



HAL
open science

Algorithme multicritériel de évaluation à points critiques des réseaux de distribution

Virgil Dumbrava, Bogdan Nicoara, Philippe Duquenne, Jean-Marc Le Lann

► **To cite this version:**

Virgil Dumbrava, Bogdan Nicoara, Philippe Duquenne, Jean-Marc Le Lann. Algorithme multicritériel de évaluation à points critiques des réseaux de distribution. *Energetica*, 2005, 53 (6), pp.232-235. hal-01916653

HAL Id: hal-01916653

<https://hal.science/hal-01916653>

Submitted on 8 Nov 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible

This is an author's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/21030>

To cite this version:

Dumbrava, Virgil and Nicoara, Bogdan and Duquenne, Philippe[✉] and Le Lann, Jean-Marc[✉] *Algoritm multicriterial de evaluare a punctelor critice din retelele de distributie*. (2005) *Energetica*, 53 (6). 232-235. ISSN 1453-2360

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr

Algoritm multicriterial de evaluare a punctelor critice din rețelele de distribuție

Virgil DUMBRAVĂ¹, Bogdan NICOARĂ², Philippe DUQUENNE³, Jean-Marc LE LANN⁴

Abstract: The establishment of the critical points in the power system is made according to the following main criteria:

- technical condition (physical condition, number of incidents, unavailability time, associated costs)
- operational importance
- electrical energy transit (past measured transit, forecast transit).

Different sets of weighting coefficients are proposed and the sensibility of the algorithm to these coefficients is investigated. The paper demonstrates that these criteria are applicable also to power transformers, internal services, compensation facilities and telecommunication entities.

Eventually, a maintenance strategy for different installations of the power system is proposed.

Key words: multicriterial analysis, algorithm, distribution networks, critical points

Descriptori: analiză multicriterială, algoritm, rețele electrice de distribuție, puncte critice

Introducere

Crearea pieței de energie electrică, precum și aplicarea reglementărilor aferente impun reanalizarea soluțiilor privind mentenanța și optimizarea exploatarea instalațiilor RED în scopul creșterii siguranței funcționării RED și eficientizării economice a activității specifice rețelelor electrice de distribuție.

În deceniul 1990-2000 s-a dezvoltat o serie de concepte/modele privind eficientizarea activității de distribuție a energiei electrice, atât prin modele de organizare a activităților, cât și prin aplicații software specifice - suport tehnic-informatic al managementului activelor. Sistemele de management al activelor (AMS) se pot defini ca aplicații informatice (software) dedicate, cu scop de a sprijini dezvoltarea funcțiilor managementului activelor, care au ca obiectiv major maximizarea venitului. Funcții de bază în managementul activelor sunt:

- elaborarea strategiei activităților de mentenanță;
- decizii privind înlocuirea sau re tehnologizarea instalațiilor în rețeaua electrică de distribuție;
- introducerea tehnologiilor noi, implementarea rezultatelor cercetărilor aplicative privind managementul activelor;
- implementarea managementului riscului.

Evoluția sistemelor de management al mentenanței, corelată cu utilizarea din ce în ce mai frecventă a metodologiilor privind managementul costurilor pe durată/ycluri de viață, mentenanța bazată pe fiabilitate, etc. facilitează îmbunătățirea/creșterea duratei de viață a echipamentelor/instalațiilor, furnizând decizii utile pentru management pe durata de funcționare a acestora.

În domeniul mentenanței există în prezent trei tipuri de strategii: relative la stare, bazate pe fiabilitate (RCM) și bazate pe risc (RBM - risk based maintenance strategy).

Deschiderea piețelor de energie electrică a stimulat dezvoltarea suportului necesar pentru aplicarea strategiilor privind activitățile de mentenanță bazată pe fiabilitate (RCM), care au ca scop atât realizarea nivelului de fiabilitate/performanță stabilit/cerut, cât și minimizarea costurilor în corelare cu nivelul de fiabilitate a echipamentelor. Rezultatele care pot fi obținute permit [1-8]:

- evaluarea echipamentelor /instalațiilor, considerând atât criteriul condițiilor tehnice-stării tehnice, cât și fiabilitatea sistemului, obținându-se astfel o imagine de ansamblu a stării

tehnice a rețelei electrice de distribuție;

- evidențierea punctelor critice din rețea, pentru care se pot stabili activități de mentenanță adecvate.

