



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2010 00460

(22) Data de depozit: 28.05.2010

(41) Data publicării cererii:
30.12.2011 BOPI nr. 12/2011

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE
ASACHI" DIN IAȘI,
BD.PROF.D.MANGERON NR. 67, IAȘI, IS,
RO

(72) Inventatori:
• ADAM MARICEL, STR. PĂCURARI
NR. 150 BL. 589 SC. A, ET.2, AP. 6, IAȘI, IS,
RO;
• BARABOI ADRIAN, STR. RÂPEI NR.15,
IAȘI, IS, RO;
• PANCU MIHAI CĂTĂLIN, BD. SOCOLA
NR.8A, BL.H2, ET.5, AP.20, IAȘI, IS, RO

(54) **PROCEDEU PENTRU DIAGNOSTICAREA
ÎNTRERUPĂTOARELOR PE BAZA MONITORIZĂRII
FIABILITĂȚII ÎN EXPLOATARE**

(57) Rezumat:

Prezenta invenție se referă la un procedeu pentru stabilirea stării tehnice a întrerupătoarelor pe baza monitorizării fiabilității în exploatare. Procedeu conform invenției constă din aprecierea stării tehnice a unui întrerupător care, pentru a îndeplini funcțiile principale de comutație și manevră, prezintă două subansambluri constructive, un mecanism de acționare și o cameră de stingere, care pot asigura un număr limitat de manevre, respectiv, comutații, până la atingerea limitei de uzură, apreciere ce se realizează cu ajutorul unui model de fiabilitate ce cuprinde un subsistem mecanism de acționare (MA), în care poate apărea un defect din cauza consumării rezervei de manevră, un subsistem cameră de stingere (CS) în care poate apărea un defect din cauza consumării rezervei de comutație, un subsistem (DB) în care poate apărea un defect brusc, un subsistem (DT) în care pot apărea defecte de tinerețe, care pot fi de construcție și montaj, și un subsistem (DV) în care pot apărea defecte explicative, din cauza efectului cumulat al unor variabile cum ar fi vârsta echipamentului, locul de amplasare, fabricantul de echipament,

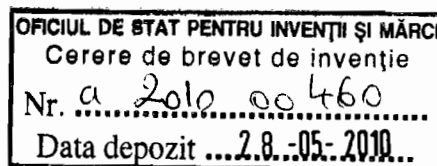
gradul de încărcare, fiecare subsistem component din modelul de fiabilitate putându-se afla doar în două stări, de funcționare și de nefuncționare; astfel, și întrerupătorul va avea numai aceste două stări posibile și, în această situație, probabilitatea de funcționare a întrerupătorului este dată de produsul probabilităților celor cinci subsisteme (MA, CS, DB, DT, DV) componente.

Revendicări: 1
Figuri: 5



Fig. 1





PROCEDEU PENTRU DIAGNOSTICAREA ÎNTRERUPĂTOARELOR PE BAZA MONITORIZĂRII FIABILITĂȚII ÎN EXPLOATARE

Invenția se referă la un procedeu care permite diagnosticarea întrerupătoarelor pe baza monitorizării fiabilității în exploatare (serviciu) a acestora.

În prezent, pentru realizarea diagnosticării stării tehnice a întrerupătoarelor este necesară o supraveghere în timp real a unui număr important de parametri ai acestora precum: curentul de sarcină, cursa contactelor mobile, tensiunea operativă, curenții prin electromagneții de închidere/deschidere etc. [1], [2], [3].

Supravegherea on-line a unui număr mare de parametri ai întrerupătoarelor, în vederea diagnosticării stării tehnice și realizării unei mentenanțe predictive a acestora, este pentru moment dificil de realizat (mai ales pentru întrerupătoarele din generații mai vechi, aflate în exploatare), atât din considerente tehnice cât și economice, [1], [2], [3]. Astfel, spre exemplu, în cazul întrerupătoarelor vechi aflate în exploatare, montarea unor senzori și/sau traductoare aferente sistemelor de monitorizare și diagnosticare necesită consultarea și ajutorul constructorului de echipament, constructor care uneori nu mai există sau tipul respectiv de întrerupător nu mai este în fabricație.

