

6. FIABILITATEA SISTEMELOR MECANICE

6.1. Aspecte particulare ale fiabilității sistemelor [12, 15, 16, 17, 19, 22]

Produsele industriale, echipamentele mecanice, dispozitivele, organele de mașini etc. pot fi considerate ca unități elementare, având funcționare autonomă, în agregate sau instalații complexe.

Instalațiile sau liniile tehnologice de fabricație ale industriei chimice, de exemplu, sunt alcătuite din utilaje în care au loc operații fizice și/sau procese chimice, alături de care se află utilaje auxiliare, utilajele fiind legate între ele prin conducte sau prin alte mijloace de transport, după cum este vorba despre transport de fluide sau de solide granulare. Aceste instalații constituie sisteme, adică reprezintă un număr de elemente active, interconectate între ele, care pot fi considerate ca un întreg structural. Legăturile reciproce sunt cele care deosebesc sistemul de un simplu conglomerat de elemente. Legăturile depind, în întregime, pentru fiecare caz dat, de scopul în vederea căruia se realizează sistemul. În analizele de fiabilitate, se consideră numai legăturile esențiale sau cele care interesează sub aspectul considerat.

Sistemele de felul celor care se examinează aici pot fi reprezentate în moduri diferite. Pentru exemplificare, în figura 1, se prezintă o parte a unui sistem mai complex, parte ce este proiectată pentru:

1. micșorarea temperaturii unui curent de gaze fierbinți (gaze reziduale de la un fierbător industrial);
2. saturarea gazului cu vapori de apă;
3. îndepărtarea particulelor solide antrenate de gaz.

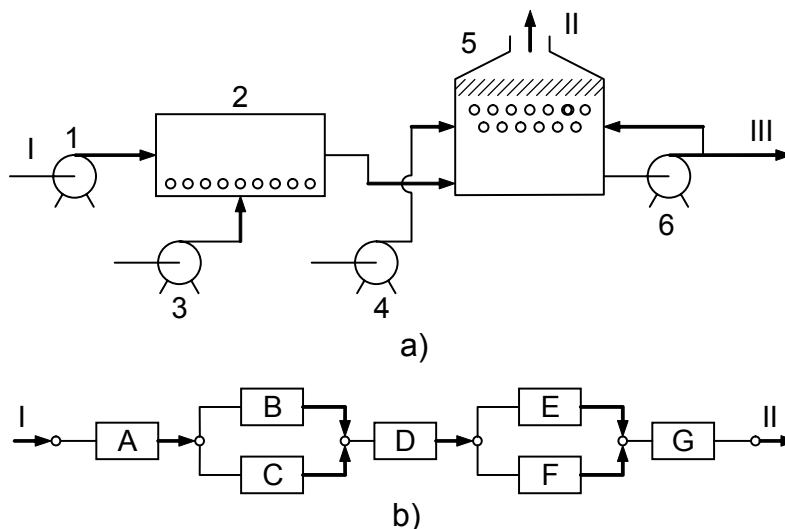


Fig. 6. 1. Scheme ale unei instalații

- a - schema tehnologică: 1 - suflantă; 2 răcitor; 3 grup două pompe pentru apă de răcire; 4 - pompă pentru apă de alimentare; 5 - epurator eu preîncălzitor de apă, dispozitiv de pulverizare și strat filtrant; 6 - grup două pompe pentru apă de pulverizare, cu recirculare; I - gaz rezidual; II - gaz la absorbție; III - abur de purjă; b - schemă bloc; A - suflanta 1; B,C - pompele 3; D - pompa 4; E,F - pompele 6; G - stratul filtrant din 5.

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

Figura 6.1,a redă schema tehnologică a instalației, iar figura 6.1,b – schema de bloc corespunzătoare. Din compararea figurilor se poate constata că diagrama bloc este simplificată prin eliminarea elementelor schemei tehnologice care sunt neesențiale pentru studiul fiabilității sistemului. În continuare, se vor prezenta metode de evaluare a fiabilității sistemului și de construire a arborelui de defectări, pornind de la schema bloc.

Se constată că schema bloc din figura 6.1,b este alcătuită dintr-o succesiune de tronsoane în serie, unele dintre tronsoane rezultând, la rândul lor, din legarea în paralel a unor elemente.

Disponerea în paralel a unor elemente identice, măsură ce se ia la proiectarea sistemului pentru asigurarea redundanței în vederea sporirii fiabilității, este caracteristică instalațiilor tehnologice. După STAS 8174/1-77, redundanța este “existența într-un dispozitiv a mai mult decât un mijloc pentru îndeplinirea unei funcții specificate”.

Problema care se pune este de a stabili, pe cale analitică, funcția de fiabilitate a unui sistem, înțeles ca un complex de unități, ale căror funcții de fiabilitate sunt cunoscute. Dacă nu se face vreo altă mențiune, în toate considerațiile privind sistemul se admite că unitățile ce-l alcătuiesc sunt independente: ieșirea sau intrarea în funcțiune a unei unități nu influențează celelalte unități.

Studiul fiabilității unui sistem presupune mai întâi o analiză a “structurii” sistemului, prin care se stabilește dependența stării acestuia de starea elementelor componente cu parametri de fiabilitate dați. Sistemele pot fi: reparabile sau nereparabile, aceasta depinzând și de ipotezele admise asupra funcționării și de condițiile impuse exploatarei. Referitor la sisteme se pot face următoarele ipoteze: a) echipamentul considerat nu poate fi la un moment dat, decât în unul din următoarele două stări: bună funcționare sau defect; b) echipamentul poate fi descompus în k elemente componente (sau blocuri), numerotate de la 1 la k , astfel încât, la un moment dat, fiecare component să fie în stare bună sau defect iar starea echipamentului (bun sau defect) depinde numai de starea componentelor; c) fiecare component al sistemului are o durată T_i aleatoare, fiind în stare bună în intervalul $(0, T_i)$ și în stare defectă după momentul T_i ; d) variabilele aleatoare T_i ($i = 1, 2, \dots, k$) sunt independente. Această ultimă ipoteză este greu de verificat practic. Sistemele pot avea structură cu elemente dispuse în serie, în paralel și mixt (structură combinată).