Aplicarea acestui tip de strategie oferă ca rezultat o ierarhizare a echipamentelor din punctul de vedere al stării tehnice și importanței în rețea; corelarea celor două ierarhizări permite ca, în cazul unui buget limitat, cheltuielile efectuate pentru activitatea de mentenanță să fie adecvat stabilite și distribuite.

1. Punerea problemei

Pentru stabilirea punctelor critice, echipamentele din rețeaua de distribuție din cadrul RED au fost împărțite, din punct de vedere funcțional, în următoarele entități:

- noduri (sisteme de bare);
- legături (liniile electrice, autotransformatoarele și transformatoarele de putere).

În prezenta lucrare vor fi avute în vedere entitățile nod. Metodologia de stabilire a punctelor critice va putea fi aplicată și stațiilor electrice.

Entitatea NOD include: echipamente primare, echipamente secundare, descărcătoare, priza de pământ, paratrăsnetele, construcții (fundatii, rigle, cadre).

În entitatea TRANSFORMATOARE DE PUTERE se includ următoarele echipamente: transformator/ autotransformator de putere, transformatoarele de măsură de curent și tensiune aferente transformatorului/ autotransformatorului de putere, protecții aferente transformatorului/autotransformatorului de putere.

În entitatea SERVICII INTERNE se includ serviciile interne de curent continuu și serviciile interne de curent alternativ.

În entitatea INSTALAȚII DE COMPENSARE se includ următoarele echipamente: bobinele de compensare, compensatoare sincrone, baterii de condensatoare.

Entitatea INFORMATICĂ-TELECOMUNICAȚII cuprinde: sisteme de telecomandă, SCADA, sisteme de comunicații.

Stabilirea punctelor critice din cadrul RED se va face pe baza unei analize multicriteriale. Criteriile avute în vedere sunt următoarele:

- starea tehnică nod - ST;
- importanța pentru funcționarea RED - IF;
- energia electrică distribuită - ET.

Pentru fiecare dintre aceste criterii, nodurile vor primi câte o notă cuprinsă între 1 și 100. Nota 1 corespunde celui mai bun calificativ, iar nota 100 corespunde celui mai slab calificativ acordat. Notele obținute la fiecare criteriu vor fi ponderate cu ajutorul unor coeficienți de pondere, astfel:

- starea tehnică nod p_{ST} [u.r.];
- importanța pentru funcționarea RED, p_{IF} [u.r.];
- energia electrică distribuită, p_{ET} [u.r.].

Aceste ponderi, a căror sumă este 1, se vor stabili ulterior, după o analiză de sensibilitate.

2. Evaluarea stării tehnice a echipamentelor

Pentru determinarea stării tehnice a nodurilor, se propun următoarele patru criterii, însoțite de ponderile următoare:

- uzura fizică a echipamentelor, UF, p_{UF} [u.r.]; 0,45
- numărul de incidente, NI, p_{NI} [u.r.]; 0,20
- durata de indisponibilitate, DI, p_{DI} [u.r.]; 0,15
- costuri asociate, CA, p_{CA} [u.r.]; 0,20

Nota pentru starea tehnică a echipamentelor din nod se calculează cu relația:

$$N_{ST_nod} = p_{UF} \cdot N_{UF} + p_{NI} \cdot N_{NI} + p_{DI} \cdot N_{DI} + p_{CA} \cdot N_{CA} \quad (1)$$

^{1,2} Universitatea „POLITEHNICA” din București

^{3,4} Institut National Polytechnique de Toulouse, France

2.1. Uzura fizică a echipamentelor

Pentru stabilirea notei corespunzătoare uzurii fizice a echipamentelor din fiecare nod, se definesc în continuare (tabelul 1), șase clase de echipamente, grupate din punct de vedere al importanței funcționale.