Procedeul pentru diagnosticarea întrerupătoarelor pe baza monitorizării fiabilității în exploatare, **conform invenției**, înlătură neajunsurile menționate mai sus prin aceea că stabilirea stării tehnice a întrerupătoarelor este realizată pe baza fiabilității în exploatare a acestora care, la rândul ei, este apreciată cu ajutorul unui model de fiabilitate al echipamentului, model care utilizează parametri ce pot fi monitorizați cu ușurință (se folosește infrastructura tehnică existentă în exploatare), respectiv date care pot fi extrase din

documentele tehnice existente la unitățile de producere, transport și distribuție a energiei electrice.

În continuare este descris un exemplu de realizare, în legătură și cu Fig.1, ..., 5 care reprezintă:

- Fig.1, diagrama de fiabilitate a întrerupătorului;
- Fig.2, stările mecanismului de acționare;
- Fig.3, modelul de consumare neuniformă a rezervei de comutație a camerei de stingere;
- Fig.4, evoluția probabilității de funcționare în funcție de vârstă și sarcină;
- Fig.5, evoluția probabilității de funcționare în funcție de vârstă și rezistența de contact.

Întrerupătoarele, pentru a îndeplini funcțiile principale de comutație și manevră, prezintă două subansambluri constructive și anume: mecanismul de acționare (de exemplu: mecanism oleopneumatic - MOP sau mecanism cu resort - MR) și camera de stingere (cu ulei, hexafluorură de sulf - SF₆, vid). Aceste subansambluri constructive pot asigura un număr limitat de manevre, respectiv comutații până la atingerea limitei de uzură, peste care întrerupătorul nu mai poate funcționa.

Limita de uzură este caracterizată, de exemplu, prin reducerea vitezelor de deplasare a contactelor mobile, degradarea mediului de stingere (ulei, SF₆), electroeroziunea suprafețelor de contact etc.

Fabricantul de echipament, luând în considerare uzurile mecanică și electrică pe care le suportă elementele componente ale întrerupătoarelor, precizează mărimea rezervei de care dispune atât mecanismul de acționare cât și camera de stingere, [4], [5], [6].

Din rezervele de manevră, respectiv de comutație, se consumă o parte a acestora la fiecare manevră sau manevră și comutație a întrerupătorului, altfel spus întrerupătorul se uzează.

În funcționarea întrerupătorului pot interveni următoarele defecte primare, considerate ca evenimente aleatoare independente: defecte progresive datorită consumării rezervei de manevră și de comutație; defecte bruște; defecte de tinerețe (de construcție și montaj); defecte datorate efectului cumulat al unor variabile (denumite explicative) cum ar fi vârsta echipamentului, locul de amplasare, fabricantul de echipament, gradul de încărcare, valoarea rezistenței de contact etc.

În consecință, în diagrama de fiabilitate a întrerupătorului se vor înscrie cinci subsisteme componente, Fig.1: subsistemul mecanism de acționare, MA, în care poate apărea defectul progresiv datorită consumării rezervei de manevră; subsistemul camera de stingere, CS, în care poate apărea defectul progresiv datorită consumării rezervei de comutație; subsistemul DB

în care poate apare defectul brusc; subsistemul DT în care poate apare defectul de tinerețe și subsistemul DV în care poate apare defectul datorită variabilelor explicative.

