PROBLEME SEMINAR FIABILITATE

PROBLEMA 1

Se consideră un grup energetic echipat cu două cazane de abur, fiecare de 330 t/h care alimentează un turbogenerator cu puterea nominală de 200 MW.

Se presupune că grupul funcţionează în regim de bază fiind oprit pentru reparaţii planificate 1000 ore/an.

Se cere să se determine pentru o perioadă de 1 an următorii indicatori de fiabilitate

a)probabilităţile de funcţionare a grupului la sarcinile de 200 MW, 100 MW şi respectiv 0 MW.

b)duratele medii totale de funcţionare a grupului la sarcinile de 200 MW, 100 MW şi respectiv 0 MW.

c)numărul mediu de treceri din starea de funcţionare cu 200 MW disponibili în starea cu 100 MW disponibili .

d)numărul mediu de treceri din starea de funcţionare cu 200 MW disponibili sau 100 MW disponibili în starea cu 0 MW disponibili.

e)durata probabilă de utilizare a puterii disponibile şi durata probabilă de utilizare a puterii instalate.

f)gradul de utilizare a puterii disponibile şi gradul de utilizare a puterii instalate.

Aceşti indicatori se vor calcula în ipoteza că cele două elemente sunt independente, cerându-se însă să se verifice influenţa dependenţei elementelor asupra rezultatelor obţinute.

Se presupune că cele două cazane sunt identice, fiind dimensionate pentru a asigura fiecare câte 50% din aburul necesar funcţionării la parametrii nominali ai turbogeneratorului.

Valorile parametrilor de fiabilitate aferenţi celor două cazane şi generatorului sunt :

-pentru cazane

$\lambda_C=\lambda_1=\lambda_2=5{,}55\ 10^{-4}\ h^{-1}$

$\mu_C=\mu_1=\mu_2=333\ 10^{-4}\ h^{-1}$

$p_C=p_1=p_2=0{,}98361$

$q_C=q_1=q_2=0{,}01693$

-pentru turbogenerator

$\lambda_{TG}=\lambda_3=2\ 10^{-4}\ h^{-1}$

$\mu_{TG}=\mu_3=500\ 10^{-4}\ h^{-1}$

$p_{TG}=p_3=0{,}99602$

$q_{TG}=q_3=0{,}00398$

Deoarece în timpul unui an grupul stă în reparaţii planificate 1000 ore, calculul indicatorilor de fiabilitate va fi făcut pentru o durată de funcţionare de 8760-1000=7760 ore.

Rezolvare

Situaţiile posibile în funcţionarea grupului sunt:

a)toate elementele în funcţiune;

b)un cazan defect, turbogeneratorul şi celălalt cazan în funcţiune;

c)turbogeneratorul defect, cazanele în stare de funcţionare;

d)un cazan şi turbogeneratorul defecte, celălalt cazan în stare de funcţionare;

e)ambele cazane defecte, turbogeneratorul în stare de funcţionare;

f)ambele cazane şi turbogeneratorul defecte.

Probabilităţile de realizare a acestor stări vor fi:

$P_1=p_1p_2p_3=0{,}96363$

$P_2=q_1p_2p_3+p_1q_2p_3=0{,}03212$

$P_3=p_1p_2q_3 =0{,}00385$

$P_4=q_1p_2q_3p_1q_2q_3=0{,}00013$

$P_5=q_1q_2p_3=0{,}00027$

$P_6=q_1q_2q_3=0$

Odată determinate aceste probabilităţi, pot fi calculaţi indicatorii de fiabilitate ceruţi.

Probabilităţile de funcţionare la 200, 100 şi respectiv 0 MW vor fi:

$$P_{200}=P_1=0{,}96363$$

$$P_{100}=P_2=0{,}03212$$

$$P_0=P_3+P_4+P_5+P_6=0{,}00425$$

Duratele medii totale de funcţionare a grupului la puterile de 200, 100 şi respectiv 0 MW în perioada de referinţă sunt:

$$M[\alpha(T_p)]_{200}=P_1T_p=7477{,}8\text{ h}$$

$$M[\alpha(T_p)]_{100}=P_2T_p=249{,}25\text{ h}$$

$$M[\alpha(T_p)]_0=M[\beta(T_p)]=(P_3+P_4+P_5+P_6)T_p=32{,}98\text{ h}$$

Ultima relaţie arată că durata totală de funcţionare la 0 MW este de fapt durata totală de nefuncţionare în perioada de referinţă T_p.

Numărul mediu de treceri din starea de funcţionare cu 200 MW putere disponibilă în starea cu 100 MW putere disponibilă va fi :

$$M[\nu(T_p)]_{100}=P_1 2\,\lambda_C T_p=8{,}3\text{ treceri/an}$$

Numărul mediu de treceri din stările cu 200 şi respectiv 100 MW disponibili în starea cu 0 MW disponibili în perioada de referinţă

$$M[\nu(T_p)]_0=[P_1\,\lambda_{TG}+P_2(\lambda_C+\lambda_{TG})]T_p=1{,}68\text{ treceri/an}$$

Dacă presupunem că puterea disponibilă este egală cu puterea instalată de 200 MW, durata probabilă de utilizare a puterii disponibile şi durata totală de utilizare a puterii instalate sunt egale.

$$T_{pd}=T_{pi}=M(E_p)/200$$

unde $M(E_p)$ este energia probabil produsă pe durata de funcţionare planificată:

$$M(E_p)=200\ M[\alpha(T_p)]_{200} + 100\ M[\alpha(T_p)]_{100}=1520,4\ \text{GWh}$$

ceea ce conduce la :

$$T_{pd}=7602,4\ \text{h}$$

Gradul de utilizare a puterii disponibile şi gradul de utilizare a puterii instalate au aceeaşi valoare:

$$K_{pd}=K_{pi}=t_{pd}/Tp=0,97969$$

Pentru a verifica influenţa dependenţei elementelor componente asupra rezultatelor obţinute, se consideră în continuare că elementele ar fi dependente.