Tabelul 1

Clasele de importanță funcțională ale echipamentelor

Clasa echipament	Tip echipament	Coeficient pondere importanță funcțională, CP
1	Protecții, automatizări, comenzi, semnalizări,	6
2	Înteruptoare, separatoare, transformatoare de măsură de curent și de tensiune	5
3	Sistemul de bare	4
4	Descărcătoare	3
5	Construcții (fundății, rigle, cadre)	2
6	Priza de pământ, paratrăsnete	1

Fiecare dintre echipamente va primi câte o notă pentru caracterizarea stării de uzură fizică, notă cuprinsă între 1 și 100. Este de dorit ca această notă să fie calculată de o aplicație (de exemplu de tip RCM) în mod unitar, pentru toate entitățile menționate și pentru RED. În absența RCM, se propune următorul mod de calcul al acestei note.

a) se calculează punctele de uzură fizică corespunzătoare fiecărui echipament:

$$P_{uf} = \frac{An \text{ curent} - An \text{ PIF}}{\text{Durată viață}}, \quad (2)$$

unde:

P_{uf} sunt punctele pentru uzura fizică a echipamentului;
 An curent - anul în care se face evaluarea uzurii fizice;
 An PIF - anul de punere în funcțiune sau de reabilitare a echipamentului;
 Durată viață - durata de viață normată a echipamentului.

b) se face ordonarea tuturor echipamentelor din RED după punctajul de uzură, în ordine descrescătoare; c) se atribuie nota de uzură fizică, în aceeași ordine, de la 100 la 1;

d) după ce fiecare echipament a primit nota pentru uzura fizică, se va calcula o notă medie pe fiecare clasă de echipament:

$$N_{med.ech.j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} NOTA_{j,i}}{n_j}, \quad (3)$$

unde

$N_{med.ech.j}$ este nota medie pentru clasa j de echipamente;
 n_j - numărul echipamentelor din clasa j;
 $NOTA_{j,i}$ - nota obținută de echipamentul i din clasa j.

Pe baza notelor medii pe tipuri de echipamente se va calcula apoi nota pentru uzura fizică a echipamentelor din nod:

$$N_{UF} = \frac{\sum_{k=1}^6 N_{med.ech.k} \cdot CP_k}{\sum_{k=1}^6 CP_k}, \quad (4)$$

unde

$N_{uz.nod}$ este nota corespunzătoare gradului de uzură al echipamentelor din nodul analizat;
 CP_k - coeficientul de pondere al importanței funcționale pentru tipul k de echipamente;
 $N_{med.ech.k}$ - nota medie pentru uzură pentru clasa k de echipamente.

2.2. Numărul de incidente

Având în vedere faptul că importanța incidentelor este determinată și de tipul echipamentului la care s-au manifestat, vor fi atribuite ponderi diferite incidentelor, după tipul echipamentelor la care apar. Aceste ponderi vor fi similare cu cele stabilite la criteriul uzură fizică (tabelul 1).

Pe baza raportului dintre numărul incidentelor înregistrate la toate echipamentele de un anumit tip (notat cu ai) și numărul lor (notat cu ni) va rezulta numărul echivalent de incidente pe fiecare tip de echipament.

Se face ordonarea tuturor tipurilor de echipamente din RED după numărul echivalent de incidente, în ordine descrescătoare. Se atribuie nota de număr de incidente, în aceeași ordine, de la 100 la 1.

După ce fiecare dintre tipurile de echipamente a primit nota pentru numărul incidentelor, se va calcula o notă medie pe fiecare clasă de echipament:

$$N_{med.ech.j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} NOTA_{j,i}}{n_j}, \quad (5)$$

unde:

$N_{med.ech.j}$ este nota medie pentru clasa j de echipamente;
 n_j - numărul tipurilor de echipamente din clasa j;
 $NOTA_{j,i}$ - nota obținută de echipamentele de tip i din clasa j.