Fiecare subsistem component din diagrama de fiabilitate se poate afla doar în două stări: starea de funcționare (succes) și starea de nefuncționare (insucces). În mod corespunzător și întrerupătorul, în ansamblul său, va avea numai aceste două stări posibile. În această situație, probabilitatea de funcționare a întrerupătorului este dată de produsul probabilităților de funcționare ale celor cinci subsisteme componente:

$$P(t) = P_{MA}(t) \cdot P_{CS}(t) \cdot P_{DB}(t) \cdot P_{DT} \cdot P_{DV}, \quad (1)$$

unde: $P(t)$ reprezintă probabilitatea de funcționare a întrerupătorului; $P_{MA}(t)$, probabilitatea de funcționare a dispozitivului de acționare fără consumarea rezervei de manevră; $P_{CS}(t)$, probabilitatea de funcționare a camerei de stingere fără consumarea rezervei de comutație; $P_{DB}(t)$, probabilitatea de funcționare a întrerupătorului fără defecte bruște; P_{DT} , probabilitatea de funcționare a întrerupătorului fără defecte de tinerețe; P_{DV} probabilitatea de funcționare a întrerupătorului fără defecte datorate variabilelor explicative. Determinarea funcției de fiabilitate a întrerupătorului presupune calculul prealabil al funcțiilor de fiabilitate ale subsistemelor componente.

Probabilitatea de funcționare a întrerupătorului fără defecte bruște se determină acceptând repartiția exponențială a timpului de funcționare cu parametrul λ_b :

$$P_{DB}(t) = e^{-\lambda_b t}. \quad (2)$$

Valoarea parametrului λ_b poate fi determinată destul de exact pe baza urmării comportării în exploatare a întrerupătoarelor, [7], [8].

Pentru probabilitatea de funcționare în perioada imediat următoare punerii în funcțiune, fără defecte de tinerețe, se recomandă considerarea unor valori cuprinse între limitele 0,994 ... 0,996, [7], [8].

În Fig.2 sunt prezentate stările în care se poate afla mecanismul de acționare. Considerăm că mecanismul de acționare al întrerupătorului are o rezervă de manevră egală cu N_{MA} (numărul de manevre pe care îl poate efectua mecanismul între două reparații care urmăresc restabilirea capacității de funcționare).

Stările $S_{N_{MA}} \dots S_1$ sunt considerate ca stări de funcționare, având în vedere faptul că mecanismul nu și-a consumat încă rezerva de manevră N_{MA} . Dacă mecanismul de acționare mai efectuează încă o manevră, starea în care va trece, notată cu S_0 , trebuie considerată ca o stare de defect, în sensul că elementul și-a consumat rezerva de manevră.

Mecanismul de acționare este în starea $S_{N_{MA}}$ în momentul punerii în funcțiune a întrerupătorului. La efectuarea unei manevre, elementul trece prin salt din starea în care se află $S_{N_{MA}-k}$ în starea vecină $S_{N_{MA}-k-1}$. Trecherile dint-o stare în alta sunt ireversibile (în starea $S_{N_{MA}-k}$ se poate ajunge numai din starea $S_{N_{MA}-k+1}$) și sunt posibile în orice moment, ceea ce implică un proces aleator cu timp continuu.

Intensitatea manevrării mecanismului de acționare este caracterizată prin mărimea λ_{MA} care este considerată constantă în timp, se admite deci ipoteza unui flux de evenimente (manevre) de tip Poisson, staționar și ordinar.

Notăm $P_{N_{MA}-k}(t)$, unde $1 \leq k \leq N_{MA}-1$, probabilitatea ca elementul să se afle în starea $S_{N_{MA}-k}$ în momentul t . Această probabilitate va putea fi calculată cu relația:

$$P_{N_{MA}-k}(t) = \frac{(\lambda_{MA}t)^k}{k!} e^{-\lambda_{MA}t}. \quad (3)$$

Conform teoremei compunerii probabilităților, probabilitatea funcționării până la defect a mecanismului de acționare se va determina ca sumă a probabilităților evenimentelor menționate, ceea ce conduce la:

$$P_{MA}(t) = \sum_{k=0}^{N_{MA}-1} P_{N_{MA}-k}(t) = \sum_{k=0}^{N_{MA}-1} \frac{(\lambda_{MA}t)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda_{MA}t}, \quad (4)$$

unde: $P_{N_{MA}-k}(t)$ reprezintă de fapt probabilitatea de producere a evenimentului (manevră) în intervalul $(0,t)$ de k ori (k fiind o variabilă aleatoare, repartizată după legea Poisson de parametru $\lambda_{MA}t$).