6.2. Sisteme cu structură cu elemente dispuse în serie

[2, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 22]

Un sistem S format din n componente are o structură serie dacă funcționarea sa presupune funcționarea celor n componente și dacă defectarea oricărui component atrage după sine defectarea sistemului. Structura serie se poate reprezenta grafic printr-o schemă ca în figura 6.2. Se adoptă notația: E - evenimentul care constă din funcționarea sistemului S iar $E_1, E_2 \dots E_n$ - evenimentele care reprezintă funcționarea componentelor. În cazul sistemului cu structură serie, conform

definiției: $E = \bigcap_{i=1}^n E_i$, iar probabilitatea

evenimentului E va fi: $P(E) = \prod_{i=1}^n P(E_i)$. Dar

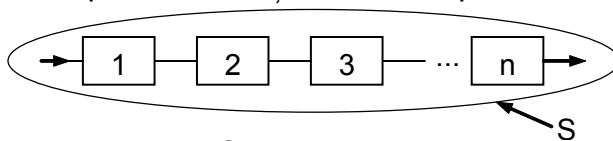


Fig. 6.2. Schema structurală cu elemente dispuse în serie

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

$P(E)$ și $P(E_i)$ reprezintă fiabilitatea sistemului și a elementului de ordin i . În consecință, fiabilitatea sistemului este dată de relația:

$$P(E) = R_s = R_1 \cdot R_2 \dots R_n = \prod_{i=1}^n R_i. \quad (6.1)$$

Dacă $F_i = 1 - R_i \ll 1$, atunci rezultă: $F_s \approx \sum_{i=1}^n F_i$

Dacă sistemul este format din componente cu ratele defectărilor constante, rezultă:

$$R_s = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = e^{-\sum_{i=1}^n \lambda_i t} = e^{-\lambda_s t}, \quad (6.2)$$

cu:

$$\lambda_s = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (6.3)$$

Dacă elementele sunt identice, fiabilitatea sistemului este

$$R_s(t) = e^{-\lambda_s t} = e^{-n\lambda t} = R_c^n(t), \quad (6.4)$$

iar rata defectărilor

$$\lambda_s = n \lambda. \quad (6.5)$$

Media timpului de bună funcționare a sistemului este:

$$MTBF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_s t} dt = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}. \quad (6.6)$$

În cazul componentelor identice se obține:

$$MTBF = \frac{1}{n \lambda}. \quad (6.7)$$

Influența fiabilității componentelor și a numărului acestora asupra fiabilității sistemului cu structură serie se poate urmări cu exemplul din tabelul 6.1, unde sunt prezentate 1, 2, 10 și 100 componente cu fiabilități egale R_1 . Se observă că un sistem serie format din 100 componente identice, având fiecare fiabilitatea 0,90, practic nu poate funcționa. Dacă fiabilitatea componentelor în același caz este de 0,98, sistemul are o fiabilitate de 0,14. Rezultatele cercetărilor de fiabilitate asupra sistemelor au modificat radical concepția după care nivelul de siguranță al unui sistem este dat de nivelul celui mai slab component.

Tabelul 6.1. Fiabilitatea sistemului serie cu n componente

$R_1 \backslash n$	$n = 1$	$n = 2$	$n = 10$	$n = 100$
0,90	0,90	0,81	0,35	0
0,95	0,95	0,90	0,61	0,006
0,98	0,98	0,96	0,82	0,14
0,99	0,99	0,98	0,90	0,37

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

Concepția clasică, conform căreia un lanț se rupe acolo unde veriga este mai slabă, este necorespunzătoare în cazul proceselor aleatoare. Apare astfel idea generală, generată de experiență, că un sistem este mai slab decât componentul cel mai slab (dacă sistemul este fără redundanță).

6.3. Sisteme cu structură cu elemente dispuse în paralel

[2, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 22]

Un sistem S , format din n componente funcționând simultan, are o structură în paralel, dacă defectarea unui element nu înseamnă defectarea sistemului (funcționarea fiind asigurată până la defectarea ultimului component). Modelul structural este reprezentat în figura 6.3. Considerând E evenimentul care constă din funcționarea sistemului și E_i funcționarea componentului de ordin i , rezultă, conform definiției, evenimentul contrar $\bar{E} = \bigcup_{i=1}^n \bar{E}_i$.

Probabilitatea evenimentului \bar{E} este $P(\bar{E}) = \prod_{i=1}^n P(\bar{E}_i)$. Evenimentele E și \bar{E} formează un

sistem complet de evenimente, adică $P(E) + P(\bar{E}) = 1$. Dar probabilitatea $P(E)$ reprezintă fiabilitatea sistemului, ($P(E) = R_s$). Dacă R_i este fiabilitatea componentelor ($R_i = P(E_i)$), rezultă următoarea expresie a fiabilității sistemului cu structură cu elemente dispuse în paralel:

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n P(\bar{E}_i) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(E_i)] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) = 1 - \prod_{i=1}^n F_i. \quad (6.8)$$

În cazul unui sistem format din două elemente cu schema structurală cu elemente dispuse în paralel, elementele având fiabilitatea $R_1 = e^{-\lambda_1 t}$ și $R_2 = e^{-\lambda_2 t}$, fiabilitatea sistemului este:

$$R_s = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) = e^{-\lambda_1 t} + e^{-\lambda_2 t} - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}.$$

Media timpului de bună funcționare a sistemului este:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R_s dt = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}. \quad (6.9)$$

Dacă $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$, atunci $MTBF = 3/2 \lambda$. Cazul poate fi generalizat considerând sistemul cu n elemente în paralel și $R_s = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n$. Pentru MTBF se obține expresia:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \sum_{i=1}^n \frac{1}{i}. \quad (6.10)$$

Observații: În cazul fiabilității circuitelor electrice trebuie să subliniem diferența dintre

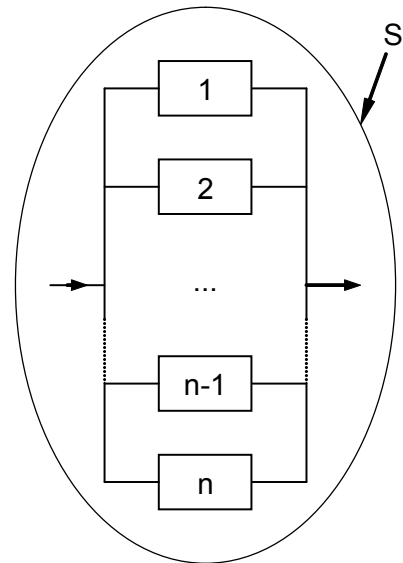


Fig. 6.3. Schema structurală cu elemente dispuse în paralel

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

schema electrică de funcționare și schema structurală (logică) de fiabilitate. Fie un ansamblu de patru condensatoare funcționând în paralel (fig. 6.4). Criteriile de defectare ale sistemului pot fi: circuit deschis (întrerupt) - acest defect presupune defectarea fiecărui condensator; scurtcircuit - produs de scurtcircuitarea oricărui condensator. Schemele structurale în raport cu defectele 1 și 2 sunt redată în figura 6.5, a și b.

