

MODELAREA GENERATORULUI DE OBTINERE A OZONULUI PRIN EFECT CORONA

Dumitru VÂJU¹, Gabriela BĂISAN¹, George VÂJU²

¹S.C. ICPE Bistrița S.A., Bistrița, România, ²Grup Școlar „Grigore Moisil”, Bistrița, România

Abstract: The modelling of ozone generator by CORONA effect. Removal of pollutants in water sources used to obtain drinking water uses advanced oxidation technologies pollutant (AOP), technologies that may include phase reaction of ozone with pollutants. The design phase of a product must contain the steps of modelling-simulation and optimization to study its dynamic behavior at different input parameters (its response using different strategies), the investment and operating costs.

Key words: advanced oxidation technologies (AOP), modelling, simulation, optimization

Introducere

Îndepărtarea poluanților organici periculoși din apa destinată consumului și din apele uzate este una dintre problemele stringente în munca de cercetare de mediu. Poluanții organici prezenți în ape se pot îndepărta eficient prin procese de oxidare avansată, legată de radicalii hidroxili, ozon și radiație ultravioletă. Generarea și utilizarea acestora constituie alte variante importante ale metodelor fizice de tratare a apelor. Ozonul este una dintre cele două forme alotropice ale oxigenului și este o moleculă simetrică constituită din trei atomi de oxigen. Utilizarea lui în procesele fizice de depoluare a apelor are la bază potențialul ridicat al acestuia de a oxida substanțele organice transformându-le în produși nepericuloși pentru mediu și populație. Ozonul este unul dintre cei mai puternici oxidanți, ocupând locul al 4-lea în scara potențialelor redox, după fluor, radicali hidroxil și oxigen atomic. Ozonul este relativ instabil în soluții apoase. Se descompune continuu, dar lent, în oxigen conform unui pseudoechilibru de ordin întâi. Perioada de înjumătățire a concentrației ozonului în apa distilată la 20°C este considerată a fi de 20-30 min [1].

Producerea industrială a ozonului se face la locul de utilizare datorită instabilității acestuia și se face în general prin două metode consacrate, descărcarea CORONA și sub acțiunea luminii ultraviolete cu lungimea de undă mai mică de 220 nm. Dacă oxigenul sau aerul este trecut printr-o descărcare electrică sau este expus la o radiație ultravioletă, o parte din oxigen este disociat și se produce ozonul după reacția:



astfel încât, pentru a obține un gram de ozon este necesară o energie de 0,827 Wh. Moleculele de oxigen disociază în O₂ atomic:



Coliziunea dublă și triplă a atomilor duce la formarea ozonului. În plus coliziunile între atomi și moleculele de oxigen pot, de asemenea, produce ozon. O parte din moleculele de ozon deja formate, se pot distruge astfel încât, statistic, numai o parte din oxigenul existent în gazul expus la curgere este transformat în ozon. În condiții optime, randamentul energetic de producere a ozonului din oxigen gazos este în gama 10-12%, iar din aer nu depășește 5%. Din această cauză se acordă o mare importanță funcționării optime a generatorului de ozon în scopul diminuării consumului energetic specific. Începând cu etapele de proiectare se parcurg etapele de modelare, simulare și optimizare.

Prezentare

Producerea ozonului utilizând descărcarea CORONA se bazează în principal pe tranzitarea unui sistem de descărcare în curent alternativ de înaltă tensiune de către un flux de aer cu un

conținut redus de umiditate sau de către oxigen. Din punct de vedere al parametrilor de descărcare utilizați, generatoarele bazate pe efect CORONA pot fi împărțite în trei categorii de bază: generatoare de joasă frecvență (50-500 Hz), generatoare de medie frecvență (500-5000 Hz) și generatoare de înaltă frecvență (>5000 Hz).

Celula de bază a unui generator de ozon pe baza efectului CORONA este formată dintr-un condensator compus, format din intervalul de oxigen sau aer, în care se produce decărcarea electrică, înseriată cu un strat dielectric din sticlă termorezistentă sau cuarț, ca în figura 1.