Pe baza notelor medii pe clase de echipamente se va calcula apoi nota pentru numărul de incidente din nod:

$$N_{NI} = \frac{\sum_{k=1}^6 N_{med.ech.k} \cdot CP_k}{\sum_{k=1}^6 CP_k}, \quad (6)$$

unde:

N_{NI} este nota corespunzătoare numărului incidentelor atașate echipamentelor din nodul analizat;
 CP_k - coeficientul de pondere al importanței funcționale pentru clasa k de echipamente;
 $N_{med.ech.k}$ - nota medie pentru numărul de incidente corespunzător clasei k de echipamente.

2.3. Durata indisponibilității

Și în ceea ce privește durata indisponibilității se va ține seama (prin coeficientul de pondere al importanței funcționale pentru clasa respectivă de echipamente) în mod diferențiat de durata diferitelor indisponibilități înregistrate la nivelul unui nod. Pe baza raportului dintre durata indisponibilității înregistrate la toate echipamentele de un anumit tip și numărul echipamentelor va rezulta durata echivalentă a indisponibilității pe fiecare tip de echipament. Se face ordonarea tuturor tipurilor de echipamente din RED după durata echivalentă a indisponibilității, în ordine descrescătoare. Se atribuie nota de indisponibilitate, în aceeași ordine, de la 100 la 1.

După ce fiecare dintre tipurile de echipamente a primit nota pentru indisponibilitate, se va calcula o notă medie pe fiecare clasă de echipament:

$$N_{med.ech.j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} NOTA_{j,i}}{n_j}, \quad (7)$$

unde:

$N_{med.ech.j}$ este nota medie pentru clasa j de echipamente;
 n_j - numărul tipurilor de echipamente din clasa j;
 $NOTA_{j,i}$ - nota de indisponibilitate obținută de echipamentele de tip i din clasa j.

Pe baza notelor medii pe clase de echipamente se va calcula apoi nota pentru durata indisponibilității din nod:

$$N_{DI} = \frac{\sum_{k=1}^6 N_{med,ech,k} \cdot CP_k}{\sum_{k=1}^6 CP_k}, \quad (8)$$

unde:

- N_{DI} este nota corespunzătoare indisponibilității atașate echipamentelor din nodul analizat;
 CP_k - coeficientul de pondere al importanței funcționale pentru clasa k de echipamente;
 $N_{med,ech,k}$ - nota medie pentru indisponibilitate corespunzătoare clasei k de echipamente.

2.4. Costuri asociate

Pentru analiza efectelor incidentelor se propune clasificarea și notarea efectelor incidentelor după costurile asociate, conform celor prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2

Costurile asociate					
Echipament	Incidente asociate	Mentenanță preventivă	Mentenanță corectivă	Daune energie nelivrată	Cheltuieli dispecerizare
E_j	I_{j1}		MC_{j1}	DE_{j1}	
	I_{j2}		MC_{j2}	DE_{j2}	
	
	I_{jn}		MC_{jn}	DE_{jn}	
		MP_{Tj}	MC_{Tj}	DE_{Tj}	CD_{Tj}

Costul asociat echipamentului E_j de tipul i de echipamente este:

$$CA_{ij} = MP_{Tj} + MCT_j + DE_{Tj} + CD_{Tj}$$

Se face media costurile asociate tuturor echipamentelor de un anumit tip și va rezulta *costul asociat* incidentelor pe fiecare tip de echipament. Se va face apoi ordonarea tuturor tipurilor de echipamente din RED după costul asociat, în ordine descrescătoare. Se atribuie nota de cost asociat, în aceeași ordine, de la 100 la 1.

După ce fiecare dintre tipurile de echipamente a primit nota pentru costul asociat, se va calcula o notă medie pe fiecare clasă de echipament:

$$N_{med,j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \text{NOTA}_{j,i}}{n_j}, \quad (9)$$

unde

- $N_{med,j}$ este nota medie pentru clasa j de echipamente;
 n_j - numărul tipurilor de echipamente din clasa j;
 $\text{NOTA}_{j,i}$ - nota de cost asociat obținută de echipamentele de tip i din clasa j.

