3\cdot t}.$$

Za $t=100$ časova rada pouzdanost sistema iznosi:

$$R(100)=1-\left[1-e^{-4{,}2\cdot 10^{-6}\cdot 100}\right]\cdot\left[1-e^{-8\cdot 10^{-6}\cdot 100}\right]\cdot\left[1-e^{-0{,}5\cdot 10^{-6}\cdot 100}\right]$$

$$R(100)=1-[1-0{,}9996]\cdot[1-0{,}9992]\cdot[1-0{,}99995]$$

$$R(100)=1-0{,}0004\cdot 0{,}0008\cdot 0{,}00005=0{,}999999999984\approx 1.$$

U slučaju da su svi intenziteti otkaza elemenata međusobno jednaki npr. $\lambda_1=\lambda_2=\lambda_3=\lambda=8\cdot 10^{-6}$ otkaza/h, pouzdanosti elemenata bi bile jednake tj.:

$$R_1(t)=R_2(t)=R_3(t)=e^{-\lambda\cdot t},$$

odakle bi se pouzdanost sistema mogla odrediti kao:

$$R(t)=1-\left[1-e^{-\lambda\cdot t}\right]^3,$$

što za $t=100$ časova rada daje:

$$R(100)=1-\left[1-e^{-8\cdot 10^{-6}\cdot 100}\right]^3=1-[1-0{,}992]^3=1-0{,}0008^3$$

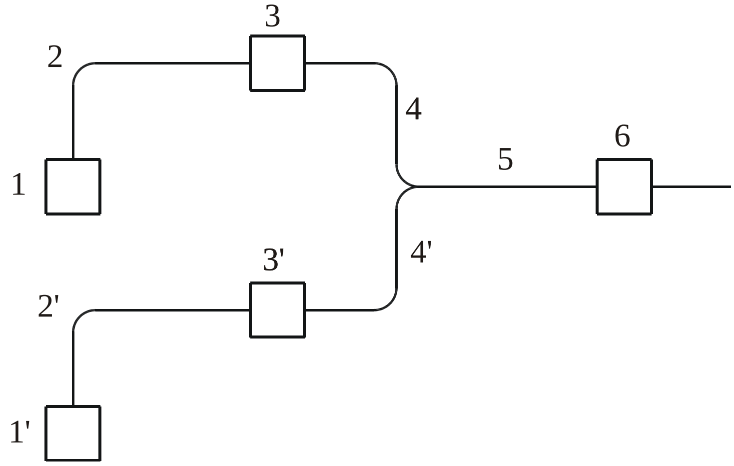
$$R(100)=0{,}999999999488\approx 1.$$

U ovom slučaju (intenziteti otkaza svih elemenata su međusobno jednaki) moguće je odrediti i srednje vreme bezotkaznog rada sistema $T_0$, što za $n=3$ elementa daje:

$$T_0=\frac{1}{\lambda}\cdot\left(1+\frac{1}{2}+....+\frac{1}{n}\right)=\frac{1}{8\cdot 10^{-6}}\cdot\left(1+\frac{1}{2}+\frac{1}{3}\right)=229166{,}67 \text{ časova.}$$

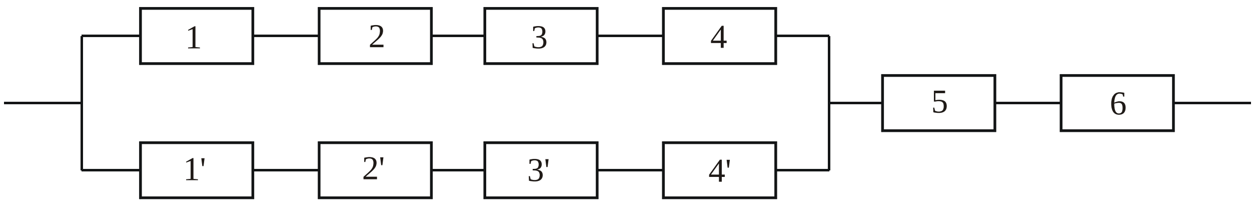
**Zadatak 08:**

Sistem za hidraulični transport, prikazan na slici, ima dve pumpe od kojih svaka ima kapacitet potreban za rad sistema. Naći pouzdanost sistema $R_S$ ako su pouzdanosti pojedinih elemenata sledeće: usisna korpa $R_1 = R_1' = 0{,}99$; usisni cevovod $R_2 = R_2' = 0{,}996$; pumpe $R_3 = R_3' = 0{,}92$; potisni cevovod $R_4 = R_4' = 0{,}98$; magistralni cevovod $R_5 = 0{,}96$ i hidrociklon $R_6 = 0{,}975$.