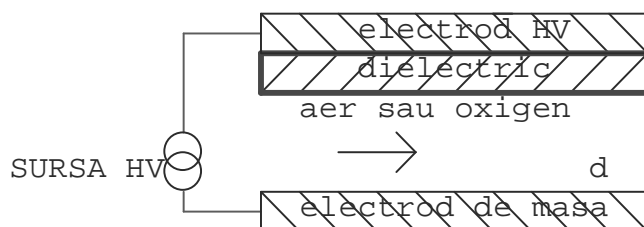


Fig. 1. Schema de principiu a generatorului de ozon

La o anumită tensiune dependența de grosimea stratului de aer sau oxigen, de presiunea și umiditatea acestuia, se produce descărcarea CORONA, în urma căreia se generează ozonul. Tensiunea de străpungere a stratului de aer se calculează cu relația [2, 3, 4]:

$$U_a = 2,86(KV) \rho \cdot d(mm) \quad (3)$$

unde ρ - este densitatea relativă a gazului și d este grosimea stratului de gaz măsurată în milimetri. Din considerente energetice privind randamentul de producere al ozonului în plasma CORONA, trebuie respectată relația:

$$p \cdot d = 2.1 \left\langle atm \cdot mm \right\rangle \quad (4)$$

p - fiind presiunea absolută a gazului, iar d - distanța dintre electrozi.

Pentru generatoarele de ozon care funcționează la o presiune apropiată de cea atmosferică, grosimea spațiului de gaz este de 2 mm, pentru cele care lucrează la presiuni mai mari grosimea devine mai mică.

Puterea electrică disipată în generatorul de ozon se calculează cu relația (5):

$$P_d = \frac{\omega}{\pi} \int_{t_0}^{\frac{\omega}{\pi} + t_0} U_a i dt \quad (5)$$

unde ω - este pulsația tensiunii alternative aplicate pe generatorul de ozon, t_a - momentul apariției descărcării CORONA, iar i - curentul prin generator. Pentru a calcula efectiv puterea electrică disipată în generatorul de ozon trebuie estimată impedanța acestuia în condițiile de funcționare impuse. Curentul prin generatorul de ozon este dat de relația (6):

$$i = C_{dielectric} \frac{dU_{a \text{ lim entare}}}{dt} \quad (6)$$

Concentrația de ozon din gazul ce parcurge generatorul de ozon se calculează cu formula (7):

$$c(g/m^3) = k_1 \{1 - \exp(-k_2 P_d / Q)\} \quad (7)$$

unde k_1 - este coeficientul staționar al generatorului, k_2 - coeficient de descompunere al ozonului și Q - debitul de aer sau oxigen.

Modelarea generatorului de producere a ozonului, pentru a obține date utile, trebuie făcută împreună cu inverterul de alimentare a acestuia și trebuie parcurși următorii pași, indiferent de softul ales pentru simulare:

- colectarea datelor - este necesară pentru a realiza modelul și se apelează la modele cu parametri apropiați pentru o simulare cât mai corectă a funcționării sistemului;
- modelul rezultat - se compune din legarea tuturor elementelor în cadrul softului ales pentru a calcula valorile tensiunilor și curenților;
- calibrarea - este procesul de ajustare a datelor de intrare impuse până când datele de ieșire (rezultate) reflectă valorile reale;
- analiza - reprezintă procesul de analizare și planificare a operațiilor pentru prezentul sistem la care se lucrează, utilizând un model deja calibrat sau bazat, la rândul lui, pe un model calibrat.

