



Conferințele tehnico-științifice
ENERGIE, EFICIENȚĂ, ECOLOGIE ȘI EDUCAȚIE
Ediția a-VIIa
INSTALAȚII PENTRU CONSTRUCȚII ȘI ECONOMIA DE ENERGIE
Ediția a-XXXIVa
4-5 iulie 2024, CHIȘINĂU, REPUBLICA MOLDOVA



UTILIZAREA REȚELELOR NEURONALE ARTIFICIALE LA DIAGNOSTICAREA INVERTOARELOR ELECTRICE

VASILE BAHRIN

Rezumat

Se evidențiază rolul invertorului în sistemul de energie regenerabilă. Se fac referiri la funcționarea rețelelor neuronale artificiale (RNA). Sunt abordate aspecte ale procesului de diagnosticare a invertorului monofazat tip punte prin utilizarea rețelelor neuronale artificiale. Se prezintă schema ATP-Draw a invertorului monofazat tip punte.

1. Introducere

Procesul modern de diagnosticare reclamă implementarea unei mentenanțe mai eficiente și mai flexibile tehnic și economic. Conceptul ”*Mentenanța concentrată pe fiabilitate*” (Reliability Centered Maintenance) aplicat echipamentelor/instalațiilor electrice are avantaje incontestabile: reduce costurile de mentenanță, crește fiabilitatea echipamentelor și calitatea în alimentarea cu energie electrică. *Diagnosticul* stabilește cauzele care perturbă funcționarea unui sistem pe baza simptomelor și/sau observațiilor. Tehnicile de diagnosticare au două obiective: identificarea echipamentului electric la care trebuie intervenit și stabilirea priorităților în operațiile de mentenanță în scopul creșterii fiabilității echipamentului.

Invertorul reprezintă o componentă esențială pentru un sistem de energie regenerabilă și asigură conectarea dintre elementul care generează energia electrică (turbină eoliană, panou

fotovoltaic), elementul de stocare (baterii de acumulatori) și elementul de utilizare a energiei electrice (consumatorii de curent alternativ).

Întrucât energia electrică furnizată necesită parametri superiori (în special în forma de undă de tensiune), inverterul trebuie să asigure o formă de undă a tensiunii de ieșire cât mai apropiată de forma de undă din rețeaua de distribuție, fără a introduce armonici în circuitele electrice.

2. Rețele neuronale artificiale

Primul model al neuronului formal a fost prezentat în anul 1943 (de către W.S. McCulloch și W. Pitts); modelele conexiunilor performante au fost concretizate în anul 1986 de către D. Rumelhart și J. McClelland, care au introdus termenul de *perceptron multistrat*. În prezent, RNA pot soluționa probleme de complexitate ridicată (de estimare, identificare și predicție sau optimizare) și au o pondere tot mai importantă în diverse domenii ale științei, tehnologiei sau vieții sociale.

Neuronul formal este un element de procesare a informației care modelează neuronul real. Cea mai simplă versiune de neuron formal este un automat binar cu două stări: activ (+1) și inactiv (-1); prelucrarea informației în interiorul neuronului corespunde unei funcții de transfer de tip treaptă, numită funcție de activare.

O variantă mai performantă a neuronului formal are ca funcție de activare o funcție de tip sigmoid; proprietatea de continuitate a acestei funcții pe întregul interval de definiție facilitează aplicarea unor algoritmi de învățare performanți și eficienți. Există două tipuri de funcții sigmoid folosite mai frecvent: funcția tangent hiperbolic, care ia valori în intervalul (-1, +1) și funcția sigmoid logistic, care ia valori în intervalul (0, +1).

Neuronul formal poate folosi și o funcție de activare liniară, când se calculează suma ponderată a intrărilor; această sumă este trecută prin funcția de activare (de regulă, cu formă neliniară). Realizarea funcțiilor care să facă posibilă abordarea unor probleme complexe necesită asocierea neuronilor într-un sistem numit *rețea neuronală*.

RNA sunt formate din neuroni (elementele de procesare), organizați pe straturi și legați prin conexiuni sinaptice (căile de transmitere a informației între neuroni), caracterizate de anumite ponderi.