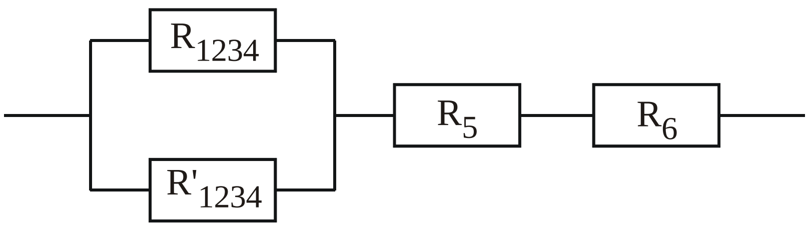



Rešenje:

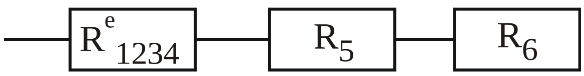
Šema povezivanja elemenata sistema za hidraulički transport sa stanovišta pouzdanosti je oblika:




Gornja šema se dalje može redukovati kao:




odnosno:



Prvi korak u izračunavanju pouzdanosti prikazanog sistema za hidraulički transport je izračunavanje pouzdanosti redne veze elemenata koju čine: usisna korpa, usisni cevovod, pumpa i potisni cevovod.

$$R_{1234} = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot R_4 = 0{,}99 \cdot 0{,}996 \cdot 0{,}92 \cdot 0{,}98 = 0{,}889 .$$

Pošto sistem za hidraulički transport ima ovakve dve identične grane, to je:

$$R'_{1234} = R_{1234} = 0{,}889 .$$

Kako svaka od ovih grana ima kapacitet potreban za rad sistema, to znači da su one povezane paralelno, sledeći korak u određivanju pouzdanosti sistema za hidraulički transport je određivanje ekvivalentne pouzdanosti ove dve grane kao:

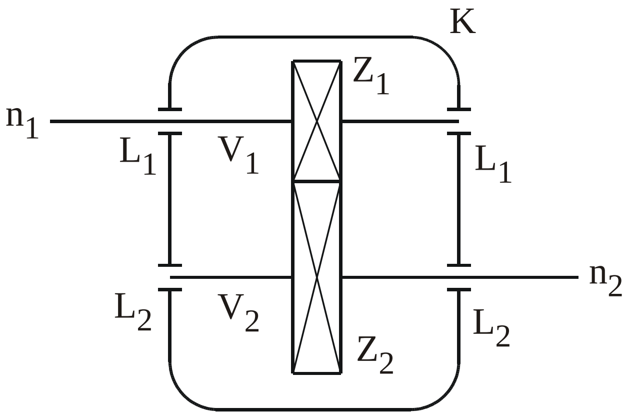
$$R^e_{1234} = 1 - \left[1 - R_{1234}\right]^2 = 1 - \left[1 - 0{,}889\right]^2 = 0{,}9877 .$$

Veza posmatranih grana sistema za hidraulički transport, magistralnog cevovoda i hidrociklona je redna, na osnovu čega se izračunava pouzdanost sistema $R_S$ za hidraulični transport kao:

$$R_S = R^e_{1234} \cdot R_5 \cdot R_6 = 0{,}9877 \cdot 0{,}96 \cdot 0{,}975 = 0{,}9245 .$$

## Zadatak 09:

Odrediti pouzdanost jednostepenog reduktora, prikazanog na slici, posle 2500 časova rada ako su intenziteti otkaza njegovih elemenata konstantni i iznose: kućište K: $\lambda_1=0$, ležaj $L_1$: $\lambda_2=0{,}76\cdot 10^{-4}$ otkaza/h, vratilo $V_1$: $\lambda_3=0{,}19\cdot 10^{-4}$ otkaza/h, zupčanika $Z_1$: $\lambda_4=0{,}57\cdot 10^{-4}$ otkaza/h, zupčanika $Z_2$: $\lambda_5=0{,}38\cdot 10^{-4}$ otkaza/h, vratilo $V_2$: $\lambda_6=0{,}23\cdot 10^{-4}$ otkaza/h i ležaj $L_2$: $\lambda_7=1{,}14\cdot 10^{-4}$ otkaza/h.