Instalația modelată

Instalația modelată se compune din punct de vedere pneumatic dintr-un compresor de aer, care alimentează un sistem de filtrare (reținere) a azotului din aer compus din două coloane de filtrare în scopul măririi concentrației de oxigen din gazul rezultat, gaz care este utilizat pentru alimentarea camerei de generare a ozonului prin efect CORONA, instalație redată în mod simplificat în figura 2. Azotul reținut în primul filtru este apoi eliminat în atmosferă pentru regenerarea primei coloane de filtrare prin modificarea presiunii din acesta și trecerea unui contracurent de gaz, rolul de reținere a azotului din gazul utilizat fiind preluat de a doua coloană de filtrare, după care ciclul se repetă. Sursa utilizată pentru alimentarea camerei de generare a ozonului se compune dintr-un inverter semipunte prezentat tot în figura 2, inverter compus din patru tranzistoare IGBT legate în paralel două câte două și un divizor capacitiv și alimentat cu tensiunea continuă provenită din redresarea tensiunii monofazice de 230 V, 50 Hz. La ieșirea inverterului se conectează înfășurarea primară a transformatorului ridicător de tensiune pentru alimentarea generatorului de obținere a ozonului. Comanda tranzistoarelor din componența inverterului se face cu un circuit PWM specializat (UC 2825) cu două ieșiri în antifază, urmat de un driver integrat (IR 2113). Măsură curentului din înfășurarea primară a transformatorului este făcută de către un senzor Hall integrat (ACS 72-20A), măsură care este preluată de către regulatorul de curent implementat în circuitul PWM. Frecvența de oscilație a circuitului PWM a fost setată pentru 4 kHz.

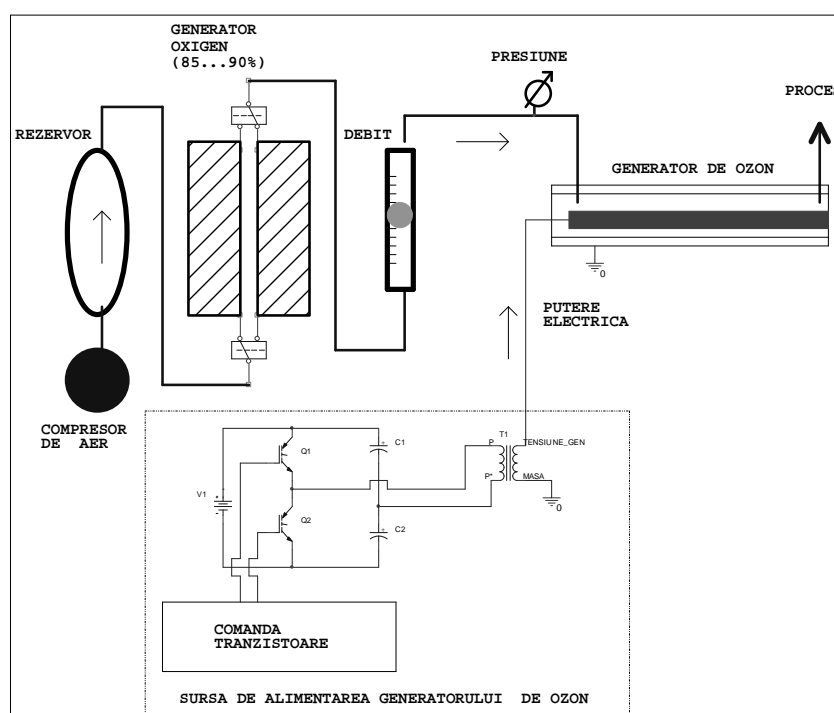


Fig. 2. Schema simplificată a echipamentului de producere a ozonului modelat

Pentru modelarea echipamentului de producere a ozonului s-au făcut două modele, unul pentru partea pneumatică, redat în figura 3 și unul pentru simularea funcționării inverterului de alimentare a generatorului de ozon, redat în figura 4, cu ajutorul platformei MATLAB, modulul SIMULINK, din librăria căruia s-au extras simboluri matematice și fizice care au fost setate cu valorile componentelor reale [5, 6, 7].