În funcție de existența/absența legăturilor de reacție inversă între neuronii diverselor straturi ale rețelei, RNA pot fi nebuclate, buclate și hibride. În cazul RNA nebuclate (rețele *feedforward*) informația circulă într-un singur sens, de la intrare spre ieșire; starea unui neuron depinde numai de starea neuronilor de la care primește semnale. RNA nebuclate sunt structuri statice și sunt utilizate la soluționarea unor probleme de clasificare sau de identificare a proceselor statice.

La RNA buclate (rețele *feedback*) grafurile de conexiuni conțin cicluri, informația circulând în ambele sensuri; starea neuronilor este influențată de starea curentă și de starea la momentul anterior. RNA buclate sunt utilizate ca memorii asociative și la identificarea/controlul sistemelor dinamice.

RNA hibridă (*clasificator după similaritate maximă*) include legături *feedforward* și *feedback*.

După numărul straturilor de neuroni, RNA pot fi cu un *singur strat*, cu *două straturi* și *multistrat*. În primul caz singurul strat are rol dublu *intrare-ieșire*, iar RNA are o topologie buclată. Rețelele cu un singur strat sunt folosite pentru completarea modelelor, filtrarea unor semnale sau soluționarea unor probleme de optimizare.

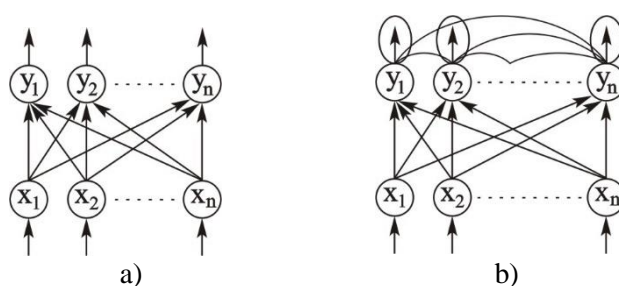


Fig. 1. RNA cu două straturi: a) de tip feedforward; b) de tip hibrid.

La RNA cu două straturi (Fig.1) primul strat este de intrare, iar al doilea strat este de ieșire (nu există strat ascuns); aceste RNA sunt folosite ca rețele clasificatoare și pot fi rețele *feedforward* sau hibride *feedforward-feedback*.

RNA *multistrat* au număr nelimitat de straturi (cu excepția primului și ultimului strat, celelalte straturi sunt ascunse), sunt utilizate la clasificarea și aproximarea funcțiilor și fac parte din categoria rețelelor *feedforward* (cel mai frecvent utilizate sunt rețelele de tip *Perceptron Multistrat*).

Rețelele Perceptron Multistrat au neuronii poziționați pe straturi (neuronii de pe un strat sunt conectați cu neuronii straturilor adiacente prin conexiuni unidirecționale, numite și ponderi sinaptice); neuronii de pe primul strat (de intrare) nu realizează prelucrarea informației, rolul lor fiind de a facilita transmiterea semnalelor de intrare către neuronii de pe al doilea strat (ascuns).

Algoritmul de antrenare al RNA Perceptron Multistrat este denumit *Generalised Delta Rule* sau *Error Back Propagation* (propagare înapoi a erorii) și a rezolvat problema separației neliniare a datelor de intrare. Algoritmul standard este o metodă de tip LMS (Least Mean Square-metoda celor mai mici pătrate) care urmărește determinarea ponderilor ce minimizează funcția eroare. Există două abordări pentru identificarea minimumului funcției globale de eroare. Prima o constituie așa numita învățare *on-line* sau *exemplu cu exemplu* în care modelele de

antrenare sunt prezentate secvențial, de regulă, într-o ordine aleatorie. La cea de-a doua metodă, numită *învățare globală (batch learning)*, funcția de eroare globală este minimizată după ce toate modelele au fost prezentate, modificările ponderilor fiind acumulate pentru întreg setul de antrenare.

Toate modelele de antrenare sunt prezentate iterativ până la momentul în care ponderile conexiunilor sunt stabilizate (eroarea corespunzătoare întregului set este acceptabilă, iar rețeaua converge). După antrenare, Perceptronul Multistrat are proprietatea de generalizare, fiind capabil să furnizeze un răspuns acelor modele de intrare care nu au fost prezentate rețelei în timpul necesar procesului de antrenare.