Sistemele cu structură tip paralel se mai numesc *cu redundanță*. Redundanța poate fi activă (simplă) dacă toate componentele sistemului funcționează în permanență - chiar dacă nu sunt indispensabile - sau pasivă (cu comutație sau secvențială) dacă un singur element este pus să funcționeze, iar restul sunt în rezervă (neutilizate). În acest caz, se poate admite că elementele neutilizate nu sunt supuse avariilor. Un exemplu de redundanță pasivă îl constituie roata de rezervă a unui automobil.

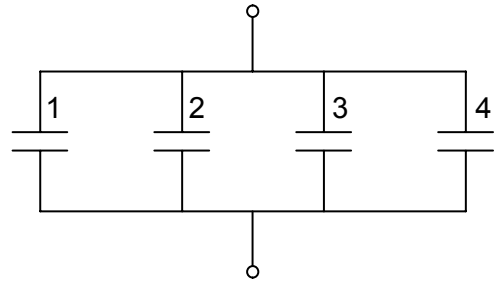


Fig. 6.4. Ansamblu de patru condensatoare montate în paralel

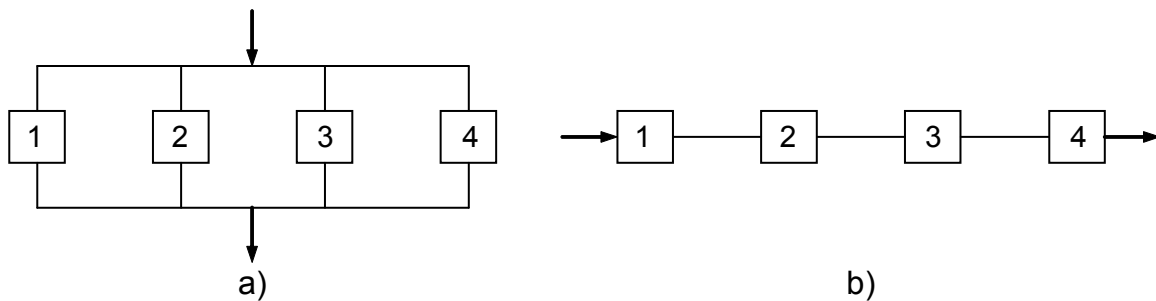


Fig. 6.5. Schema structurală a ansamblului de patru condensatoare montate în paralel: a) structură "paralel" pentru defectul 1; b) structură "serie" pentru defectul 2

6.4. Sisteme cu structură mixtă [2, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 22]

Sistemul serie-paralel S are schema structurală a fiabilității formată din m ramuri în paralel, având fiecare n elemente în serie (fig. 6.6).

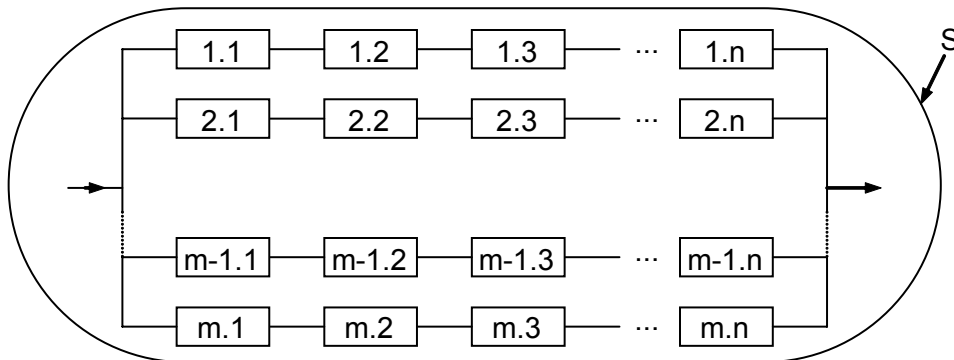


Fig. 6.6. Schema structurală serie-paralel

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

Fiabilitatea unei ramuri este $R_j = \prod_{i=1}^n R_{ji}$, iar fiabilitatea sistemului este:

$$R_s = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - R_j) = 1 - \prod_{j=1}^m \left(1 - \prod_{i=1}^n R_{ji} \right) \quad (6.11)$$

Sistemul paralel-serie are schema structurală formată din n grupe în serie cu câte m elemente în paralel (fig. 6.7). Fiabilitatea unui grup este $R_i = 1 - \prod_{j=1}^m (1 - R_{ij})$, iar fiabilitatea sistemului

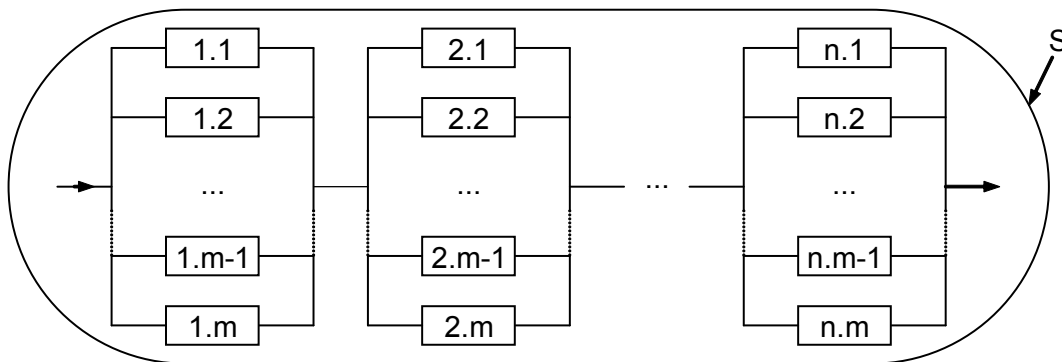


Fig. 6.7. Schema structurală paralel - serie

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i = \prod_{i=1}^n \left[1 - \prod_{j=1}^m (1 - R_{ij}) \right] \quad (6.12)$$

Sistemele care se pot aduce la structura serie, paralel sau mixtă se mai numesc sisteme decompozabile. Există sisteme la care asocierile simple serie, paralel nu pot fi aplicate (sisteme nedecompozabile).