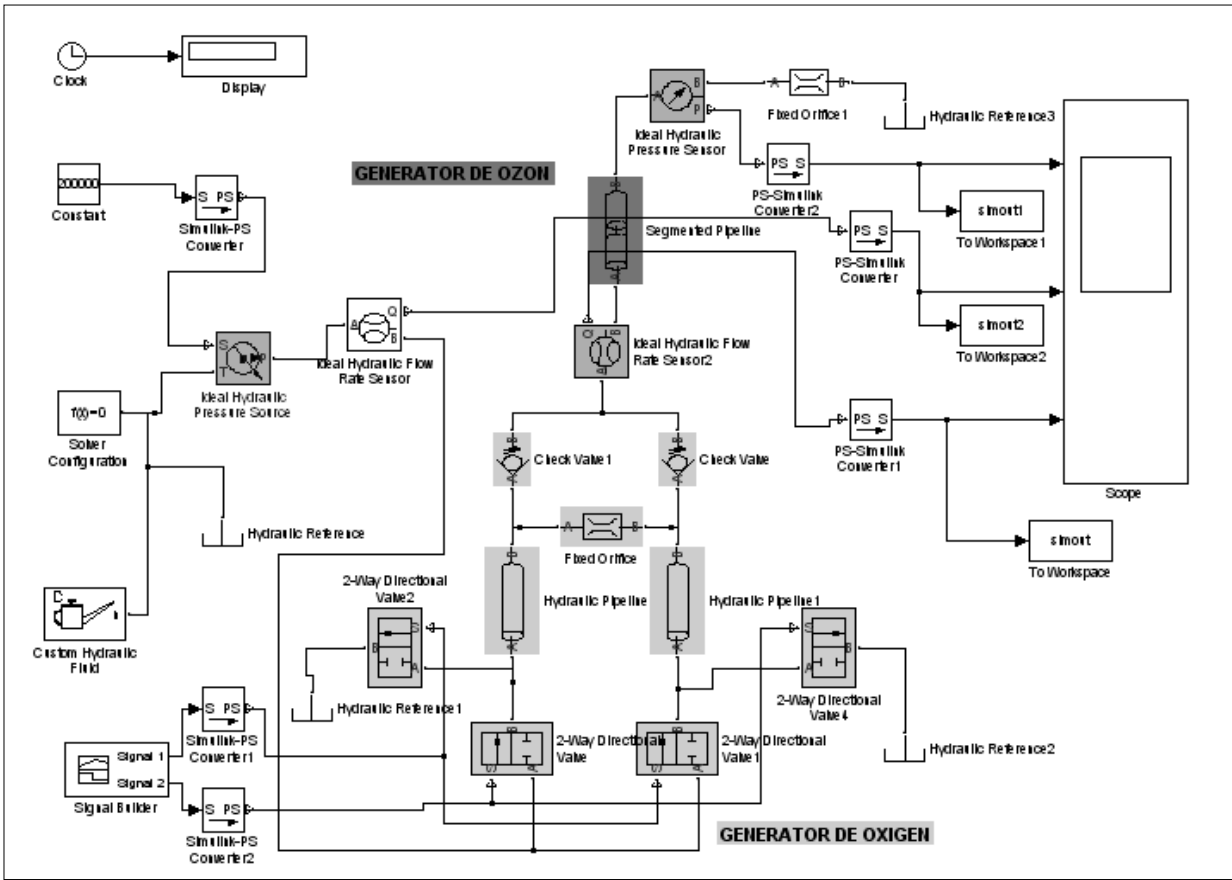


Fig. 3. Modelul SIMULINK al echipamentului de producere a ozonului-partea pneumatică