3. Diagnosticarea unui inverter

Invertorul studiat este monofazat tip punte și are schema electrică prezentată în figura 2.

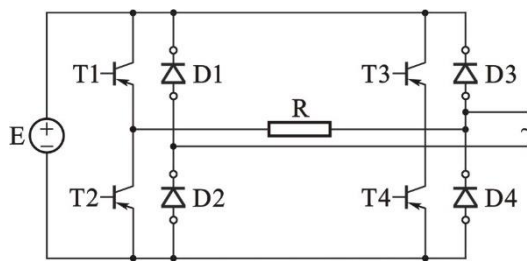


Fig. 2. Inverter monofazat tip punte-schema electrică.

Când tranzistoarele sunt comandate perechi unda la ieșirea inverterului rezultă dreptunghiulară: T1 și T4 cu un semnal s_1 de comandă, respectiv T2 și T3 cu un semnal s_2 de comandă în antifază cu semnalul s_1 . Considerând că un tranzistor și dioda în antiparalel formează un comutator bidirecțional, C, schema electrică a inverterului are în componență patru comutatoare bidirecționale.

Programul ATP-EMPT este un soft utilizat la analiza regimurilor de funcționare normală, tranzitorie și de defect. Interfața ATP-Draw este o interfață grafică a ATP-ului, în mediul MS-Window, și facilitează editarea interactivă a rețelei electrice simulate.

În scopul modelării inverterului monofazat tip punte se utilizează schema Atp-Draw prezentată în figura 3.

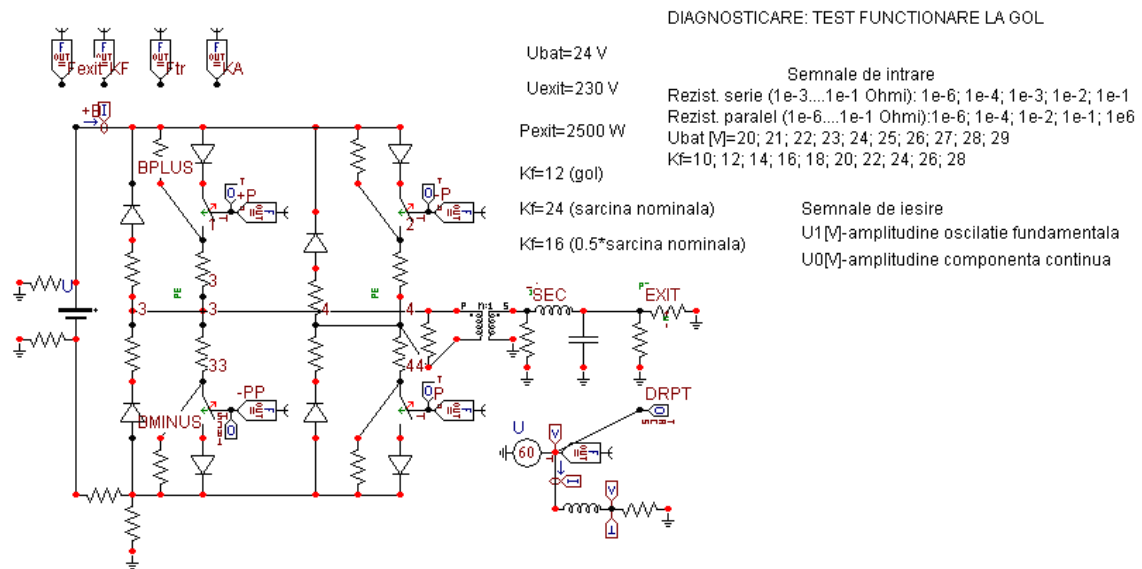


Fig. 3. Schema ATP-Draw a inverterului monofazat tip punte.

În procesul de simularea în EMTP a inverterului se pot considera unele defecte interne:

-comutatorul (C, figura 4) este blocat în poziția deschis după o defecțiune la componentele interne de comutație ale inverterului (cazul este simulat prin valoare mare a rezistenței serie R_s);

-comutatorul este blocat în poziție închis, în scurtcircuit (cazul este simulat prin valoare mică a rezistenței paralel R_p);

Funcționarea corectă a inverterului este simulată prin valoare mare pentru rezistența paralel și valoare mică pentru rezistența serie.