Pentru ansamblul cameră de stingere al întrerupătorului se va considera o anumită rezervă de comutație, exprimată prin numărul admisibil de întreruperi ale curentului de scurtcircuit, în anumite condiții precizate de norme (factor de putere, tensiune tranzitorie de restabilire etc.), pe care-l poate efectua întrerupătorul între două operații de restabilire a capacității sale de funcționare (a rezervei de comutație).

Numărul de scurtcircuite care solicită întrerupătorul în unitatea de timp, denumit intensitatea de comutație la scurtcircuit, se notează cu λ și se consideră constantă în timp sau pe anumite intervale de timp.

Rezerva de comutație, N , se va consuma fie printr-un singur tip de scurtcircuit, fie prin mai multe tipuri de scurtcircuit.

În cazul când consumarea rezervei se realizează printr-un singur tip de scurtcircuit și se desfășoară în etape egale, se poate utiliza relația (4) pentru calculul probabilității de

funcționare $P_{CS}(t)$ a camerei de stingere. În acest caz, λ_{MA} și N_{MA} din relația (4) devin λ , respectiv N și reprezintă intensitatea de comutație la scurtcircuit a întrerupătorului, respectiv rezerva de comutație.

Acest model al consumării rezervei de comutație printr-un singur tip de scurtcircuit se poate aplica pentru întrerupătoarele din circuitele transformatoarelor sau autotransformatoarelor, din circuitele de cuplă etc. În aceste cazuri, pentru fiecare comutație în regim de scurtcircuit, valoarea curentului de scurtcircuit întrerupt se poate lua acoperitor egală cu valoarea curentului de scurtcircuit pe barele stației la care sunt racordate circuitele respective.

Pentru a doua situație, când rezerva de comutație va fi consumată prin mai multe tipuri de scurtcircuit, nu se mai poate utiliza modelul prezentat anterior, deoarece consumarea rezervei de comutație nu mai poate fi considerată că se face în etape egale (de exemplu cazul întrerupătoarelor din circuitele liniilor electrice aeriene).

Vom nota cu λ_i intensitatea comutațiilor întrerupătorului pentru scurtcircuitul de tip i . Pentru fiecare comutație a curentului de scurtcircuit de tip i se consumă o anumită parte din rezerva de comutație N . Mărimea N caracterizează, de fapt, rezerva de comutație a camerei de stingere solicitată numai de scurtcircuite de un anumit tip (de fapt, scurtcircuitul considerat în model care poate fi întrerupt de cel mai mare număr de ori).

În Fig.3 este prezentat modelul general care descrie consumarea neuniformă în timp a rezervei de comutație, [3].

În starea S_{N-k} se poate ajunge din oricare altă stare anterioară: $S_N, S_{N-1}, \dots, S_{N-k+2}, S_{N-k+1}$. Probabilitatea funcționării fără consumarea rezervei de comutație se va obține ca sumă a probabilităților stărilor de bună funcționare:

$$P_{CS}(t) = \sum_{k=0}^{N-1} P_{N-k}(t) = \sum_{k_1=0}^{K_1} \dots \sum_{k_n=0}^{K_n} \frac{(\lambda_1 t)^{k_1}}{k_1!} \dots \frac{(\lambda_n t)^{k_n}}{k_n!} e^{-\lambda_s t}, \quad (5)$$

unde:

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i. \quad (6)$$

Valorile constantelor K_1, K_2, \dots, K_n , se pot calcula cu relațiile:

$$\begin{cases} K_1 \leq (N-1) \frac{N_1}{N}, \\ K_i \leq \left(N-1 - \sum_{i=2}^{n-1} \frac{N}{N_{i-1}} k_{i-1} \right) \frac{N_i}{N}, \end{cases} \quad (7)$$

unde $N_1 < N_2 < \dots < N_n = N$ sunt rezervele de comutație pentru curenții deconectați $I_1 > I_2 > \dots > I_n$, considerați în model.