6.5. Scheme reticulate [2, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 22]

Fiabilitatea sistemelor cu elemente dispuse în paralel, cu redundanță activă, poate fi sporită prin introducerea unor legături suplimentare, de exemplu conducte între elementele unor sisteme hidraulice sau între anumite utilaje dintr-o linie tehnologică. Astfel, în schema din figura 6.8, elementul C și legăturile acestuia cu elementele D și E asigură funcționare sistemului, chiar dacă elementele A și B se defectează, adică nu mai alimentează elementele D și E. Se ajunge astfel la reticularea schemei.

Calculul fiabilității întregului sistem de acest fel poate fi făcut în mai multe moduri. În continuare se prezintă o metodă intuitivă, potrivită pentru scheme de complexitate redusă.

A. Sistemul (I) poate funcționa fie cu traseele A-D și B-E în paralel, fie cu traseele C-D și C-E, de asemenea în paralel. El poate funcționa, evident, și cu toate traseele sale. Schema (I) poate fi prezentată simbolic rezultând din "însurubarea" schemelor mai simple (II) și (III). Această adunare trebuie făcută ținând seama de probabilitățile de funcționare,

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

respectiv de defectare, ale subsistemelor considerate. În schema (II), elementele A și D pe de o parte și B și E pe de alta, sunt legate în serie, ceea ce permite ca schema II să fie redusă la schema (IV), echivalentă cu elementele $(A \cap D)$ și $(B \cap E)$ dispuse în paralel.

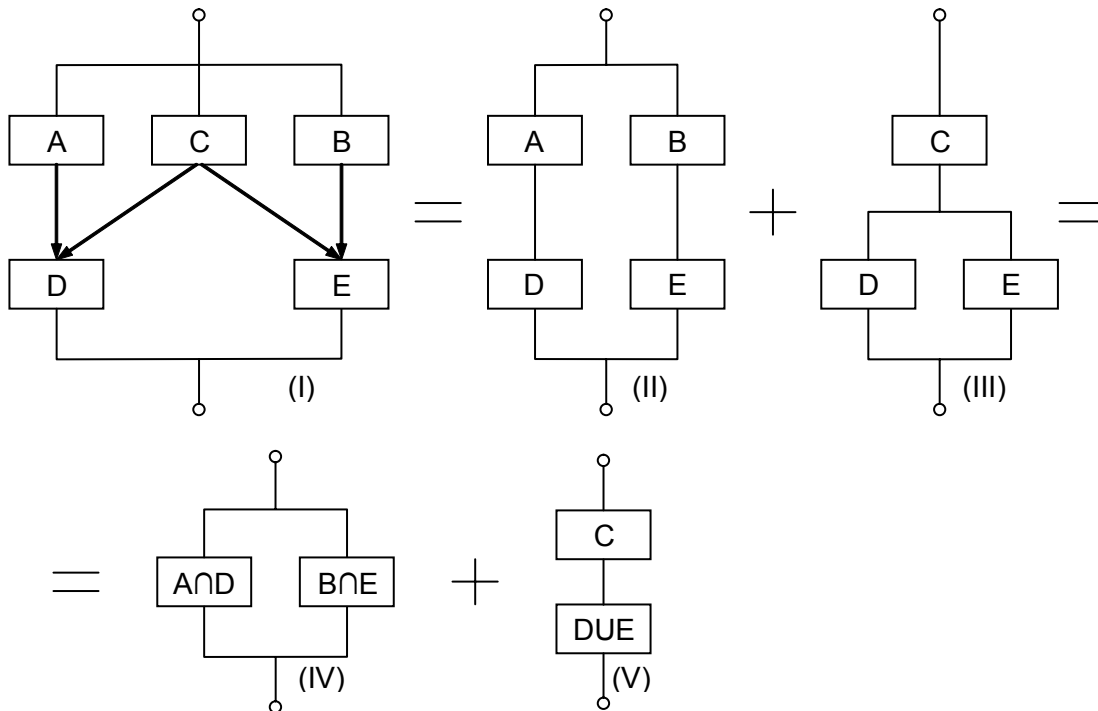


Fig. 6.8. Schemă reticulată cu 5 elemente

La rândul ei, schema (III) poate fi redusă la schema (V), cu elementul C (neschimbat) și $(D \cup E)$ în serie.

Considerând fiabilitatea R_A , R_D , R_B și R_E a elementelor individuale cunoscută pentru o anumită durată de funcționare, atunci fiabilitatea elementelor de înlocuire $(A \cap D)$ și $(B \cap E)$ este

$$R(A \cap D) = R_A R_D; \quad R(B \cap E) = R_B R_E, \quad (a)$$

de unde rezultă și fiabilitatea montajului (IV):

$$R[(A \cap D) \cup (B \cap E)] = R_A R_D + R_B R_E - R_A R_B R_D R_E. \quad (6.13)$$

Relația (6.13) are aplicabilitate generală la schemele cu elemente serie-paralel, figura 6.8 (II).

În schemele (III) și (IV), fiabilitatea subsistemului celor două elemente D și E în paralel este

$$R(D \cup E) = R_D + R_E - R_D R_E. \quad (b)$$

Atunci pentru schema (V), prin utilizarea relațiilor (a) și (b) rezultă:

$$R[C \cap (D \cup E)] = R_C (R_D + R_E - R_D R_E). \quad (6.14)$$

Relația (6.14) este general-valabilă pentru sisteme asemănătoare celui din figura 6.8 (III).

Pasul următor este cel al "însurării" rezultatelor obținute, adică al membrilor din dreapta ai relațiilor (6.13) și (6.14), în sensul precizat, care va rezulta din relația (6.15).

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

Considerând că se află în funcțiune partea (V) a sistemului, cu fiabilitatea dată de relația (6.14), partea (IV) nu va intra în funcțiune decât în măsura în care elementul C se defectează, adică în proporția corespunzând defiaibilității F_C a acestuia. Rezultă astfel pentru fiabilitatea sistemului (I) expresia căutată

$$R_s = R_C(R_D + R_E - R_D R_E) + F_C(R_A R_D + R_B R_E - R_A R_B R_D R_E). \quad (6.15)$$

Pentru fixarea ideilor se admite, de exemplu, că toate elementele care compun sistemul din figura 6.8 (I) au fiabilitatea $R=0,9$, deci defiaibilitatea $F=0,1$. În aceste condiții, pentru subsistemul (II) rezultă $R_{II}=0,9639$, pentru subsistemul (III) - $R_{III}=0,8910$, iar pentru sistemul (I) se obține:

$$R_s = 0,8910 + 0,1 \times 0,9639 = 0,9874.$$

Rezultă că, în cazul de față, elementul suplimentar C și legăturile sale adaugă aproape 2,5% la fiabilitatea celui mai fiabil dintre cele două subsisteme. Pe ansamblu însă este de relevat că se obține un montaj cu fiabilitatea de aproape 99% pornind de la elemente cu fiabilitate de 90%.