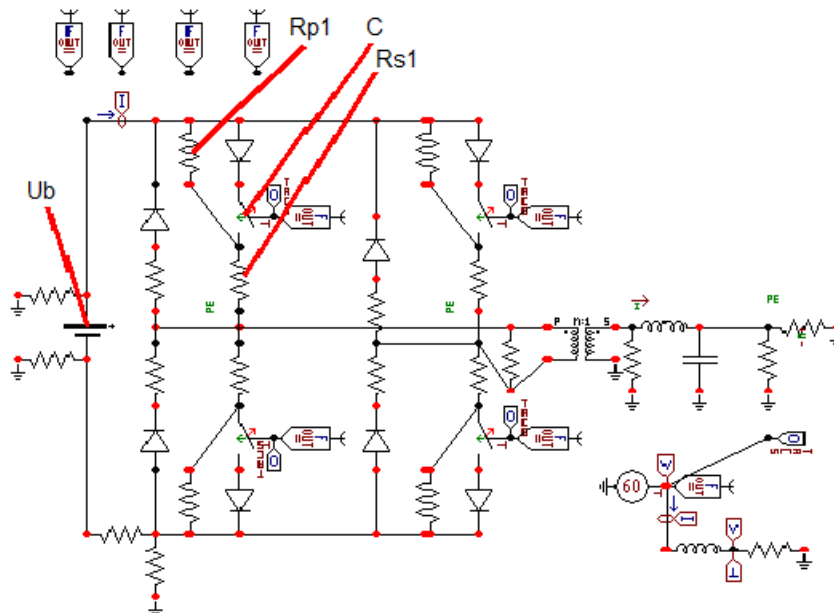


Fig. 4. Elemente ale inverterului, la funcționarea în gol, cu rol de variabile în antrenarea RNA.

Pentru fiecare set de patru date de intrare (R_s , R_p , tensiunea bateriei de acumulatori, U_b , raportul de modulare în frecvență, k_f) s-a determinat, prin simulare EMTP, un set de patru date

de ieșire; datele de ieșire (Fig. 5) sunt: tensiunea de ieșire a invertorului, U_0 [V], tensiunea de ieșire a invertorului, U_1 [V], pierderea de putere în comutație, P_{C13} [W] și pierderea de putere în comutație, P_{C24} [W].

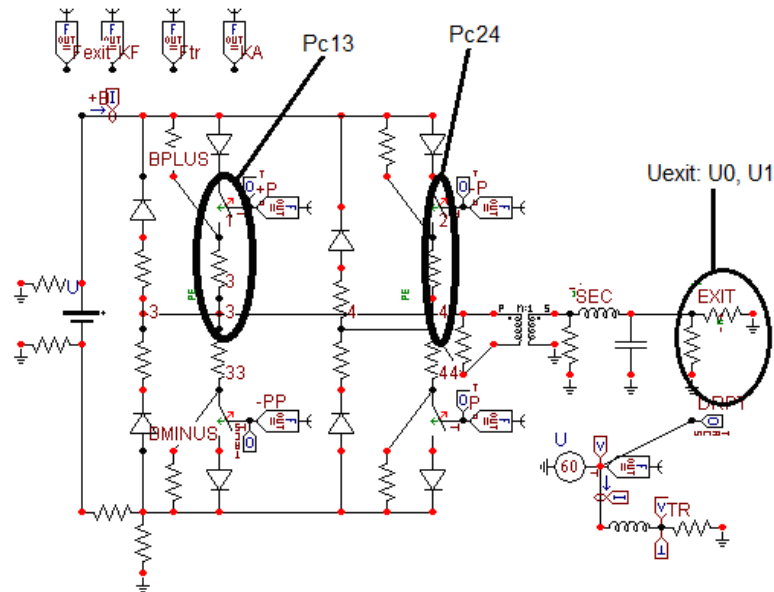


Fig. 5. Datele de ieșire corespunzătoare simulării EMTP a invertorului.

În Fig. 6 și 7 se prezintă variația și respectiv diagrama spectrală ale tensiunii de ieșire a invertorului.