Pe baza notelor medii pe clase de echipamente se va calcula apoi nota pentru costul asociat nodului:

$$N_{CA} = \frac{\sum_{k=1}^6 N_{med,k} \cdot CP_k}{\sum_{k=1}^6 CP_k}, \quad (10)$$

unde:

- N_{CA} este nota corespunzătoare costului asociat echipamentelor din nodul analizat;
 CP_k - coeficientul de pondere al importanței funcționale pentru clasa k de echipamente;
 $N_{med,k}$ - nota medie pentru costul asociat coresp. clasei k de echipamente.

OBSERVAȚII:

1. Aceleași criterii se aplică și echipamentelor din entitățile Transformatoare de putere, Servicii interne, Instalații de compensare și Informatică-Telecomunicații, rezultând următoarele note pentru starea tehnică:

- N_{ST_trafo} , pentru starea tehnică a entității transformatoare de putere;
- N_{ST_si} , pentru starea tehnică a entității servicii interne;
- N_{ST_ic} , pentru starea tehnică a entității instalații de compensare;
- N_{ST_it} , pentru starea tehnică a entității informatică-Telecomunicații.

2. În cazul în care se dorește calcularea notei pentru starea tehnică a stației, $N_{ST_stație}$, propunem ca ea să fie calculată în modul următor:

- se determină nota medie pentru starea tehnică a tuturor nodurilor din stația respectivă, $N_{ST_med_nod}$, ca medie aritmetică a notelor de stare tehnică ale nodurilor din stație;
- se calculează nota pentru starea tehnică a stației astfel:

$$N_{ST_stație} = 0,60 \cdot N_{ST_med_nod} + 0,15 \cdot N_{ST_trafo} + 0,10 \cdot N_{ST_si} +$$

$$+ 0,05 \cdot N_{ST_ic} + 0,10 \cdot N_{ST_it}. \quad (11)$$

3. Importanța pentru funcționarea RED în condiții de siguranță

Pentru analiza importanței pentru funcționarea RED în condiții de siguranță a nodurilor și a legăturilor se propune utilizarea informației furnizate de aplicații de tip DIMPEQ, care integrează următoarele subcriterii:

- nod sau legătură aparținând **secțiunilor caracteristice** din punct de vedere al stabilității statice;
- importanță tehnică** nod sau legătură:
 - importanța legăturilor.** Nota de importanță calculată în regim staționar (de vârf) se determină prin deconectarea individuală a legăturii respective și evaluarea influenței acestei deconectări asupra celorlalte legături (încărcare, depășiri valori maxime admisibile etc.). Nota de importanță din punct de vedere al stabilității statice se stabilește prin analiza influenței fiecărei legături asupra transferului de putere în sistem pe secțiuni caracteristice.
 - importanța nodurilor.** Nota de importanță pentru noduri se obține ca medie aritmetică a două note:
 - prima notă este maxim (note legături incidente la nod);
 - a doua notă este determinată de stabilitatea tranzitorie la scurtcircuit în nodul respectiv, în corelație cu timpul de deconectare al defectului;
- energie electrică blocată** în centrale ca urmare a incidentelor din nodurile la care se racordează centralele respective sau pe legăturile prin care centralele respective evacuează energia produsă.

4. Energia electrică distribuită, cu impact asupra veniturilor RED

Nota pentru acest criteriu va fi calculată pe baza energiei electrice transportate în anul precedent, prin noduri sau legături, și a energiei electrice preliminate a fi vehiculată în anul următor, pentru alimentarea companiilor de distribuție și furnizare a energiei electrice precum și pentru alimentarea consumatorilor conectați direct la stațiile alimentate din RED.

- energia electrică vehiculată**, măsurată, prin fiecare nod sau legătură, în anul precedent. Pondere p_{EV} : 0,40;
- energia electrică prelinimată** prin fiecare nod sau legătură, calculată pe baza regimurilor caracteristice de funcționare ale RED, pe sezoane și zile caracteristice. Pondere p_{EP} : 0,60.

5. Analiza de sensibilitate

Stabilirea notelor finale pentru noduri sau legături se poate face luând în considerare variantele de ponderi prezentate în tabelul 3.