Ca urmare, trecerile din stările cu turbogeneratorul defect sau cu ambele cazane defecte în alte stări de defect nu mai sunt posibile.

Vor rezulta deci următoarele stări posibile ale funcţionării grupului:

a)toate elementele în funcţiune;

b)un cazan defect, turbogeneratorul şi celălalt cazan în funcţiune;

c)turbogeneratorul defect, cazanele în stare de funcţionare;

d)un cazan şi turbogeneratorul defecte, celălalt cazan în stare de funcţionare;

e)ambele cazane defecte, turbogeneratorul în stare de funcţionare.

Matricea intensităţilor de trecere este

$$q=\begin{bmatrix} -(2\lambda_C+\lambda_{TG}) & 2\lambda_C & \lambda_{TG} & 0 & 0 \\ \mu_C & -(\mu_C+\lambda_C+\lambda_{TG}) & 0 & \lambda_{TG} & \lambda_C \\ \mu_{TG} & 0 & -\mu_{TG} & 0 & 0 \\ 0 & \mu_{TG} & \mu_C & -(\mu_C+\mu_{TG}) & 0 \\ 0 & 2\mu_C & 0 & 0 & -2\mu_C \end{bmatrix}$$

Sistemul de ecuaţii din care se obţin probabilităţile de stare va fi:

$$\begin{cases} -(2\lambda_C+\lambda_{TG})P_1 + \mu_C P_2 + \mu_{TG} P_3 = 0 \\ 2\lambda_C P_1 - (\mu_C+\lambda_{TG}+\lambda_C)P_2 + \mu_{TG} P_4 + 2\mu_C P_5 = 0 \\ 3\lambda_{TG} P_1 - \mu_{TG} P_3 + \mu_C P_4 = 0 \\ \lambda_{TG} P_2 - (\mu_{TG}+\mu_C)P_4 = 0 \\ \lambda_C P_2 - 2\mu_C P_5 = 0 \\ P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 = 1 \end{cases}$$

Rezolvând acest sistem se va obţine:

$$P_1=\frac{1}{1+2\frac{\lambda_C}{\mu_C}+\frac{\lambda_{TG}}{\mu_{TG}}+2\frac{\lambda_C}{\mu_C}\frac{\lambda_{TG}}{\mu_{TG}+\lambda_C}+\left(\frac{\lambda_C}{\mu_C}\right)^2}=0.96367$$

$$P_2=2\frac{\lambda_C}{\mu_C}P_1=0,03213$$

$$P_3 = \frac{\lambda_{TG}}{\mu_{TG}} P_1 = 0{,}00385$$
$$P_4 = 2\frac{\lambda_C}{\mu_C}\frac{\lambda_{TG}}{\mu_{TG} + \lambda_C} P_1 = 0{,}00008$$
$$P_5 = \left(\frac{\lambda_C}{\mu_C}\right)^2 P_1 = 0{,}00027$$

deci o bună concordanţă cu valorile determinate pe baza ipotezei independenţei elementelor componente.

PROBLEMA 2

Să se analizeze soluţia de racordare a două grupuri de 330 MW printr-o singură linie de 20 km la barele unei staţii de 400 kV în raport cu soluţia de racordare a cîte unui grup pe cîte un circuit separat al unei linii cu dublu circuit.

Pentru aceasta se cere să se calculeze diferenţa de energie nelivrată pentru cele două soluţii pe o perioadă de 10 ani.

Se consideră că cele două grupuri sînt planificate să funcţioneze simultan 7000 h/an deci în perioada de referinţă durata de funcţionare planificată a ambelor grupuri va fi de 70.000 h.

Rezolvare

Fiind vorba de un calcul comparativ, energia medie nelivrată se va calcula numai pe această perioadă de timp (pe durata pe care unul dintre grupuri este oprit pentru reparaţii planificate şi celălalt este în funcţiune, cele două soluţii sunt echivalente din punct de vedere al fiabilităţii).

În cazul schemei cu o singură linie, fiecare grup va avea propriul transformator, întreruptor şi separator.

Valorile parametrilor de fiabilitate pentru elementele celor două scheme sunt :

-întreruptor

λ_I=0,2502 10^{-4} h^{-1}

μ_I=196,54 10^{-4} h^{-1}

-separator

λ_S=0,0117 10^{-4} h^{-1}

μ_S=968 10^{-4} h^{-1}

-linie simplu circuit

λ_L=0,0049 10^{-4} 20=0,1 10^{-4} h^{-1}

μ_L=485,5 10^{-4} h^{-1}

-transformator

λ_T=0,1 10^{-1} h^{-1}

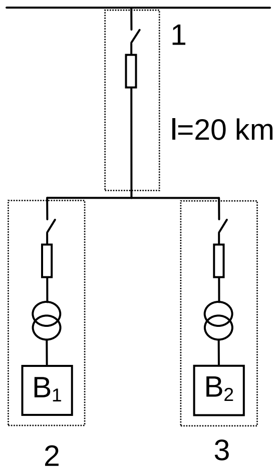
μ_T=10^{-3} h^{-1}

-bloc

λ_B=15 10^{-4} h^{-1}

μ_B=500 10^{-4} h^{-1}

Se poate folosi echivalarea grupurilor de elemente legate în serie, aşa cum este reprezentat în figurile 1 şi 2.



