

## O VEDERE DE ANSAMBLU ASUPRA ADECVANȚEI SISTEMELOR DE GENERARE A ENERGIEI ELECTRICE

Ionuț ILIȘESCU

Departamentul Energetică al Facultății de Inginerie Electrică, Energetică și Informatică Aplicată,  
Școala Doctorală a Universității Tehnice "Gheorghe Asachi" Iași, România

\*Autorul corespondent: Ionuț Ilișescu, [ionut.ilisescu@student.tuiasi.ro](mailto:ionut.ilisescu@student.tuiasi.ro)

**Rezumat:** Rolul principal al unui Sistem Energetic Național modern este de a acoperi consumul cât mai economic posibil și cu niveluri rezonabile de fiabilitate și calitate. În planificarea producției de energie multe modele și tehnici au fost dezvoltate pentru a evalua nivelul de fiabilitate a sistemelor de producere. Obiectivul acestei lucrări este de a prezenta o vedere de ansamblu asupra fiabilității, în particular a adecvanței, sistemelor de generare a energiei electrice.

**Cuvinte cheie:** producerea energiei electrice, generatoare electrice, adecvanță, fiabilitate, simularea Monte Carlo, probabilități, determinism

### Introducere

Calitatea energiei electrice și siguranța furnizării ei sunt direct legate de conceptul de fiabilitate a sistemului energetic. Fiabilitatea, într-un sens general, măsoară capacitatea globală a sistemului de a produce și distribui energie electrică. Datorită complexității sistemului energetic, acesta este împărțit în domenii funcționale și anume: generare, transport și distribuție. Fiabilitatea fiecărei zone funcționale este de obicei analizată separat pentru o evaluare mai ușoară și eventual combinată a fiabilității sistemului [1].

Energia electrică se caracterizează prin faptul că nu poate fi stocată timp îndelungat și în cantități semnificative. Ca urmare, ea trebuie consumată imediat ce este produsă și generată doar când există cerere. Prin urmare, sistemele de generare sunt dimensionate și exploatate pentru a satisface cererea de energie electrică cu un anumit nivel de fiabilitate. Fiabilitatea sistemului de generare este utilizată pentru a evalua capacitatea sistemului de generare de a satisface sarcina totală a sistemului. Evaluarea fiabilității unui sistem de generare a energiei electrice poate fi împărțită în două aspecte principale: adecvanța sistemului, care este legată de existența a suficiente capacități energetice disponibile să satisfacă cererea de consum din sistem și securitatea funcționării sistemului care este legată de capabilitatea sistemului de a răspunde prompt la perturbațiile dinamice sau tranzitorii [2].

Cererea de consum poate depăși puterea generată din două motive principale. În primul rând, dacă apare un vârf foarte mare de sarcină, care depășește puterea instalată a sistemului, sistemul nu poate furniza vârful de sarcină. În al doilea rând, dacă unele unități de generare sunt scoase din funcțiune din cauza defecțiunilor sau a mentenanței preventive, un vârf mare de sarcină, care nu depășește puterea instalată a sistemului, poate depăși puterea disponibilă în acel moment [1-2].

### Elemente principale ale evaluării adecvanței sistemelor generatoare

Elementele principale ale unei evaluări cuprinzătoare a adecvanței generării energiei electrice pot fi rezumate în trei puncte:

- 1) Se construiește un model de generare, în care flota de grupuri generatoare este modelată pe caracteristicile de funcționare ale tehnologiilor de generare. Această secțiune include ipoteze privind grupurile ce funcționează la momentul evaluării și viitoarele noi grupuri sau cele ce urmează a fi dezafectate.
- 2) Se construiește un model de sarcină (consum) care să vizeze includerea caracteristicilor prezente și viitoare ale tendinței consumului care se bazează pe previziuni și estimări ale principalelor variabile care afectează consumul de energie.

- 3) Se construiește un model de risc care să integreze modelele de generare și consum, pentru a estima indicatorii de fiabilitate ai sistemului.

Metodologiile tradiționale de evaluare a adecvănței producției în structura integrată vertical a sistemelor energetice ar face față cerințelor de flexibilitate prin ajustarea controlată intern a producției de către operatorul de sistem. Odată cu liberalizarea pieței și schimbarea profundă a structurii sectorului de producție, problemele de adecvănță (și flexibilitate) vor necesita participarea activă a tuturor elementelor relevante prezente în sistem (generatoare, stocare, interconexiuni, reglajul frecvență-putere etc.).

Obiectivul evaluării adecvănței producției este de a obține o măsurare a adecvănței generale a sistemului făcând abstracție de congestii, căderi de tensiune și reglajul frecvenței în sistem. O excepție sunt metodologiile de evaluare care includ capacități transfrontaliere, deoarece acestea ar trebui modelate într-un mod aparte [3-4].