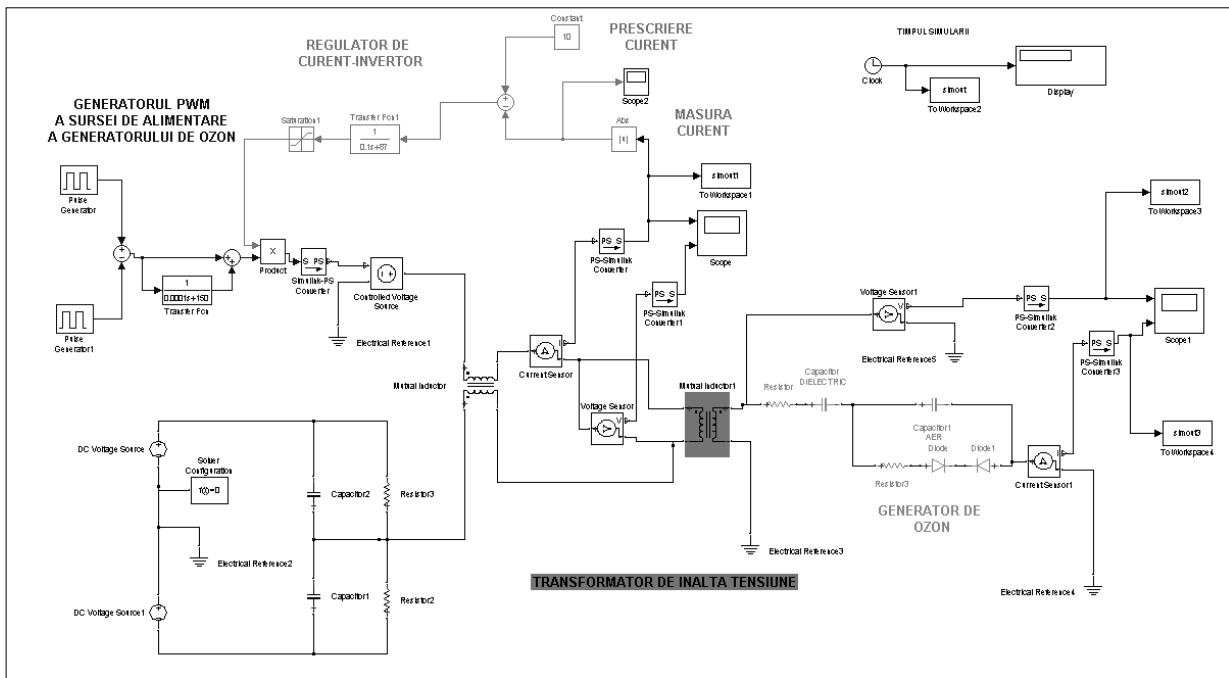


Fig. 4. Modelul SIMULINK al generatorului de producere a ozonului și a inverterului de alimentare al acestuia

Rulând modelul prezentat în figura 3, rezultă debitul de gaz și presiunea acestuia. Aceste valori sunt necesare pentru calculul tensiunii de deschidere a diodelor Zener care simulează străpungerea stratului de gaz la apariția descărcării CORONA și rezistența ohmică a acestuia pe durata descărcării, valori calculate cu ajutorul relației (3) și (4) din lucrare. Valorile obținute sunt utilizate pentru setarea modelului din figura 4 care apoi se rulează, obținându-se puterea electrică disipată în camera de generare a ozonului. Cu datele obținute prin rularea modelelor prezentate în figurile 3 și 4, se trece la calculul concentrației de ozon și a producției acestuia pentru echipamentul simulat cu ajutorul algoritmului, prezentat în figura 5.