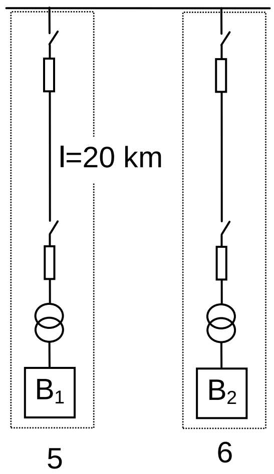


Fig.1 Schema de alimentare cu o linie

Fig.2 Schema de alimentare cu două linii

$$\lambda_1 = \lambda_I + \lambda_S + \lambda_L = 0{,}362 \cdot 10^{-4} h^{-1}$$

$$\mu_1 = \frac{\lambda_1}{\dfrac{\lambda_I}{\mu_I} + \dfrac{\lambda_S}{\mu_S} + \dfrac{\lambda_L}{\mu_L}} = 242{,}7 \cdot 10^{-4} h^{-1}$$

$$p_1 = \frac{\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1} = 0{,}998511$$

$$q_1 = 1 - p_1 = 0{,}00149$$

$$p_2 = p_3 = \frac{\mu_2}{\lambda_2 + \mu_2} = 0{,}96$$

$$q_2 = q_3 = 1 - p_2 = 0{,}039$$

$$\lambda_4 = \lambda_5 = 2\lambda_I + 2\lambda_S + \lambda_L + \lambda_T + \lambda_B = 15{,}72 \cdot 10^{-4} h^{-1}$$

$$\mu_4 = \mu_5 = \frac{\lambda_4}{2\dfrac{\lambda_I}{\mu_I} + 2\dfrac{\lambda_S}{\mu_S} + \dfrac{\lambda_L}{\mu_L} + \dfrac{\lambda_T}{\mu_T} + \dfrac{\lambda_B}{\mu_B}} = 367{,}6 \cdot 10^{-4} h^{-1}$$

$$p_4 = p_5 = \frac{\mu_4}{\lambda_4 + \mu_4} = 0{,}96$$

$$q_4 = q_5 = 1 - p_4 = 0{,}039$$

Presupunând în continuare că elementele 1,...,5 sunt independente, se pot calcula probabilităţile de stare.

a.Schema cu o singură linie

Stările posibile ale schemei sunt:

1.Cele trei elemente în funcţiune (1, 2 şi 36).

2.Elementul 1 defect, elementele 2 şi 3 în funcţiune.

3.Elementul 2 defect, elementele 1 şi 3 în funcţiune.

4.Elementul 3 defect, elementele 1 şi 2 în funcţiune.

5.Elementele 1 şi 2 defecte, elementul 1 în funcţiune.

6.Elementele 1 şi 3 defecte, elementul 2 în funcţiune.

7.Elementele 2 şi 3 defecte, elementul 1 în funcţiune.

8.Cele trei elemente defecte.

Probabilităţile acestor stări se pot obţine cu ajutorul relaţiilor următoare :

$P_1=p_1p_2p_3=0,92$

$P_2=q_1p_2p_3=0,00137$

$P_3=p_1q_2p_3=0,038$

$P_4=p_1p_2q_3=0,038$

$P_5=q_1q_2p_3=0,00006$

$P_6=q_1p_2p_3=0,00006$

$P_7=p_1q_2p_3=0,00157$

$P_8=q_1q_2q_3=0$

Energia medie nelivrată în perioada de funcţionare planificată de 7000 h va fi:

$$M(E_n)=\sum_{i=1}^{8}P_n^{(i)}\cdot t_i$$

$P_n^{(i)}$ -puterea nelivrată în starea i;

t_i -durata medie a stării i

$t_i=P_i\, T_p$

Efectuând calculele, se va obţine :

$M(E_n)=1897,896$ GWh

b.Schema cu două linii.

Pentru a lua în considerare scoaterea simultană din funcţiune a ambelor circuite ale liniei dublu circuit, se va introduce elementul fictiv 6, a cărui defectare va reprezenta evenimentul menţionat.

Parametrii de fiabilitate ai acestui element vor fi:

$$\lambda_6=\lambda_3\lambda_L=0{,}03\cdot10^{-4}h^{-1}$$
$$\mu_6=\mu_L=485{,}5\cdot10^{-4}h^{-1}$$
$$p_6=\frac{\mu_6}{\lambda_6+\mu_6}=0{,}999938$$
$$q_6=1-p_6=0{,}000062$$

Stările posibile în funcţionarea schemei sunt:

1.Cele trei elemente în funcţiune (4, 5 şi 6).

2.Elementul 4 defect, elementele 5 şi 6 în funcţiune.

3.Elementul 5 defect, elementele 4 şi 6 în funcţiune.

4.Elementul 6 defect, elementele 4 şi 5 în funcţiune.

5.Elementele 4 şi 5 defecte, elementul 6 în funcţiune.

6.Elementele 4 şi 6 defecte, elementul 5 în funcţiune.

7.Elementele 5 şi 6 defecte, elementul 4 în funcţiune.

8.Cele trei elemente defecte.

Probabilităţile acestor stări se determină cu relaţiile:

$P_1=p_4p_5p_6=0,9196$

$P_2=q_4p_5p_6=0,03933$

$P_3=p_4q_5p_6=0,03933$

$P_4=p_4p_5q_6=0,00006$

$P_5=q_4q_2p_6=0,00168$

$P_6=q_4p_5p_6=0$

$P_7=p_4q_5p_6=0$

$P_8=q_4q_5q_6=0$

Ca şi în cazul anterior, se calculează energia nelivrată, obţinând valoarea :

$$M(E_n)= 1897,665 \text{ GWh}$$

Diferenţa de energie nelivrată pentru cele două soluţii analizate va fi de 0,231 GWh.

Este evident că diferenţa de energie nelivrată de numai 231 MWh în 10 ani nu este suficientă pentru a justifica investiţia pentru realizarea liniei cu două circuite.

PROBLEMA 3

Un bloc energetic este echipat cu 3 electropompe pentru alimentarea cu apă a cazanului.

În regim normal de funcţionare, funcţionează două electropompe, cea de a treia se află în rezervă pasivă .