Diagrama de fiabilitate a întrerupătorului din Fig.1 prezintă și un subsistem (al variabilelor explicative) care poate cauza defectarea echipamentului datorită efectului cumulat al: vârstei; intervalului de timp de la ultima revizie; stării tehnice a componentelor stabilită pe baza datelor din buletinele de verificare; condițiilor reale de exploatare; numărului de acționări în condiții de defect; stării circuitelor secundare etc.

Prin utilizarea modelului regresiei logistice, care este o metodă explicativă performantă și larg răspândită în tratarea unor asemenea tipuri de date, se pot selecționa parametrii care au influență asupra defectării echipamentului și cuantifica sau compara efectele lor, [9].

Fiecare întrerupător luat în considerare este caracterizat printr-un vector de stare:

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}), \quad (8)$$

unde $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$, reprezintă valorile celor n variabile explicative considerate, respectiv prin variabila calitativă de funcționare P_{DV} care poate fi 1 când echipamentul funcționează sau 0 când este deteriorat.

În modelul logistic, calculul probabilității P_{DV} , ca echipamentul să fie în funcțiune cunoscând valorile celor n variabile explicative semnificative x_i se poate scrie:

$$P_{DV} = \frac{1}{1 + e^{(-\beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n)}} \quad (9)$$

unde β_i sunt coeficienți care apreciază riscul asociat variabilelor explicative x_i .

Din datele posibile furnizate de unitățile de exploatare a instalațiilor electrice, în model, pot fi considerate drept variabile explicative semnificative următoarele: data punerii în funcțiune (vârsta); fabricantul de echipament; locul de amplasare al echipamentului; gradul de încărcare față de parametrii nominali; valoarea rezistenței de contact obținută la ultima revizie.

În Fig.4 se arată evoluția probabilității de funcționare în funcție de vârstă ($t = 0 \dots 30$ ani) și de gradul de încărcare (sarcina = 0...120%), observându-se că P_{DV} poate ajunge la aproximativ 0,497 după 30 de ani de funcționare și un grad de încărcare pe durata de viață de 120%. Acest fapt arată că deși durata de viață a trecut, iar probabilitatea de funcționare este sub cea impusă de normative (aproximativ 0,70, [8]), echipamentul poate fi folosit în continuare însă cu o probabilitate mai mare de defectare.

Alura probabilității de funcționare dată de vârsta echipamentului, respectiv valoarea rezistenței de contact se poate vedea în Fig.5. Se constată că pentru un echipament care se află la finalul duratei de viață (30 ani) având o rezistență de contact, R_c , ce dă o cădere de tensiune apropiată de tensiunea de plastifiere, probabilitate de funcționare este de 0,312, cu mult sub valoarea admisă, ceea ce face ca funcționarea acestuia să fie dificilă.

Plecând de la modelul de fiabilitate prezentat s-a realizat un procedeu de diagnosticare a întrerupătoarelor centrat pe supravegherea fiabilității în exploatare a acestora.

Procedeu implică calcularea probabilităților de funcționare a fiecărui subsistem din diagrama de fiabilitate și apoi a probabilității întrerupătorului.

Realizarea procedurii presupune, pentru început, culegerea din documentele tehnice existente (de exemplu: fișe de incident; fișe de echipament deteriorat; fișe de echipament; jurnale operative din stații; buletine de verificări; normative și prescripții energetice etc.) a următoarelor date: tipul întrerupătorului, în funcție de celula în care este montat (linie, cuplă, transformator etc.); intensitatea defectelor bruște a tipului de întrerupător ales; data punerii în funcțiune (vârsta); fabricantul echipamentului; locul de amplasare în instalație (interior, exterior, exterior poluat); rezerva de manevră; rezerva de comutație; valoarea rezistenței de contact măsurată la ultima revizie. La datele precizate se mai adaugă cele preluate de la întrerupătorul diagnosticat, cum sunt: curentul prin acesta (oferă informații privind gradul de încărcare și valoarea curentului de scurtcircuit deconectat), de la transformatorul de curent existent în instalație; numărul de manevre, de la numărătorul aflat în mecanismul de acționare.