B. Schema din figura 6.9 este mai complicată decât cea din figura 6.8, care prezintă o singură legătură transversală.

Aici există o "celulă" cu două elemente în paralel, în serie cu celelalte două elemente ale unei ramuri, și, în plus, două legături transversale. Dintre cele cinci trasee posibile ale fluidului de lucru, enumerate în figura 6.9, se cere ca cel puțin un traseu să fie în funcțiune, montajul putând funcționa, evident, și cu 2, 3, 4 sau 5 trasee.

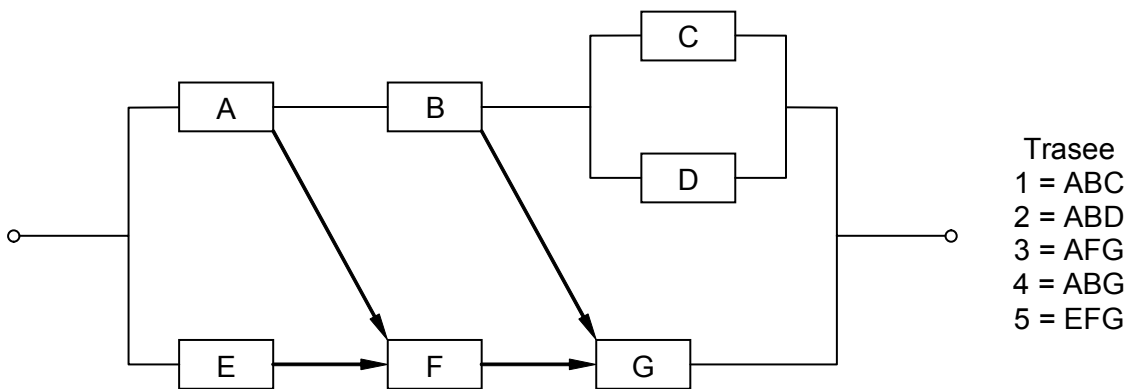


Fig. 6.9. Schemă reticulată cu șapte elemente

Cele cinci compartimente ale tabelului corespund celor cinci situații posibile și anume: I – un traseu; II – două trasee; III – trei trasee; IV – patru trasee și V – cinci trasee în funcțiune, fiecare compartiment cuprinzând toate combinațiile posibile, exprimate cu utilizarea numerotării din figură a traseelor și literal, ca succesiunea elementelor active ale traseului. Elemente ale schemei ce se întâlnesc de două ori, sunt trecute în tabel o singură dată. Astfel, compartimentul II al tabelului sunt înscrise traseele 2 și 3, unde 2=ABD și 3=AFG. Elementul A, comun ambelor trasee, apare în tabel, în rândul respectiv, o singură dată. În ultima coloană sunt înscrise semnele cu care termenii (produsele fiabilităților), intră în însumare. Dacă numărul traseelor din compartiment este n , semnul tuturor mărimilor aferente acestuia este $(-1)^{n+1}$. Fiabilitatea parțială a unui traseu rezultă ca produs al fiabilităților elementelor traseului. Astfel, de exemplu, pentru rândul 1 din compartimentul II rezultă $R_{II,1}=R_A R_B R_C R_D$. Se procedează acum la însumarea tuturor

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

fiabilităților parțiale, cu considerarea semnelor indicate în tabel. Termenii care se reduc sunt marcați "0". Se obține, în cele din urmă, pentru sistemul din figura 6.9:

$$R = R_A R_B R_C + R_A R_B R_D + R_A R_F R_G + R_A R_B R_G + R_E R_F R_G - R_A R_B R_C R_D - R_A R_B R_C R_G - R_A R_B R_D R_G - R_A R_B R_F R_G - R_A R_E R_F R_G + R_A R_B R_C R_D R_G \quad (6.16)$$

Dacă se consideră și aici, pentru fixarea ideilor, că toate elementele schemei au, de exemplu, fiabilitatea $R=0,9$, relația (6.16) dă pentru ansamblu $R_s=0,9550$.

Tabelul 6.1. Schemă pentru stabilirea fiabilității montajului din fig. 6.9

	Trasee					Elemente							Termeni care se reduc	Semne	
	1	2	3	4	5	A	B	C	D	E	F	G			
I	1					A	B	C	-	-	-	-		+	
		2				A	B	-	D	-	-	-			
			3			A	-	-	-	-	F	G			
				4		A	B	-	-	-	-	G			
					5	-	-	-	-	E	F	G			
II	1	2				A	B	C	D	-	-	-		-	
	1		3			A	B	C	-	-	F	G			0
	1			4		A	B	C	-	-	-	G			0
	1				5	A	B	C	-	E	F	G			0
		2	3			A	B	-	D	-	F	G			0
		2		4		A	B	-	D	-	-	G			0
		2			5	A	B	-	D	E	F	G			0
			3	4		A	-	-	-	-	F	G			0
			3		5	A	-	-	-	E	F	G			0
III	1	2	3			A	B	C	D	-	F	G	0	+	
	1	2		4		A	B	C	D	-	-	G	0		
	1	2			5	A	B	C	D	E	F	G	0		
	1		3	4		A	B	C	-	-	F	G	0		
	1		3		5	A	B	C	-	E	F	G	0		
	1			4	5	A	B	C	-	E	F	G	0		
		2	3	4		A	B	-	D	-	F	G	0		
		2	3		5	A	B	-	D	E	F	G	0		
		2		4	5	A	B	-	D	E	F	G	0		
IV			3	4	5	A	B	-	-	E	F	G	0	-	
	1	2	3	4		A	B	C	D	-	F	G	0		
	1	2		4	5	A	B	C	D	E	F	G	0		
	1		3	4	5	A	B	C	-	E	F	G	0		
		2	3	4	5	A	B	C	D	E	F	G	0		
V	1	2	3	4	5	A	B	C	D	E	F	G		+	

6.6. Graful funcțional de conexiuni [2, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 22]

Funcționarea transmisiilor mecanice implică transmiterea fluxului de forță și mișcării de la motorul de acționare la mașina de lucru, ca în figura 6.10, în condițiile variației aleatoare ale unora dintre parametrii de intrare (momentul de torsiune la mașina de lucru, prezența particulelor abrazive, străpungerea peliculei de lubrifianț etc.).