În cazul defectării oricăreia dintre cele aflate în funcţiune, automat se cuplează rezerva, timpul de cuplare fiind neglijabil.

Reparaţia planificată a electropompelor se face în perioada planificată pentru întregul bloc, durata acesteia fiind de 500 ore/an.

Cunoscând că pompele sunt identice din punct de vedere constructiv şi că intensităţile de defectare şi reparare ale unei electropompe au valorile:

λ_0=1,66 10^{-4} h^{-1}

μ_0=400 10^{-4} h^{-1}

să se determine pentru starea de succes 100%:

a)probabilităţile de succes şi de insucces;

b)durata medie totală anuală de succes şi respectiv de insucces;

c)numărul mediu anual de stări de insucces;

d)parametri echivalenţi de fiabilitate care pot caracteriza ansamblul celor trei pompe.

Se va considera că în momentul în care două electropompe sunt defecte, întregul bloc va fi oprit, şi că pompa aflată în rezervă nu se poate defecta .

Rezolvare

Stările prin care poate trece ansamblul celor trei electropompe sunt următoarele:

-starea 1 : două electropompe în funcţiune iar cea de a treia în rezervă;

-starea 2 : două electropompe în funcţiune iar cea de a treia defectă;

-starea 3 : o electropompă în funcţiune iar celelalte două defecte;

Starea cu trei electropompe defecte nu este posibilă deoarece odată cu atingerea stării 3 întregul grup este oprit şi cea de a treia electropompă nu se mai poate defecta.

Matricea q a intensităţilor de trecere va fi:

$$q=\begin{bmatrix} -2\lambda_0 & 2\lambda_0 & 0 \\ \mu_0 & -(2\lambda_0+\mu_0) & 2\lambda_0 \\ 0 & 2\mu_0 & -2\mu_0 \end{bmatrix}$$

Probabilităţile de stare P_1,P_2 şi P_3 se determină prin rezolvarea sistemului de ecuaţii scris sub formă matriceală:

$$[P_1 P_2 P_3]\cdot q = [000]$$

completat cu ecuaţia:

$$P_1+P_2+P_3=1$$

adică prin rezolvarea sistemului de ecuaţii liniare:

$$\begin{cases} -2\lambda_0 P_1 + \mu_0 P_2 = 0 \\ 2\lambda_0 P_1 - (2\lambda_0 + \mu_0) P_2 + 2\mu_0 P_3 = 0 \\ 2\lambda_0 P_2 - 2\mu_0 P_3 = 0 \\ P_1 + P_2 + P_3 = 1 \end{cases}$$

Rezolvând sistemul de ecuaţii astfel format se obţine soluţia:

$$P_1 = \frac{1}{1 + 2\frac{\lambda_0}{\mu_0} + 2(\frac{\lambda_0}{\mu_0})^2} = 0,9917$$

$$P_2 = 2\frac{\lambda_0}{\mu_0} P_1 = 0,008232$$

$$P_3 = 2(\frac{\lambda_0}{\mu_0})^2 P_1 = 0,0000034$$

Pe baza probabilităţilor de stare obţinute se pot calcula:

a)Probabilitatea ca ansamblul pompelor să asigure debitul necesar:

$$P = P_1 + P_2 = 0,999966$$

b)Durata totală de succes:

$$M[\alpha(T_p)] = P \cdot T_p = P \cdot [T - T_{rep}] = 0,999966(8760-500) = 9259,7 \text{ h}$$

c)Durata medie totală anuală de insucces

$$M[\beta(T_p)] = (1-P) \cdot T_p = 0,3 \text{ h}$$

Numărul mediu anual de stări de insucces este reprezentat de numărul mediu anual de treceri din starea 2 în starea 3 şi va fi:

$$M[\nu_R(T_P)] = P_2 \cdot q_{23} \cdot T_p = P_2 \cdot \lambda_0 \cdot T_p = 0,024 \text{ defecte/an}$$

PROBLEMA 4

O centrală termoelectrică este echipată cu o staţie de tratare a apei pentru demineralizare parţială a apei de adaos care este dimensionată la o capacitate de 200% şi este, reprezentată în figura 3.

CunoscÍnd că probabilităţile de defectare a elementelor componente sunt: $Q_1=Q_2=0{,}05$; $Q_3=Q_4=0{,}001$; $Q_5=0{,}001$; $Q_6=0{,}01$; $Q_7=Q_8=0{,}04$ şi că timpul mediu de funcţionare normală al unui filtru este de 24 ore iar timpul mediu al ciclului de regenerare a unui filtru este de 1,5 ore, se cere să se determine :

a)Timpul mediu total cÍt staţia poate asigura tratarea apei de adaos într-un an;

b)Dacă sunt afectate performanţele de fiabilitate ale schemei în cazul în care nu există legături transversale între filtrele H-cationice şi degazoare.

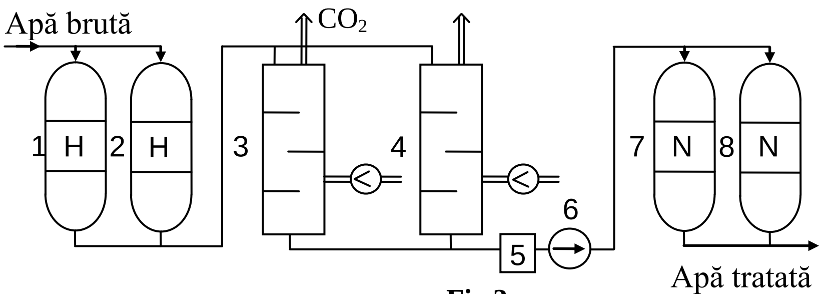


Fig.3

Schema staţiei de tratare a apei

Rezolvare

În vederea calculării indicatorilor de fiabilitate, schema tehnologică de ansamblu va fi transpusă într-o schema de calcul în raport cu starea de succes considerată, adică asigurarea tratării apei de adaos.