### **Metodologii**

Metodologiile fac distincție între tehnicile deterministe și cele probabiliste. Ele diferă prin procedura matematică și prin indicatorii de risc calculați pentru măsurarea fiabilității sistemului.

Abordările deterministe estimează disponibilitatea producției la un moment dat în viitor (de obicei, vârfurile de consum de iarnă și de vară). Slăbiciunea lor esențială este că nu captează incertitudinea inerentă și ireductibilă a variabilelor stocastice și nu consideră energia eoliană și solară ca producători de valoare.

Abordările probabilistice estimează probabilitatea sistemului de a nu putea satisface consumul ținând cont de variațiile și incertitudinile asociate cu resursele primare și consum. Tehnicile din acest domeniu pot fi clasificate în două categorii: metode analitice și metode de simulare Monte Carlo. Metodele analitice se bazează pe modele care presupun unele funcții de distribuție a probabilității pentru diferitele elemente ale sistemului și apoi combină probabilitățile și frecvențele stărilor sistemului pentru a ajunge la indicatorii de fiabilitate. Procedurile Monte Carlo pot fi clasificate în proceduri nonsecvențiale sau secvențiale. Un proces non-secvențial (sau un model de colaps în timp) investighează distribuția probabilității rezervei de putere disponibilă față de cererea de consum în momente multiple, independente, alese aleatoriu în timp. Tehnicile secvențiale iau în considerare ciclul de exploatare al tuturor componentelor sistemului. Metodele de simulare secvențială oferă indicatori suplimentari dependenți de timp, cum ar fi frecvența și durata neacoperirii sarcinii și sunt singurele proceduri metodologice care vor putea acoperi problemele de flexibilitate. Deși au fost recunoscute încă din anii 1930, utilizarea lor nu este încă suficient de răspândită [5].

### **Indicatorii de adecvănță ai sistemelor generatoare**

Fiecare indicator este potrivit pentru a reflecta o anumită problemă de adecvănță, dar nu există un indicator perfect care să poată acoperi toate caracteristicile de adecvănță ale unui sistem. Indicatorii pot fi clasificați, din punctul de vedere al modelării, în determiniști și probabilistici.

#### Indicatorii determiniști:

- *Rezerva de putere disponibilă* (Reserve Margin – RM) [%]. Este cel mai întâlnit indicator deterministic. Măsoară excedentul de putere disponibilă în raport cu cererea de consum prevăzută. Este definită ca diferența dintre puterea totală de generare disponibilă și sarcina de vârf împărțită la sarcina de vârf;
- *Indicatorul de acoperire* (CI). Este raportul dintre puterea de generare disponibilă și sarcina de vârf;
- *Cel mai mare grup generator* (Largest Unit – LU). Compară diferența dintre puterea totală instalată și sarcina de vârf cu cel mai mare grup instalat pe sistem [3, 5].

Indicatorii probabilistici:

- *Probabilitatea neacoperirii sarcinii* (Loss of Load Probability – LOLP). Este definită ca probabilitatea într-un an ca puterea generatoare disponibilă să fie insuficientă în acoperirea sarcinii;
- *Durata estimată de neacoperire a sarcinii* (Loss of Load Expectation – LOLE) [ore/an]. Indică numărul total de ore dintr-o anumită perioadă (de obicei un an) în care consumul (sarcina) depășește puterea disponibilă de generare. Se obține prin însumarea duratelor zilnice în care consumul depășește producția disponibilă dintr-un număr de ani eșantion. Dacă se analizează mai mulți ani se consideră media pe acei ani;
- *Energia electrică estimată a nu fi livrată* (Loss of Energy Expectation – LOEE) [MWh/an]. Specifică totalul energiei dintr-un an care nu va fi furnizată de sistemul de generare din cauza acelor ocazii în care sarcina cerută depășește puterea disponibilă;
- *Probabilitatea de indisponibilitate forțată* (Forced Outage Probability – FOP) este probabilitatea ca un generator să fie scos din funcțiune din alte motive decât mentenanță programată. Asta înseamnă că disponibilitatea puterii sistemului este ansamblul disponibilităților generatoarelor, fiecare dintre ele fiind dependentă de FOP.
- *Energia estimată neprodusă* (Expected Energy Not Supplied – EENS) [MWh/an] este cantitatea estimată de energie care nu va fi furnizată din cauza lipsurilor sau deficiențelor puterii generatoare disponibile. Oferă informații referitoare la numărul de întreruperi și amploarea acestora și este un parametru foarte semnificativ pentru tehnologiile cu energie limitată, cum ar fi eolian, solar sau hidro;
- *Probabilitatea pierderii energiei* (Loss of Energy Probability – LOEP). Deoarece EENS se măsoară în unități de energie și depinde de dimensiunea sistemului, LOEP este raportul dintre EENS și energia totală cerută, deci este independent de dimensiunea sistemului și poate fi utilizat pentru a compara performanța sistemelor diferite.
- *Sarcina (energia cerută) nesatisfăcută* (Load Not Supplied – LNS) [MWh/an sau MWh/întrerupere];
- *Frecvența estimată de neacoperire a sarcinii* (Expected Loss of Load Frequency – ELLF) [nr. întreruperi/an];
- *Durata estimată/medie a unei întreruperi* (Expected Duration of Loss of Load – EDLL) [ore/întrerupere sau ore/an] [4];