Pe graful de conexiuni, fluxul funcțional este marcat cu arce de transmitere, orientate, marcate cu săgeți R_1, R_2 etc. (v. figura 6.11). Aceste arce au semnificația probabilității de funcționare fără defecțiuni a elementului din care pleacă și de transmitere a mișcării la elementul în care intră, indicând în acest fel funcția de fiabilitate a elementului în care pleacă. Rezemarea, încastrarea, fixarea organelor de mașini în sistemul mecanic se simbolizează prin arce neorientate (de ex. R_3, R_5 etc.). Elementele componente ale sistemului sunt noduri și se simbolizează prin cercuri (de ex. M_e, a, Z etc.). Elementele fixe ale sistemului (carcasă, batiu etc.) se simbolizează cu semnul de împământare, utilizat în schemele electrice.

Pe graful de conexiuni s-au utilizat următoarele notații: a - arbori, Z - roți dințate, L - lagăre, K - cuplaje, C - curele, L_1 - lanțuri, E - etanșări, V - variator cu fricțiune, S - sateliții transmisiilor planetare, M_e - motor electric, M_l - mașină de lucru.

Se exemplifică modul de construire a grafului de conexiuni pentru un reductor cu angrenaje cilindrice, cu axe fixe, orizontal și cu trei trepte de reducere (simbol 3H). În fig.6.10 se indică schema cinematică a reductorului, iar în fig. 6.11 graful de conexiuni ale elementelor reductorului.

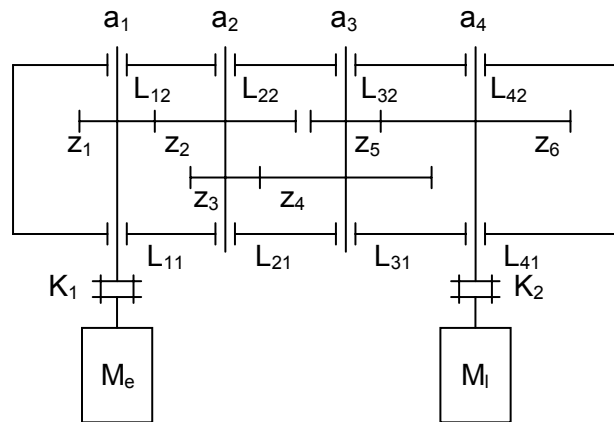


Fig. 6.10. Schema cinematică a reductorului 3 H

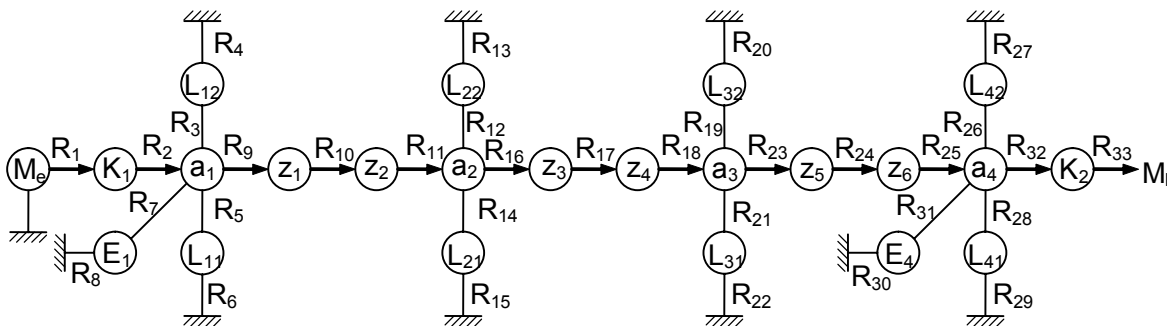


Fig. 6.11. Graful de conexiuni ale elementelor reductorului 3 H

Funcția fundamentală a reductorului 3H este de a transmite mișcarea de la motorul M_e la mașina de lucru M_l cu raportul de transmitere constant. Arcul orientat R_1 reprezintă probabilitatea ca momentul de torsiune să poată fi transmis de motorul electric la un

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

anumit timp t , semnificând funcția de fiabilitate a motorului electric. Arcul orientat R_2 reprezintă probabilitatea de transmitere a momentului de torsiune de către cuplajul K_1 așa cum este cerut de mașina de lucru, semnificând funcția de fiabilitate a cuplajului la momentul respectiv. Arcele neorientate R_3, R_5 nu influențează direct transmiterea mișcării de către arborele a_1 , însă influențează funcționarea transmisiei în ansamblul ei, astfel că pentru fiabilitatea transmisiei se vor lua în considerare și lagărele L_{11} și L_{12} . Totodată, trebuie avut în vedere că funcționarea corectă a lagărelor este determinată de modul de fixare a corpului lagărului în carcasă (pentru rulmenți, fixarea inelului exterior), punându-se în evidență prin funcțiile de fiabilitate R_4 și R_6 . Etanșarea reductorului în zona arborelui a_1 este luată în considerare prin funcția de fiabilitate R_7 , iar montarea corectă a etanșării prin R_8 .

Fiabilitatea arborelui a_1 , R_{a1} și a organului de asamblare a roții dințate z_1 pe a_1 , R_{as1} , este $R_9=R_{a1}R_{as1}$. Arcul orientat R_{10} indică buna funcționare a roții dințate z_1 , reprezentând funcția de fiabilitate globală a roții z_1 (ruperea la oboseală la piciorul dinților, deteriorarea flancului, distrugerea peliculei de lubrifiant). Analog se explicitează și celelalte arce $R_{11}, R_{12}, \dots, R_{33}$.

Cu aceste precizări, funcția de fiabilitate a reductorului 3H are expresia

$$R_{3H} = R_3 \cdot R_4 \cdot R_5 \cdot \dots \cdot R_{33}. \quad (6.17)$$

Funcțiile de fiabilitate R_3, R_4, \dots, R_{33} ale elementelor componente se determină așa cum s-a precizat în cap. 4, 5 și 9. De remarcat că funcțiile de fiabilitate funcțională ale unora dintre elemente pot fi considerate constante cu timpul de funcționare ($R_4, R_6, R_8, R_{13}, R_{15}, R_{20}, R_{22}, R_{27}, R_{29}$). Pentru aceste funcții de fiabilitate, cazul cel mai utilizat, se acceptă valoarea 1.