Datele despre fiecare eveniment (manevră, comutație) sunt reținute într-o bază de date care conțin istoricul întrerupătorului. Plecând de la istoricul întrerupătorului (care permite cunoașterea intensității de manevră, respectiv de comutație) se determină probabilitatea de funcționare după un interval de timp dorit, valoare care apoi se compară cu cea impusă de normativele tehnice. Dacă valoarea probabilității de funcționare a întrerupătorului la finalul intervalului de analiză dorit este mai mică sau cel mult egală cu probabilitatea admisă de normativele tehnice atunci se va preciza data recomandată pentru activitățile de mentenanță cerute de starea întrerupătorului diagnosticat pe baza fiabilității în exploatare.

REVENDICARE

1. Procedeu pentru diagnosticarea întrerupătoarelor pe baza monitorizării fiabilității în exploatare **caracterizat prin aceea că** stabilirea stării tehnice a întrerupătoarelor este realizată pe baza fiabilității în exploatare a acestora care, la rândul ei, este apreciată cu ajutorul unui model de fiabilitate al echipamentului, model care prezintă următoarele componente: subsistemul mecanism de acționare, (MA), în care poate apare defectul progresiv datorită consumării rezervei de manevră; subsistemul camera de stingere, (CS), în care poate apare defectul progresiv datorită consumării rezervei de comutație; subsistemul (DB) în care poate apare defectul brusc; subsistemul (DT) în care poate apare defectul de tinerețe și subsistemul (DV) în care poate apare defectul datorită variabilelor explicative și care utilizează parametri ce pot fi monitorizați cu ușurință, respectiv date care pot fi extrase din documentele tehnice existente la unitățile de producere, transport și distribuție a energiei electrice.