Rešenje:

Veza elemenata reduktora je redna, jer otkaz bilo kojeg elementa uzrokuje prestanak rada reduktora tj. njegov otkaz. Šema povezivanja elemenata reduktora sa stanovišta pouzdanosti je oblika:

$$—\boxed{K}—\boxed{L_1}—\boxed{L_1}—\boxed{V_1}—\boxed{Z_1}—\boxed{Z_2}—\boxed{V_2}—\boxed{L_2}—\boxed{L_2}—$$

Vreme rada do otkaza svih elemenata reduktora može se opisati eksponencijalnim raspodelama jer su im intenziteti otkaza konstantni. Intenzitet otkaza reduktora se na osnovu intenziteta otkaza elemenata (redno povezanih) određuje kao:

$$\lambda = \lambda_1 + 2\cdot\lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5 + \lambda_6 + 2\cdot\lambda_7 =$$

$$=(0+2\cdot 0{,}76+0{,}19+0{,}57+0{,}38+0{,}23+2\cdot 1{,}14)\cdot 10^{-4}$$

$$\lambda = 5{,}17\cdot 10^{-4} \text{ otkaza/h.}$$

Kako je intenzitet otkaza reduktora konstantan to je njegovo vreme rada do otkaza raspodeljeno po eksponencijalnoj raspodeli, dok pouzdanost reduktora za $t=2500$ časova rada iznosi:

$$R(t)=e^{-\lambda\cdot t} \rightarrow R(2500)=e^{-5{,}17\cdot 10^{-4}\cdot 2500}=0{,}2746\ .$$

## Zadatak 10:

Verovatnoća otkaza motora na avionu je 0,001 u toku leta od 6 časova. Za uspešan let aviona potrebno je da od postojeća tri motora najmanje dva budu ispravna. Ako su motori avionu istih karakteristika, odrediti pouzdanost leta aviona koji traje 6 časova.

<u>Rešenje:</u>

Može se smatrati da su motori aviona povezani preko tzv. delimične paralelne veze, jer je za uspešan let aviona potrebno da od postojeća tri motora najmanje dva budu ispravna.

Verovatnoća otkaza motora na avionu predstavlja u stvari vrednost funkcije nepouzdanosti $F(t)$, koja za $t=6$ časova leta iznosi 0,001 tj.:

$$F(6) = P(T \leq 6) = 0{,}001,$$

gde je $T$ slučajna promenljiva koja predstavlja vreme rada motora.

Pouzdanost $R(t)$ jednog motora u toku leta od 6 časova iznosi:

$$R(6) = 1 - F(6) = 1 - 0{,}001 = 0{,}999.$$

Kako su svi motori istih karakteristika (sa stanovišta pouzdanosti) i povezani su u sistem preko delimične paralelne veze, to se pouzdanost leta aviona određuje pomoću izraza:

$$R_A(t) = \sum_{x=k}^{n} \binom{n}{x} \cdot [R(t)]^x \cdot [1 - R(t)]^{n-x},$$

što za $n=3$ motora, vreme trajanja leta od $t=6$ časova tokom koga moraju najmanje $k=2$ motora ostati ispravna daje pouzdanost aviona kao:

$$R_A(6) = \sum_{x=2}^{3} \binom{3}{x} \cdot [R(6)]^x \cdot [1 - R(6)]^{3-x}$$

$$R_A(6) = \binom{3}{2} \cdot 0{,}999^2 \cdot 0{,}001^1 + \binom{3}{3} \cdot 0{,}999^3 \cdot 0{,}001^0 =$$

$$= \frac{3!}{2! \cdot (3-2)!} \cdot 0{,}999^2 \cdot 0{,}001 + \frac{3!}{3! \cdot (3-3)!} \cdot 0{,}999^3 =$$