Similar cu exemplul prezentat, se poate deduce graful de conexiuni ale elementelor componente pentru toate transmisiile mecanice și pentru alte sisteme mecanice.

6.6. Studiul fiabilității sistemului mecanic cu modelul “arborelui” de defectare [2, 17, 22]

Modelul arborelui de defectare pune în evidență situația nefavorabilă când performanțele sistemului mecanic nu se încadrează între limitele specificate. Cu ajutorul acestui model se pun în evidență punctele slabe ale sistemului. Modelul se definește, ca și modelul logic, pornind de la ecuațiile modelului funcțional (6.5).

Se admite că pentru fiecare performanță y_i a sistemului și pentru fiecare parametru $x_j^{(k)}$ al unui organ de mașină component sunt definite câmpurile de toleranță, corespunzător cu structura sistemului. În locul celor p variabile de ieșire, se definește o singură variabilă binară S , care ia valoarea 0 dacă, la momentul t , vectorul de ieșire aparține domeniului de bună funcționare și valoarea 1 în caz contrar:

$$S = 0, \text{ dacă } \forall i = 1, 2, \dots, p: y_{i\min} \leq y_i \leq y_{i\max},$$

$$S = 1, \text{ dacă } \exists k=1, 2, \dots, l_j: x_j^{(k)} < x_{j\min}^{(k)} \text{ sau } x_j^{(k)} > x_{j\max}^{(k)}.$$

Introducând variabilele binare $\{z_j; j=1, 2, \dots, n\}$, relația stare-ieșire se poate exprima prin funcția booleană


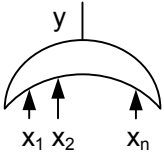
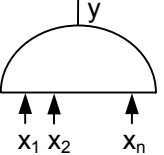
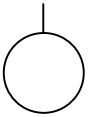
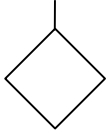
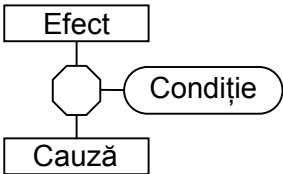
$$S = \varphi(z_1, z_2, \dots, z_n). \quad (6.18)$$

Pe baza funcției (6.18) se construiește diagrama logică, care indică legătura dintre

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

un defect anumit al transmisiei și defectele componentelor se defectăuni primare iar cele ale transmisiei – defectăuni secundare. Construcția arborelui de defectare pornește de la precizarea condițiilor inițiale de funcționare, iar defectăunile primare se consideră evenimente care se propagă prin intermediul unor porți logice. În tabelul 6.2 sunt precizate principalele simboluri utilizate. Dezvoltarea arborelui se face de sus în jos, pornind de la o defectare critică a transmisiei. Nivelul inferior următor reprezintă evenimentele secundare care caracterizează stările de defecte ale organelor de mașini componente.

Tabelul 6.2. Simboluri utilizate în metoda arborelui de defectare

Simbol	Interpretări
	<p><i>Dreptunghi:</i> simbolizează defectarea ca eveniment rezultat al propagării defectărilor primare</p>
	<p><i>Poarta logică "SAU":</i> simbolizează faptul că pentru producerea evenimentului la ieșire Y, este necesar să se producă unul dintre evenimentele de intrare X_i: $Y=X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_n$.</p>
	<p><i>Poarta logică "ȘI":</i> simbolizează faptul că realizarea tuturor evenimentelor la intrare X conduce la realizarea evenimentului la ieșire Y: $Y=X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_n$.</p>
	<p><i>Cerc:</i> simbolizează defectarea primară a componentei a cărei repartiție (frecvență) este cunoscută sau poate fi determinată</p>
	<p><i>Romb:</i> simbolizează un eveniment de defectare care nu este analizat până la cauze.</p>
	<p><i>Hexagon:</i> simbolizează relația causală între două evenimente de defectare dacă este satisfăcută condiția menționată</p>

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

Modul de construire a arborelui de defectare se exemplifică pentru o transmisie formată din curele trapezoidale și roți dințate. Schema cinematică a transmisiei este prezentată în fig. 6.12. Transmisia este destinată acționării unui stand de încercări tribologice, la care este importantă menținerea unei viteze de alunecare mici, fără sacadări (evitarea fenomenului de stick-slip) și fără sarcini dinamice sau vibrații.

Se consideră drept eveniment critic (defectarea transmisiei) transmiterea unor sarcini dinamice și vibrații perturbatoare cuplei de frecare epruvetă. Probabilitatea evenimentului critic poate fi determinată cunoscând probabilitățile evenimentelor primare E_1, E_2, \dots, E_{15} .

În fig. 6.13 se ilustrează arborele de defectare pentru transmisia mecanică, defecțiunile primare fiind: E_1 – siguranța electrică a unei faze de alimentare a motorului electric este întreruptă; E_2 – motor electric defect; E_3, E_4 – rulmenții L_5 și L_6 sunt defecti; E_5, E_6 – angrenajele Z_3 - Z_4 și Z_1 - Z_2 – uzate prin adeziune sau abraziune, ca urmare a particulelor din ulei; E_7 – întinderea inițială a uneia sau a mai multor curele trapezoidale C este necorespunzătoare; E_8 – sarcină mare la epruveta de încercat M_i ; E_9 – lipsă ulei în reductor; $E_{10}, E_{11}, E_{12}, E_{13}$ – rulmenții $L_{11}, L_{12}, L_{21}, L_{22}$ sunt defecti; E_{14}, E_{15} – angrenajele Z_1 - Z_2 și Z_3 - Z_4 sunt deteriorate fie ca urmare a ruperii unor dinți, fie ca urmare a deteriorării flancurilor prin ciupituri.