Această schemă de calcul este prezentată în figura 4.

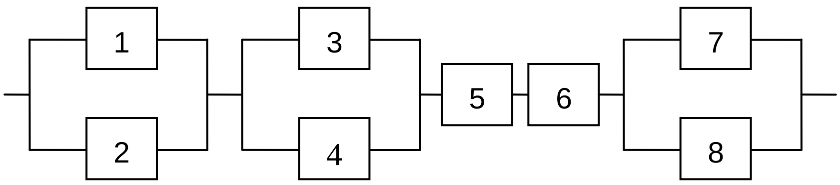


Fig.4

Schema echivalentă a staţiei de tratare a apei

Parametrii de fiabilitate aferenţi elementelor componente ale schemei bloc vor fi probabilităţile de defectare q_i.

Un filtru oarecare, fie el H sau Na se poate afla în două regimuri: de funcţionare şi de regenerare.

Având în vedere duratele medii ale acestor regimuri, probabilitatea ca la un moment dat un filtru să se afle în funcţionare este:

$$P_f = \frac{24}{24+1{,}5} = 0{,}94$$

iar probabilitatea ca la un moment dat să se afle în regim de regenerare este:

$$P_r = 1 - P_f = 0{,}06$$

Ţinând cont de aceste precizări, probabilităţile de insucces (de defectare) q_i aferente elementelor componente ale schemei bloc vor fi:

-pentru elementele 1şi 2 corespunzătoare filtrelor H, respectiv 7 şi 8 corespunzătoare filtrelor Na:

$$q_i = 1 - P_f(1 - Q_i) \quad i = 1,2,7,8$$

unde $P_f(1-Q_i)$ reprezintă probabilitatea ca filtrul respectiv să se afle în stare de succes în timpul regimului de funcţionare.

Această formulă conduce la:

$$q_1 = q_2 = 1 - 0{,}94 \cdot 0{,}95 = 0{,}1059$$
$$q_7 = q_8 = 1 - 0{,}94 \cdot 0{,}96 = 0{,}0965$$

-pentru degazoarele de CO_2 (elementele 3 şi 4) :

$$q_3 = q_4 = Q_3 = Q_4 = 0{,}02$$

-pentru rezervor (elementul 5):

$$q_5 = Q_5 = 0{,}001$$

-pentru staţia de pompare (elementul 6):

$$q_6 = Q_6 = 0{,}01$$

Pentru schema bloc echivalentă se aplică metoda echivalării grupărilor serie şi paralel de elemente, transfigurând această schema şi transformând-o în schema următoare:

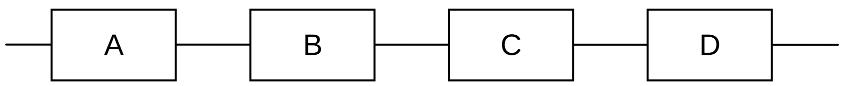


Fig.5

Schema echivalentă transfigurată

Pentru elementele din această schemă vom avea:

$$q_A = q_1 q_2 = 0{,}1059^2 = 0{,}0112$$

$$q_B = q_3 q_4 = 0{,}02^2 = 0{,}0004$$

$$q_C = \frac{\dfrac{q_5}{1-q_5} + \dfrac{q_6}{1-q_6}}{1 + \dfrac{q_5}{1-q_5} + \dfrac{q_6}{1-q_6}} = \frac{\dfrac{0{,}001}{0{,}999} + \dfrac{0{,}01}{0{,}99}}{1 + \dfrac{0{,}001}{0{,}999} + \dfrac{0{,}01}{0{,}99}} = 0{,}011$$

$$q_D = q_7 q_8 = 0{,}0965^2 = 0{,}0093$$

Pornind de la această schemă se determină probabilitatea de insucces a elementului echivalent întregii scheme:

$$q_e = \frac{\frac{q_a}{1-q_a} + \frac{q_B}{1-q_B} + \frac{q_C}{1-q_C} + \frac{q_D}{1-q_D}}{1 + \frac{q_A}{1-q_a} + \frac{q_B}{1-q_B} + \frac{q_c}{1-q_C} + \frac{q_D}{1-q_D}} =$$

$$= \frac{\frac{0{,}0112}{0{,}9888} + \frac{0{,}0004}{0{,}9996} + \frac{0{,}011}{0{,}989} + \frac{0{,}0093}{0{,}9907}}{1 + \frac{0{,}0112}{0{,}9888} + \frac{0{,}0004}{0{,}9996} + \frac{0{,}011}{0{,}989} + \frac{0{,}0093}{0{,}9907}} = 0{,}0312$$

Probabilitatea ca staţia de tratare a apei să asigure întreg necesarul de apă de adaos va fi:

$$P = 1 - q_e = 0{,}9688$$

iar durata medie totală anuală cât staţia poate asigura tratarea apei de adaos:

$$M[\alpha(T)] = M[\alpha(8760)] = P \cdot T = (1-q_e)T = 0{,}9688 \cdot 8760 = 8486{,}6 \text{ ore/an}$$

Dacă nu există legături transversale între filtrele H şi degazoare, vom avea următoarea diagramă echivalentă:

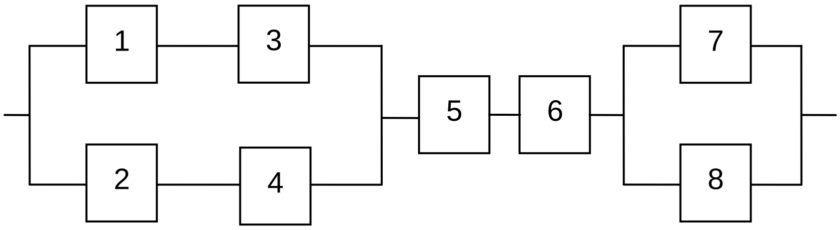


Fig.5

Schema echivalentă a staţiei de tratare a apei fără legături transversale între filtrele H şi degazoare