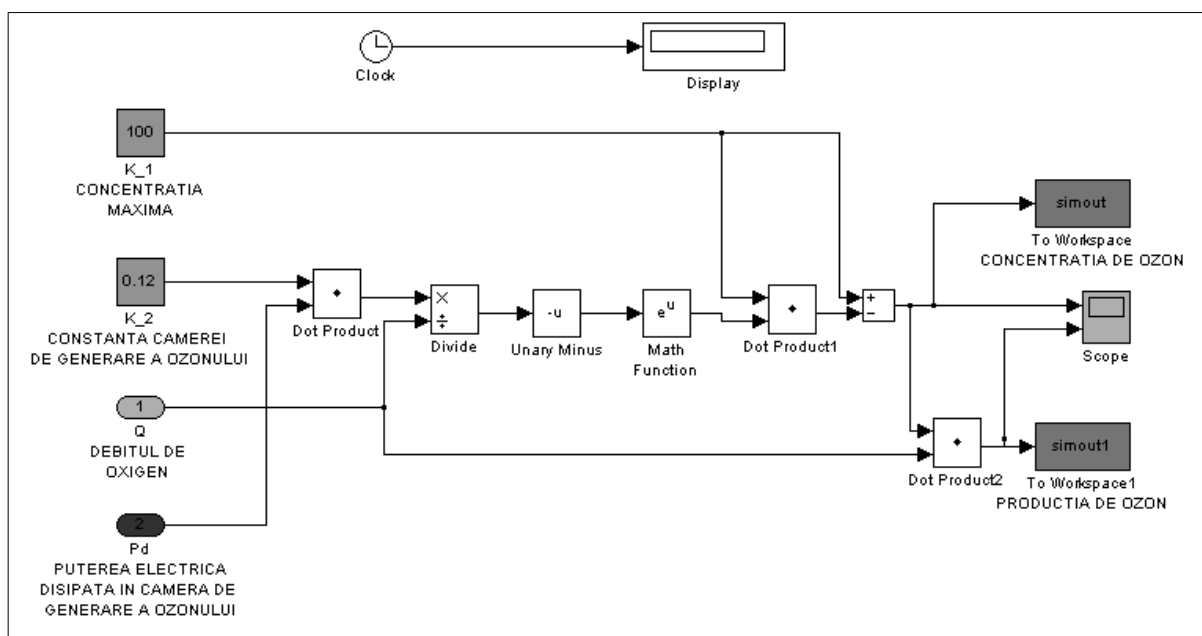


Fig. 5. Modelul SIMULINK de calcul a concentrației de ozon și a producției pentru echipamentul simulat

Calibrarea modelului

Calibrarea modelului se face prin setarea valorilor componentelor din modelul Simulink și rularea repetată astfel încât să rezulte semnale fizice calculate și vizualizate pe componenta „Scope” care să nu difere cu mai mult de 10% față de semnalul măsurat cu osciloscopul (semnale electrice) sau alt mijloc de măsură în același loc în instalația reală. În cadrul modelului se pot măsura tensiunile în oricare din punctele acestuia atașând blocurile „Voltage Sensor, PS-Simulink Converter și Scope”, iar pentru curent blocurile „Current Sensor, PS-Simulink Converter și Scope”.

Prin rularea modelului, rezultă următoarele grafice redată în figura 6:

- curentul de alimentare a înfășurării primare a transformatorului ridicător de tensiune;
- tensiunea din primarul transformatorului;
- tensiunea din secundarul transformatorului utilizată pentru alimentarea generatorului de ozon;
- curentul prin generatorul de ozon.

Rezultate și concluzii

Pentru a studia comportarea modelului la diferiți curenți de alimentare a înfășurării primare a transformatorului de înaltă tensiune, care au ca efect diferite tensiuni și curenți prin generatorul de ozon, se setează generatorul de comandă (generatorul PWM) la diferiți factori de umplere. În acest caz s-au ales valorile de 25, 35 și 45 %. Valorile obținute pentru tensiunile de alimentare a generatorului de ozon sunt redată în figura 7, iar cele pentru curenți sunt redată în figura 8. Concentrația ozonului rezultată în urma simulărilor pentru diferite valori ale puterii electrice disipate în camera de generare a ozonului și diferite debite de oxigen este redată în figura 9.