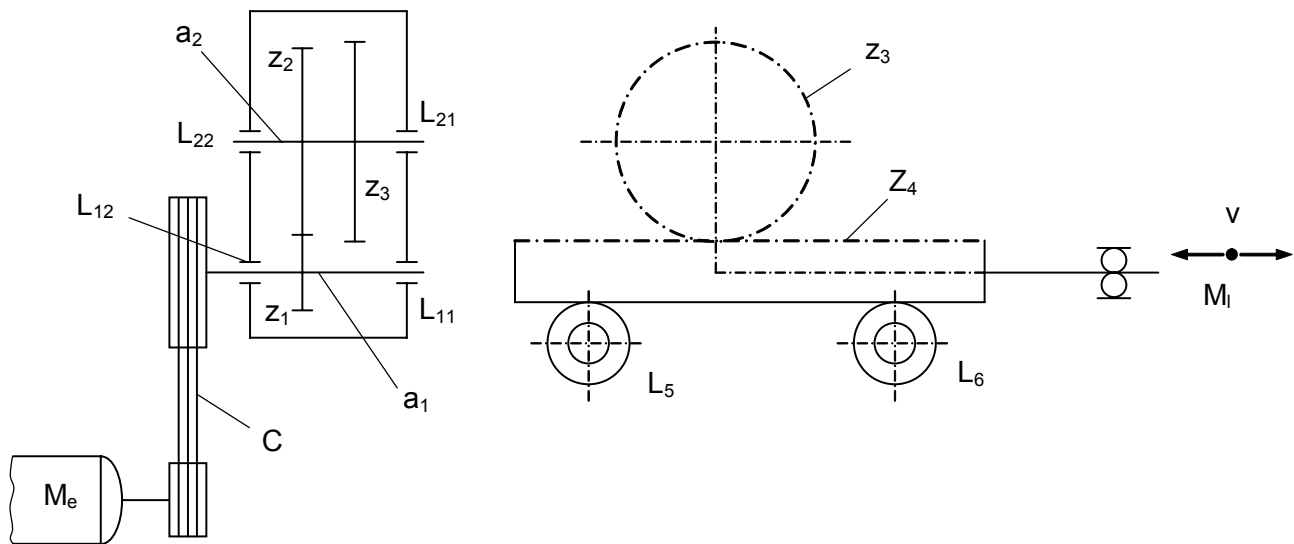


Fig. 6.12. Schema cinematică a transmisiei mecanice a standului pentru studiul mișcării sacadate

Dacă se notează cu R_1, R_2, \dots, R_{15} funcțiile de fiabilitate ale acestor elemente primare, atunci funcția de fiabilitate după un timp de funcționare a transmisiei va fi $R=R_1R_2\dots R_{15}$.

Metoda arborelui de defectare permite o analiză detaliată a sistemului, pe baza căreia se pot lua măsuri de îmbunătățire și adopta unele modificări constructive.

6. Fiabilitatea sistemelor mecanice

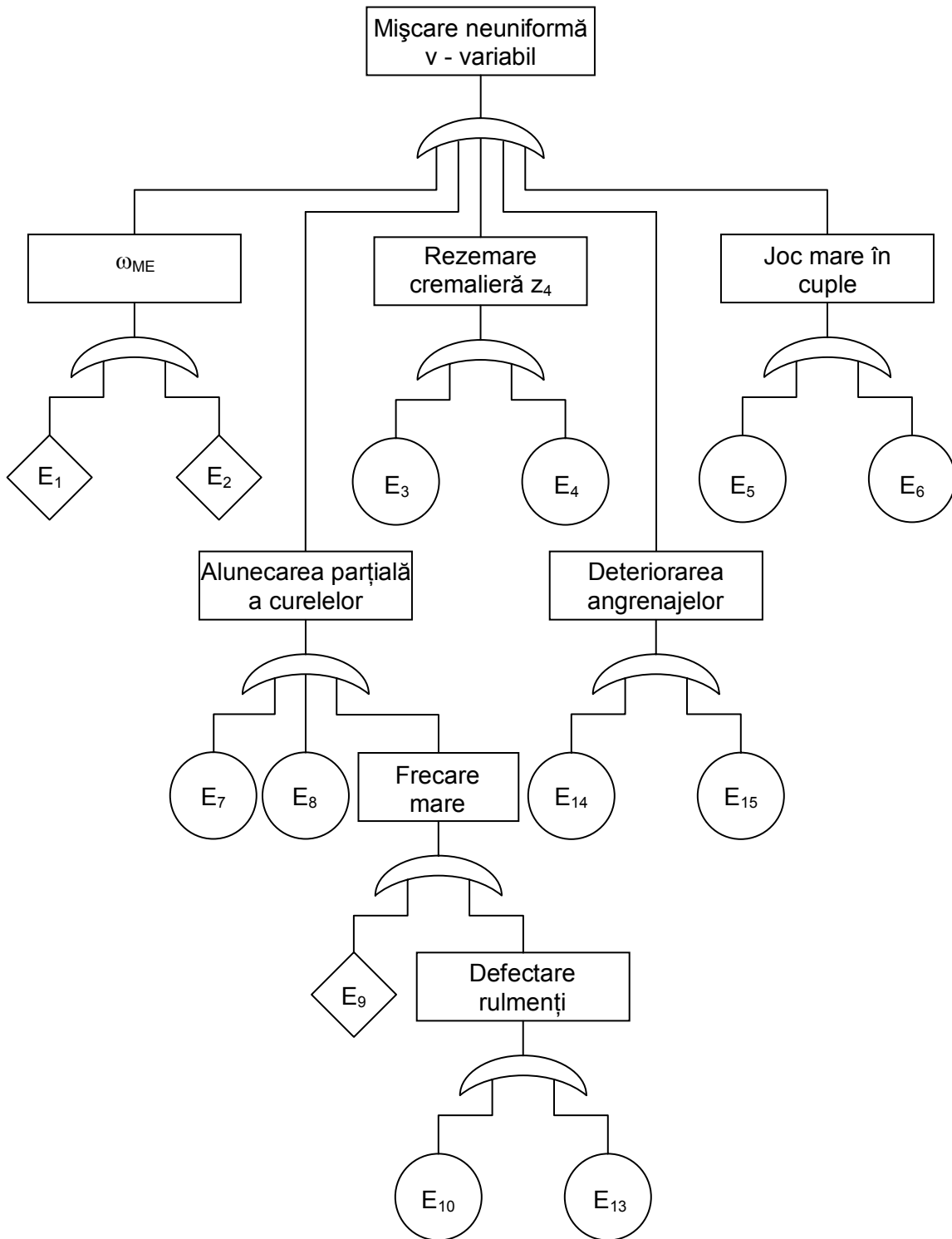


Fig. 6.13. Arborele de defectare al transmisiei mecanice