Notând cu A elementul echivalent grupării serie a elementelor 1 şi 3, cu B elementul echivalent grupării serie a elementelor 2 şi 4, cu C elementul echivalent grupării paralel a elementelor A şi B şi cu D elementul echivalent grupării paralel a elementelor 7 şi 8 vom avea:

$$q_A = q_B = \frac{\frac{q_1}{1-q_1} + \frac{q_3}{1-q_3}}{1 + \frac{q_1}{1-q_1} + \frac{q_3}{1-q_3}} = \frac{\frac{0{,}1059}{0{,}8941} + \frac{0{,}02}{0{,}98}}{1 + \frac{0{,}1059}{0{,}8941} + \frac{0{,}02}{0{,}98}} = 0{,}1219$$

$$q_C = q_A q_B = q_A^2 = 0{,}1219^2 = 0{,}0149$$

$$q_D = q_7 q_8 = q_7^2 = 0{,}0965^2 = 0{,}0093$$

Se echivalează ansamblul schemei formată din elementele C, 5, 6 şi D cu un singur element care are probabilitatea de defectare:

$$q_e=\frac{\dfrac{q_C}{1-q_C}+\dfrac{q_5}{1-q_5}+\dfrac{q_6}{1-q_6}+\dfrac{q_D}{1-q_D}}{1+\dfrac{q_c}{1-q_C}+\dfrac{q_5}{1-q_5}+\dfrac{q_6}{1-q_6}+\dfrac{q_D}{1-q_D}}=0{,}0344$$

şi care este echivalent întregii scheme iniţiale.

Probabilitatea ca staţia de tratare a apei să asigure întreg necesarul de apă de adaos pentru această schema de funcţionare va fi:

$$P=1-q_e=0{,}9656$$

iar durata medie totală anuală cît staţia poate asigura tratarea apei de adaos:

$$M[\alpha(T)]=M[\alpha\ (8760)]=P\cdot T=(1-q_e)T=0{,}9656\cdot 8760=8458{,}7\ \text{h/an}$$

Comparând rezultatele obţinute pentru cele două scheme tehnologice de funcţionare ale staţiei de tratare a apei, rezultă că în cazul lipsei legăturii transversale între filtrele H şi degazoare, performanţele staţiei se înrăutăţesc.

PROBLEMA 5

Să se aplice metodele de determinare a indicatorilor de fiabilitate pentru staţia de transformare compusă din două transformatoare de 63 MVA reprezentată în figura 6 .

Intensităţile de defectare, respectiv de reparare, au valorile:

-întreruptor I.T.

λ_{II}=0,0324 10^{-4} h^{-1}; μ_{II}=677,9 10^{-4} h^{-1}

-separator I.T.

λ_{SL}=0.0085 10^{-4} h^{-1}; μ_{SL}=476,2 10^{-4} h^{-1}

-linie

λ_{L}=0,0166 10^{-4} $km^{-1}h^{-1}$; μ_{L}=613,6 10^{-4} h^{-1}

-transformator

λ_{T}=0,057 10^{-4} h^{-1}; μ_{T}=32,46 10^{-4} h^{-1}

-bare I.T.

λ_{BI}=0,0251 10^{-4} h^{-1}; μ_{BI}=1988 10^{-4} h^{-1}

-întreruptor M.T.

λ_{IM}=0,0156 10^{-4} h^{-1}; μ_{IM}=558,6 10^{-4} h^{-1}

-bare M.T.

λ_{BM}=0,019 10^{-4} h^{-1}; μ_{BM}=1988 10^{-4} h^{-1}

-separator bare M.T.

λ_{SBM}=0,003 10^{-4} h^{-1}; μ_{SBI}=588,3 10^{-4} h^{-1}

Staţia este alimentată prin două linii de I.T. cu lungimea de 50 km.

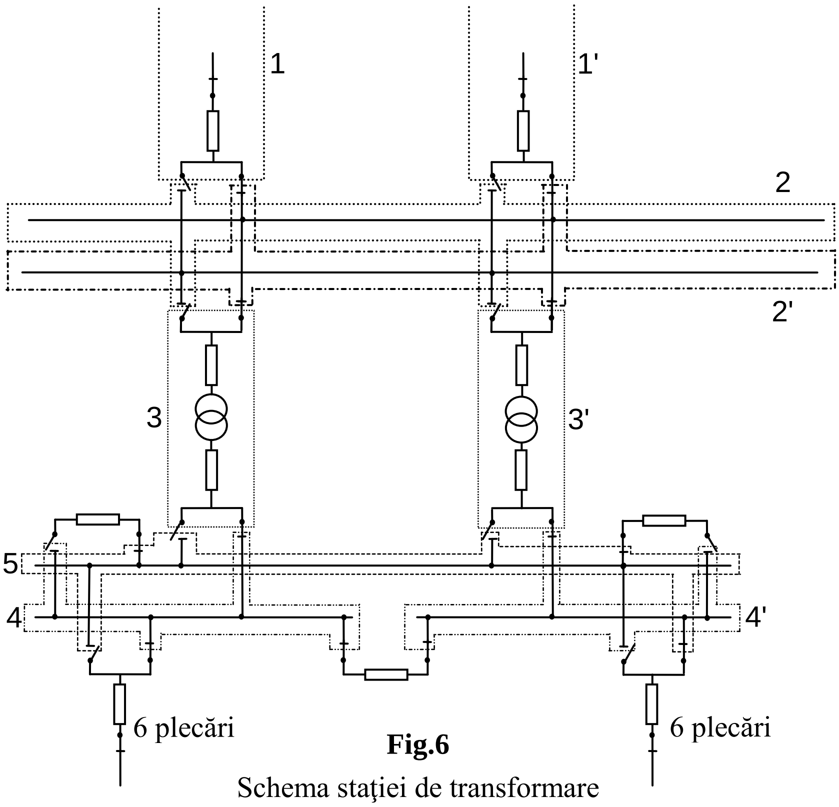


Fig.6
Schema staţiei de transformare

Rezolvare

Pentru început, prin identificarea elementelor componente care funcţionează din punct de vedere probabilistic în serie se reduce prin echivalare numărul elementelor din schemă.