Evaluarea adecvanței este principala cale de a determina dacă generarea energiei electrice într-un sistem îndeplinește cerințele așteptate și cererea de energie la momentul sau perioada studiată.

Metodele deterministe se bazează pe analiza unui număr redus de configurații ale sistemului, selectate ca fiind cele mai reprezentative solicitărilor extreme ale sistemului. De exemplu, analiza circulațiilor de putere în cazul în care se presupune că anumite linii importante sau generatoare pot deveni indisponibile. Aceste metode permit estimarea impactului anumitor situații specifice asupra fiabilității, dar ele nu pot estima fiabilitatea generală a sistemului.

Metodele probabilistice urmăresc să estimeze probabilitatea de a satisface consumul, având în vedere că variabilele care definesc adecvanța (generarea, cererea și disponibilitatea liniilor) sunt stocastice. Astfel de metode gestionează un număr mare de stări/configurații, cu o probabilitate asociată de apariție derivată din variabilele de bază ale unui model complex.

Având în vedere natura stocastică a variabilelor sistemului, metodele deterministe, deși utilizate frecvent, nu pot permite calcularea unor valori care să reflecte situația reală a unei țări referitoare la siguranța sistemului. Indicatorii probabilistici cei mai utilizați sunt: durata estimată de neacoperire a sarcinii (LOLE), probabilitatea neacoperirii sarcinii (LOLP) și energia estimată neprodusă (EENS).

Abordarea Monte Carlo este singura metodă probabilistică potrivită pentru reprezentarea tuturor aspectelor unui sistem de energie electrică care pot avea un impact asupra adecvănței. O simulare Monte Carlo poate reprezenta întregul sistem electroenergetic (generare și transport) prin generarea numerelor aleatoare pentru a produce o gamă largă de stări posibile ale aceluși sistem, considerând disponibilitatea generării, viteza vântului, hidraulicitatea râurilor, consumul etc. Pentru fiecare stare a sistemului, energia care nu este furnizată (EENS) este calculată prin simularea dispecerizării generării (sau a compensării pieței) și prin identificarea eventualei energii nelivrate EENS. După un eșantion adecvat de simulări, devine posibilă calcularea tuturor indicatorilor de adecvănță (de exemplu probabilitatea necoperirii sarcinii LOLP, ca număr de stări cu energie nelivrată împărțit la numărul total de simulări). Pentru a obține o estimare suficient de corectă este necesar un număr mare de simulări. De aceea, în funcție de complexitatea sistemului analizat, poate fi necesar un timp mai îndelungat pentru a calcula rezultatele și o putere de calcul mărită a calculatorului utilizat [6].

**Mulțumiri:** Îndrumător de doctorat prof. univ. dr. ing. Ciprian Nemeș

**Referințe:**

1. BILLINTON R., ALLAN R. „Reliability Evaluation of Power Systems”, Plenum Press, 2th edition, 1996
2. NEMEȘ C., MUNTEANU FL. „Adecvabilitatea sistemelor de producere a energiei electrice”, Edit. Politehnicum, Iași, 2018
3. BILLINTON R., BAGEN „Incorporating reliability index distributions in small isolated generating system reliability performance assessment”, IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Volume 151, Issue 4, pp. 469–476, July 2004, doi: 10.1049/ip-gtd:20040708
4. NEMEȘ C., MUNTEANU FL. „A Probabilistic Model For Power Generation Adequacy Evaluation”, Revue Roumaine des Sciences Techniques, Série Électrotechnique et Énergétique, Tome 56, Issue 1, Pp. 36-46, 2011
5. BLANCO MARTA PONCELA, SPISTO AMANDA, HRELJA NIKOLA, FULLI GIANLUCA „Generation Adequacy Methodologies Review” - JRC Science For Policy Report - EUROPEAN COMMISSION, 2016
6. TRANSELECTRICA S.A. „Studiu de adecvănță a SEN pe termen mediu și lung. Determinarea capacității și structurii de producție necesare” București, 2018 – varianta publică. Disponibil: [https://web.transelectrica.ro/noutati/noutati/25\\_2020.04.14\\_10-45-40.pdf](https://web.transelectrica.ro/noutati/noutati/25_2020.04.14_10-45-40.pdf) [accesat 22.02.2022].