$$= 3 \cdot 0{,}000998 + 0{,}997003$$

$$R_A(6) = 0{,}999997.$$

**Zadatak 11:**

Prekookeanski brodovi hladnjače za proizvodnju električne energije koriste dizel generatore. Na brodu postoje dva dizel generatora od kojih svaki ima kapacitet dovoljan za proizvodnju potrebne količine električne energije, tako da jedan generator radi dok je drugi u rezervi. U slučaju otkaza jednog generatora, drugi generator se automatski uključuje. Srednji intenziteti otkaza generatora su jednaki i iznose $\lambda = 1$ otkaz na *100* dana. Pod pretpostavkom da je generatore moguće popravljati jedino u luci, odrediti pouzdanost postrojenja za proizvodnju električne energije ako prosečno putovanje broda traje $t = 35$ dana.

Rešenje:

Postrojenje za proizvodnju električne energije na prekookeanskom brodu, u smislu pouzdanosti, predstavlja tzv. pasivnu paralelnu vezu odnosno “hladnu rezervu”, jer se drugi generator (rezerva) uključuje u rad samo u slučaju otkaza prvog generatora.

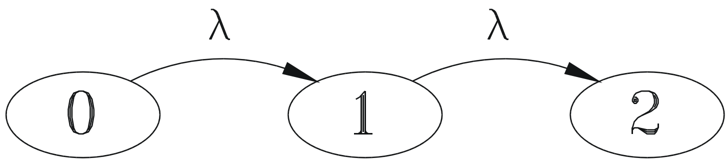
Sistem, postrojenje za proizvodnju električne energije, se sastoji od ukupno $n=2$ elemenata, gde je generator koji radi – element *1* tj. osnovni element pasivne paralelne veze dok je generator u rezervi – element *2* tj. rezervni element.

Brodsko postrojenje za proizvodnju električne energije može se naći u nekom od sledeća tri moguća stanja:

- $X=0$: oba generatora su ispravna (*0* ih je otkazalo), gde prvi generator (element *1*) radi dok je drugi generator (element *2*) u rezervi,
- $X=1$: prvi generator (element *1*) je otkazao a drugi generator (element *2*) radi,
- $X=2$: drugi generator (element *2*) je otkazao,

koja se mogu opisati verovatnoćama $p_0(t), p_1(t)$ i $p_2(t)$.

Dijagram promene stanja brodskog postrojenja za proizvodnju električne energije prikazan je na sledećoj slici:




Verovatnoća stanja $X=2$ – $p_2(t)$ predstavlja verovatnoću otkaza postrojenja za proizvodnju električne energije u zavisnosti od vremena.

Verovatnoća *n*–tog stanja procesa “rađanja” data je izrazom:

$$p_n(t) = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot t} = F(t)$$

i predstavlja funkciju nepouzdanosti $F(t)$ sistema sa pasivnom paralelnom vezom od $n$ elemenata.

Za $n=2$ verovatnoća otkaza brodskog postrojenja za proizvodnju električne energije tj. njegova funkcija nepouzdanosti je sledećeg oblika:

$$F(t) = p_2(t) = 1 - (1 + \lambda \cdot t) \cdot e^{-\lambda \cdot t} .$$

Za $\lambda = 1/100 = 0{,}01$ otkaza/dan i $t = 35$ dana verovatnoća otkaza $p_2(t)$ odnosno funkcija nepouzdanosti ima sledeću vrednost:

$$F(35) = p_2(35) = 1 - (1 + 0{,}01 \cdot 35) \cdot e^{-0{,}01 \cdot 35} = 0{,}0488 .$$

Funkcija pouzdanosti, verovatnoća da brodsko postrojenje za proizvodnju električne energije neće otkazati u toku putovanja tj za *35* dana, određuje se kao:

$$R(t) = 1 - F(t),$$

$$R(35) = 1 - F(35) = 1 - 0{,}0488 = 0{,}9512 .$$

Konačno, pouzdanost brodskog postrojenja za proizvodnju električne energije tj. verovatnoća da postrojenje neće otkazati u toku putovanja od *35* dana iznosi *0,9512*.