Elementele 1 şi 1' sunt compuse din linie, separator linie, întreruptor linie şi două jumătăţi separator bare; coeficienţii echivalenţi ai acestor elemente sunt:

$$\lambda_1 = \lambda_{1'} = 0{,}0166 \cdot 10^{-4} \cdot 50 + 2 \cdot 0{,}0085 \cdot 10^{-4} + 0{,}0324 \cdot 10^{-4}$$
$$= 0{,}08794 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

$$\mu_1 = \mu_{1'} = \frac{0{,}08794 \cdot 10^{-4}}{\frac{0{,}0166}{613{,}6}50 + 2\frac{0{,}0085}{476{,}2} + \frac{0{,}0324}{677{,}9}} = 612{,}32 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

Elementele 2 şi 2' sunt compuse dintr-o bară şi patru separatoare de bare, rezultând coeficienţii echivalenţi:

$$\lambda_2 = \lambda_{2'} = 0{,}0251 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 0{,}0085 \cdot 10^{-4} = 0{,}0591 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

$$\mu_2 = \mu_{2'} = \frac{0{,}0591 \cdot 10^{-4}}{\frac{0{,}0251}{198} + 2\frac{0{,}0085}{476{,}2}} = 298{,}2 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

Elementele 3 şi 3'au în componenţă câte un transformator, două întreruptoare şi două separatoare, pentru care:

$$\lambda_3 = \lambda_{3'} = 0{,}057 \cdot 10^{-4} + 0{,}0324 \cdot 10^{-4} + 0{,}0156 \cdot 10^{-4}$$
$$+ 2 \cdot 0{,}003 \cdot 10^{-4} = 0{,}0954 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

$$\mu_3 = \mu_{3'} = \frac{0{,}0954 \cdot 10^{-4}}{\frac{0{,}0571}{32{,}46} + \frac{0{,}0324}{677{,}9} + 2\frac{0{,}003}{588{,}3}} = 52{,}59 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

Elementele 4 şi 4' se compun fiecare dintr-o secţie de bare M.T., trei separatoare din celulele de plecare, o jumătate de separator din celula de transformator, o jumătate din separatorul cuplei transversale, o jumătate din separatorul cuplei longitudinale.

$$\lambda_4 = \lambda_{4'} = 0{,}0119 \cdot 10^{-4} + 4{,}5 \cdot 0{,}003 \cdot 10^{-4} = 0{,}0254 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

$$\mu_4 = \mu_{4'} = \frac{0{,}0254 \cdot 10^{-4}}{\frac{0{,}0119}{596{,}5} + 4{,}5\frac{0{,}003}{588{,}3}} = 592{,}1 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

Din elementul 5 fac parte bara M.T., două jumătăţi din separatoarele celulelor de cuplă transversală, 12 jumătăţi din separatoarele celulelor de plecare şi 2 jumătăţi din separatoarele celulelor de transformator.

$$\lambda_5 = 0{,}0119 \cdot 10^{-4} + 16 \cdot 0.5 \cdot 0{,}003 \cdot 10^{-4} = 0{,}0359 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

$$\mu_5 = \frac{0{,}0359 \cdot 10^{-4}}{\frac{0{,}0119}{596{,}5} + 16 \cdot 0.5 \frac{0{,}003}{588{,}3}} = 591 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

Elementul 6 are în alcătuire un întreruptor şi 2 jumătăţi de separator M.T.

$$\lambda_6 = 0{,}0156 \cdot 10^{-4} + 0{,}003 \cdot 10^{-4} = 0{,}0186 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

$$\mu_6 = \frac{0{,}0186 \cdot 10^{-4}}{\frac{0{,}0156}{558{,}6} + \frac{0{,}003}{588{,}3}} = 563 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

Elementele 2 şi 2' pot fi echivalate ţinând cont de faptul că 2' este rezerva elementului 2:

$$\lambda_{22'} = \lambda_2 = 0{,}0591 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

$$\mu_{22'} = 2 \cdot \mu_2 = 596{,}4 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

Elementul 5 este rezervă pentru 4 şi respectiv pentru 4':

$$\lambda_{45} = \lambda_4 = 0{,}0254 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

$$\mu_{45} = 2 \cdot \mu_4 = 1084{,}2 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

$$\lambda_{45'} = \lambda_{4'} = 0{,}0254 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

$$\mu_{45'} = 2 \cdot \mu_{4'} = 1084{,}2 \cdot 10^{-4}\ \mathrm{h}^{-1}$$

Dacă notăm cu S_L puterea transportată pe o linie, respectiv cu S_T puterea tranzitată de un transformator vom avea:

$$S_L < S_T$$
$$2S_L > S_T$$

şi dacă acceptăm că situaţiile cu cel puţin trei elemente defecte simultan sunt foarte puţin probabile, rezultă următoarea configuraţie din punct de vedere al apariţiei defectelor şi al puterii disponibile pe bara de M.T.

	1	1'	22'	3	3'	45	45'	6
1	S_L	0	0	S_L	S_L	S_L	S_L	2 S_L
1'		S_L	0	S_L	S_L	S_L	S_L	2 S_L
22'			0	0	0	0	0	0
3				S_T	0	S_T	S_T	S_T
3'					S_T	S_T	S_T	S_T
45						2 S_L	0	S_T
45'							2 S_L	2 S_L
6								2 S_L

Pentru datele din tabel, aplicând metoda grupurilor de defectare, vom considera cazul puterii disponibile pe barele de M.T. are nivelul cel puţin egal cu S_T.