Fig.1

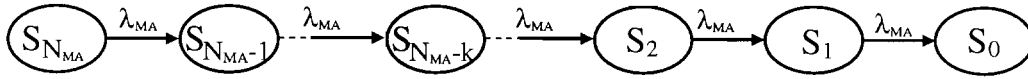


Fig.2

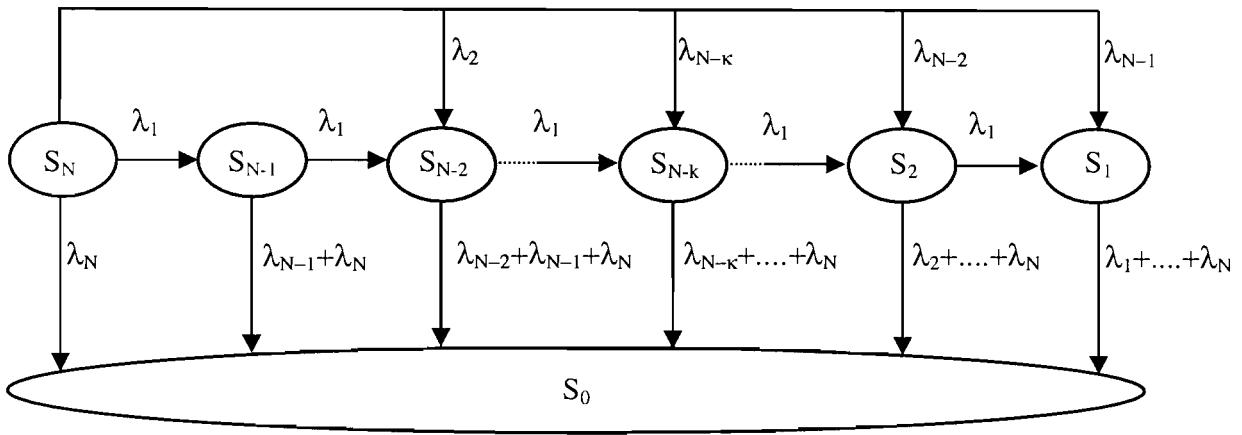


Fig.3

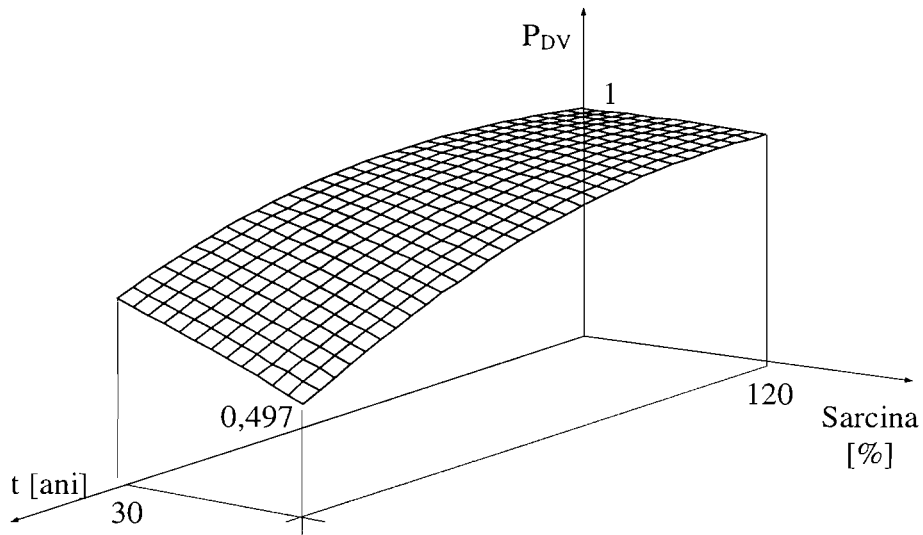


Fig.4

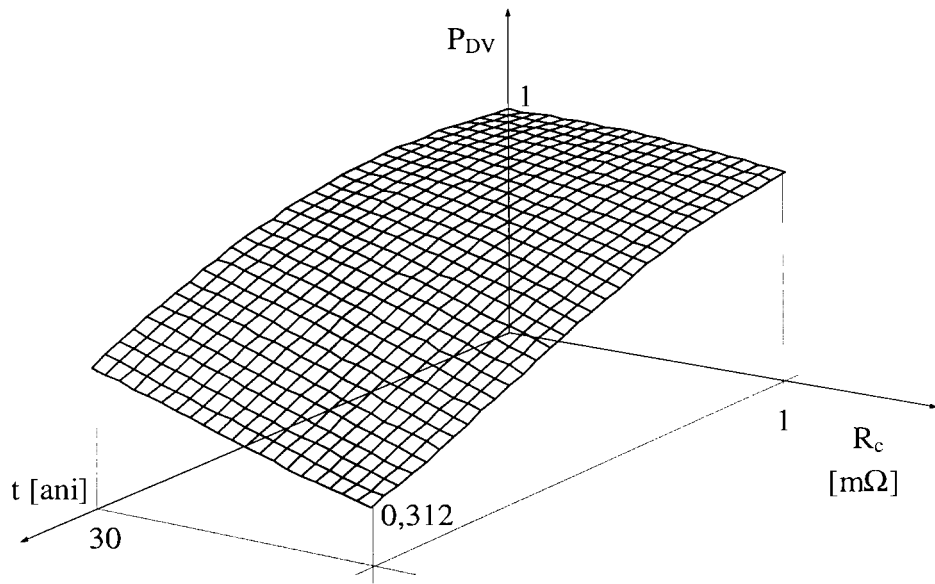


Fig.5