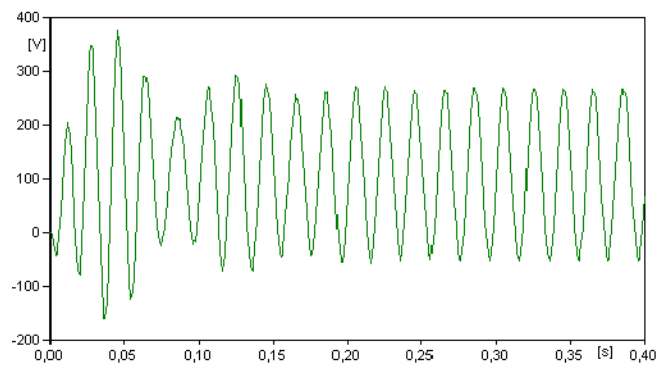


Fig. 6. Variația tensiunii de ieșire a invertorului.

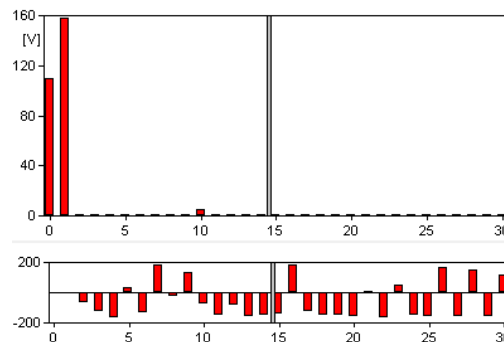


Fig. 7. Diagrama spectrală a tensiunii de ieșire a invertorului.

4. Concluzii

Prin simulare EMTP pot fi determinate eventuale defecte interne ale invertorului (defecte ale elementelor de comutație) pentru diferite valori ale tensiunii în baterie și ale factorului de modulare în frecvență. Datele obținute din simularea EMTP, în cazul invertorului monofazat tip punte, constituie date de intrare pentru sistemul de inteligență artificială; aceste date au stat la baza configurării și antrenării rețelei neuronale.

După validarea sistemului de inteligență artificială se poate configura sistemul de monitorizare pe baza rețelei neuronale. RNA are ca date de intrare valoarea tensiunii de ieșire din invertor, care este descompusă (serie Fourier) în două componente: componenta continuă și componenta fundamentală; în funcție de valorile acestora, sistemul de monitorizare facilitează obținerea de informații privind diagnosticarea invertorului, cum ar fi scurtcircuitarea sau blocarea comutatoarelor în poziția deschis.

Toate modelele de antrenare sunt prezentate iterativ până la momentul în care ponderile conexiunilor sunt stabilizate (adică eroare pentru întregul set este acceptabilă și rețeaua converge). După antrenare, Perceptronul Multistrat are proprietatea de generalizare, fiind capabil să furnizeze un răspuns acelor modele de intrare care nu au fost prezentate rețelei în timpul procesului de antrenare.

USE OF ARTIFICIAL NEURONAL NETWORKS IN THE DIAGNOSIS OF ELECTRICAL INVERTERS

Summary

The role of the inverter in the renewable energy system is highlighted.

References are made to the functioning of artificial neural networks (ANNs).

Aspects of the diagnostic process of the single-phase bridge type inverter by using artificial neural networks are addressed.

The ATP-Draw scheme of the single-phase bridge inverter is presented.

Bibliografie

[1] Lakhmi C., Martin M., Fusion of neural networks, Fuzzy sets and genetic algorithms, Industrial Applications, ISBN 0-8493-9804-5.

[2] Lakhmi C., Clarence W., Industrial Applications of neural networks, ISBN 0-8493-9805-3.

[3] Waterman D., A guide to expert systems Addison-Wesley PublishingCo, 1986.

[4] Castillo E., Gutierrez J., Hadi A., Expert System and Probabilistic Network Models, Springer Verlag, New York, 1996.

[5] Carbonell J., Cullingford R., Gershman A., Step towards Knowledge-based Machine Translation, IEEE Transactions and Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 3, No. 4. 1981, pp. 376-392.

[6] Irimia Florin Daniel, The experimental study of different operating regimes from DC/AC inverter, Conference EPE 2010, 28-30 octombrie 2010, Iași, Romania.

[7] Yu Chen, Songsong Nie, Xuejun Pei, Yong Kang, State monitoring and fault diagnosis of the PWM converter using the magnetic field near the inductor components, Energy Conversion Congress and Exposition, 2010, IEEE.