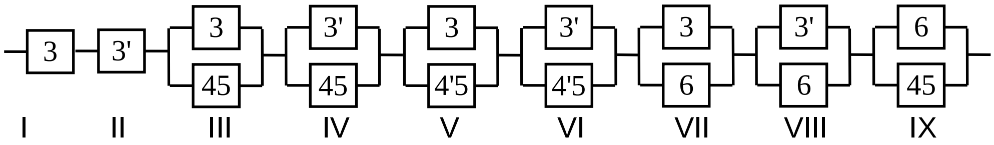


Fig.7
Schema grupurilor de defectare pentru
puterea disponibilă egală cu S_T

Datorită simetriei staţiei au rezultat şi grupe de defectare identice; din echivalarea elementelor în paralel rezultă:

$$\lambda_{III} = \lambda_{IV} = \lambda_{V} = \lambda_{VI} =$$
$$= \frac{0,0954 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0254 \cdot 10^{-4}\left(52,59 \cdot 10^{-4} + 1084,2 \cdot 10^{-4}\right)}{52,59 \cdot 1084,2 \cdot 10^{-8} + 0,0954 \cdot 1084,2 \cdot 10^{-8} + 0,0254 \cdot 52,59 \cdot 10^{-8}} =$$
$$= 4,8 \cdot 10^{-9}\ h^{-1}$$

$$\mu_{III} = \mu_{IV} = \mu_{V} = \mu_{VI} = 52,59 \cdot 10^{-4} + 1084,2 \cdot 10^{-4} = 11,368 \cdot 10^{-2}\ h^{-1}$$

$$\lambda_{III} = \lambda_{IV} = \lambda_{V} = \lambda_{VI} =$$
$$= \frac{0,0954 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0254 \cdot 10^{-4}\left(92,59 \cdot 10^{-4} + 1084,2 \cdot 10^{-4}\right)}{52,59 \cdot 1084,2 \cdot 10^{-8} + 0,0954 \cdot 1084,2 \cdot 10^{-8} + 0,0254 \cdot 52,59 \cdot 10^{-8}} =$$
$$= 4,8 \cdot 10^{-9} h^{-1}$$

$$\mu_{VII} = \mu_{VIII} = 52,59 \cdot 10^{-4} + 563 \cdot 10^{-4} = 6,156 \cdot 10^{-2}\ h^{-1}$$

$$\lambda_{IX} = \frac{0,0254 \cdot 10^{-4} \cdot 0,0186 \cdot 10^{-4}\left(1084,2 \cdot 10^{-4} + 563 \cdot 10^{-4}\right)}{1084,8 \cdot 563 \cdot 10^{-8} + 0,0254 \cdot 563 \cdot 10^{-8} + 0,0186 \cdot 1084,2 \cdot 10^{-8}} =$$
$$= 1,273 \cdot 10^{-10} h^{-1}$$

$$\mu_{IX} = 1084,8 \cdot 10^{-4} + 563 \cdot 10^{-4} = 6157,8 \cdot 10^{-2}\ h^{-1}$$

Echivalarea legării în serie a grupurilor de defectare I÷IX conduce la:

$$\lambda_{ech} = \sum \lambda_i = 175,9 \cdot 10^{-6}\ h^{-1}$$

$$\mu_{ech} = \frac{\sum \lambda_i}{\sum \frac{\lambda_i}{\mu_i}} = 6,223 \cdot 10^{-2}\ h^{-1}$$

Probabilitatea de apariţie a stării corespunzătoare puterii S_T şi timpul mediu al unei astfel de stări vor fi:

$$P(S_T) = \frac{\lambda_{ech}}{\lambda_{ech} + \mu_{ech}} = 2,86 \cdot 10^{-3}$$

$$M\left[T_{S_T}\right] = \frac{1}{\lambda_{ech}} = 5684,83\,h$$

Numărul mediu de apariţie în T=10 ani al acestei stări este:

$$M\left[\nu(T)\right] = P(S_T) \cdot \lambda_{ech} \cdot T = 0,4413\,def / 10\,ani$$

iar durata medie a stării:

$$M[\alpha(T)] = P(S_T) \cdot T = 25{,}09 \text{ h} / 10 \text{ ani}$$

Metoda grupurilor de defectare se poate aplica în continuare şi pentru nivelele de putere 0, S_L, $2S_L$ după acelaşi procedeu.

Metoda Monte-Carlo presupune ca pentru elementele prezentate în schema staţiei şi echivalate în mod corespunzător (1, 1', 22', 3, 3',45, 4'5, 6) să se genereze secvenţe de 8 numere pseudoaleatoriu.

Din compararea probabilităţii de funcţionare sau de defectare corespunzătoare fiecărui element cu valoarea numărului generat pentru elementul respectiv, se deduce starea sistemului şi nivelul de putere.

Rezultatele comparative pentru metodele grupurilor de defectare, Monte-Carlo cu un număr de 10^4 secvenţe generate şi matriceală sunt prezentate în tabelul următor.

Nivel de putere	Metoda grupurilor de defectare	Metoda Monte-Carlo	Metoda matriceală
0	$4{,}803 \cdot 10^{-6}$	0	$4{,}4195 \cdot 10^{-6}$
S_L	$2{,}492 \cdot 10^{-3}$	$2{,}2 \cdot 10^{-3}$	$2{,}4567 \cdot 10^{-3}$
S_T	$2{,}864 \cdot 10^{-3}$	$3{,}4 \cdot 10^{-3}$	$3{,}6286 \cdot 10^{-3}$
$2S_L$	$3{,}303 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$3{,}283 \cdot 10^{-5}$
Toate elementele în funcţiune	0,99463	0,9943	0,99386