Tabelul 3

Criteriul	Stare tehnică	Importanța pentru funcționarea RED	Energia electrică distribuită
P1	0,30	0,35	0,35
P2	0,35	0,35	0,30
P3	0,40	0,33	0,27
P4	0,30	0,40	0,35
P5	0,33	0,33	0,34
P6	0,40	0,30	0,30

Se consideră că setul de ponderi P6 este cel mai potrivit deoarece are efectul maxim de depunctare al stației rețehnologizate și în același timp asigură șanse de rețehnologizare pentru stațiile cu importanță redusă.

Concluzii

Pe baza metodologiei prezentate în cadrul lucrării, se poate face clasificarea /ierarhizarea punctelor de interes (de exemplu stații) din RED pe baza tuturor criteriilor menționate mai sus. Rezultă o listă unică în care punctele din RED sunt ordonate descrescător după nota obținută: pe prima poziție se află punctul din RED cu nota cea mai mare, pe a doua poziție cel cu nota imediat inferioară ș.a.m.d.

Având în vedere ierarhizare a lucrărilor și acțiunilor conform tabelului 4, se prezintă în tabelele 5 și 6 o clasificare a punctelor din RED respectiv fără sau cu luarea în considerare a fondurilor atrase.

Tabelul 4

Ierarhizare a lucrărilor și acțiunilor	
I1	rețehnologizare
I2	modernizare
R1	reabilitare
R2	mentenanță bazată pe fiabilitate

Tabelul 5

Clasificarea punctelor din RED în absența fondurilor atrase						
Poziția din lista de ierarhizare		Clasa	Lucrări și acțiuni			
Primele	10 %	0	I1	I2		R2
Următoarele	10 %	1		I2	R1	R2
Următoarele	10 %	2			R1	R2
Ultimele	70 %	3				R2

Tabelul 6

Clasificarea punctelor din RED în prezența fondurilor atrase						
Poziția din lista de ierarhizare		Clasa	Lucrări și acțiuni			
primele	5 %	0	I1*			R2
următoarele	5 %	1	I1	I2		R2
următoarele	10 %	2		I2	R1	R2
următoarele	10 %	3			R1	R2
ultimele	70 %	4				R2

* fonduri atrase

Se propune ca punctele critice din RED să fie cele ce aparțin claselor 0, 1 și 2 din tabelele 5 și 6.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Rohsler, H., Strand, A., Rosales, J.I., Salamanca, F. Expérience relative aux systèmes à maintenance basée sur l'état des matériels, CIGRE 1998, Paper 23-103.
- [2] Rohsler, H., Ruhle, R., Waeber, M., Strand, A. Management-system for design, construction and mainance in high-voltage networks, CIGRE 2000, Paper 23/39-06.
- [3] Orłowska, T., Balzer, G., Halfmann, M., Neumann, C., Strand, A. Life cycle management of circuit-breakers by application of reliabilitycentered maintenance, CIGRE 2000, Paper 13-103.
- [4] Kopejtkova, D., Ott, H-P., Rohsler, H., Salamanca, F., Smit, J.J., Strand, A., Wester, P. Strategy for condition based maintenance and updating of substations, CIGRE 1996, Paper 23-104.
- [5] Fushimi, Y., Tokuda, N., Isozaki, T., Hara, T. The multifunctional substation based on the novel assessment management, CIGRE 2000, Paper 23/39-09.
- [6] Draber, S., Gelle, E., Kostic, T., Preiss, O., Schluchter, U. How operation data helps manage lifecycle costs, CIGRE 2000, Paper 23/39-02.
- [7] Balzer, G., Schmitt, O., Schneider, A., Gal, S., Balasiu, F., Bakic, K. Life cycle assessment of substations: a procedure for an optimized asset management, CIGRE 2002, Paper 23-302.
- [8] Biewendt, V., Christiansen, U., Friberg, G., Gallon, F., Kirchesch, P., Roussel, Ph., Schiemann, A. Experiences with substation optimisation considering new technical and economical concepts, CIGRE 2002, Paper 23-306.