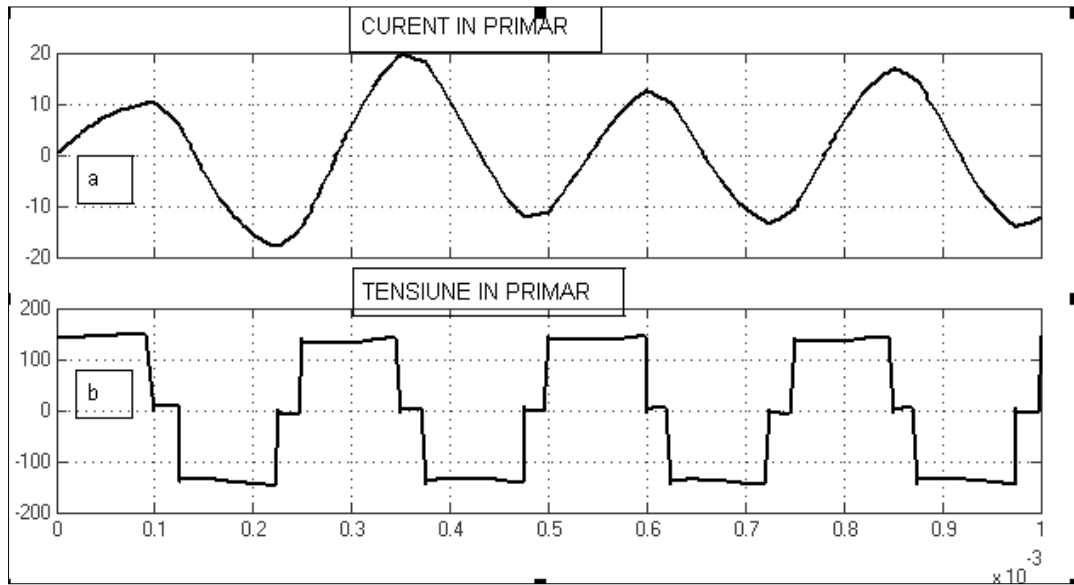


Fig. 6. a - b

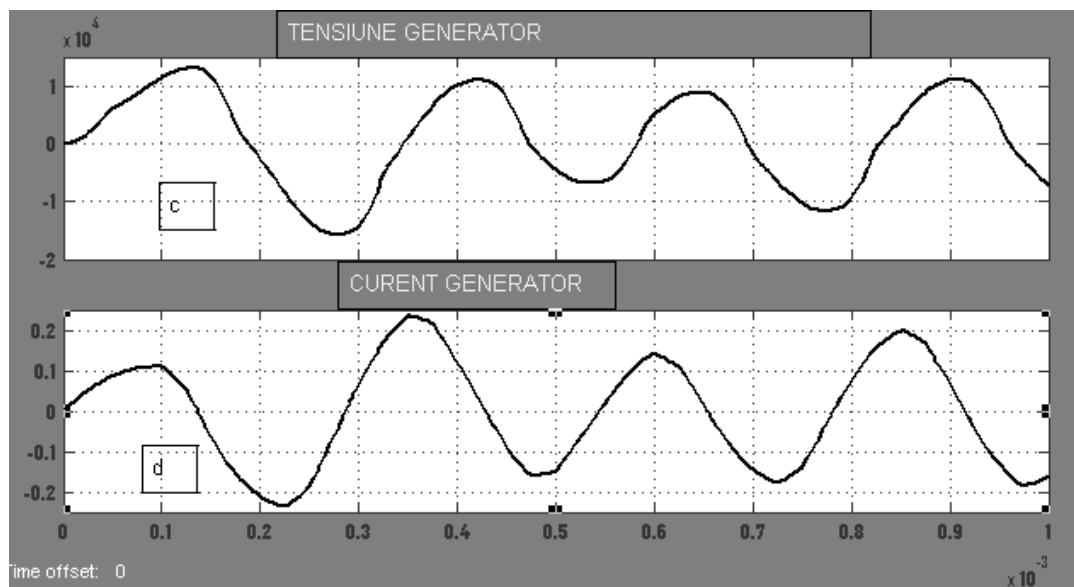


Fig. 6. c - d

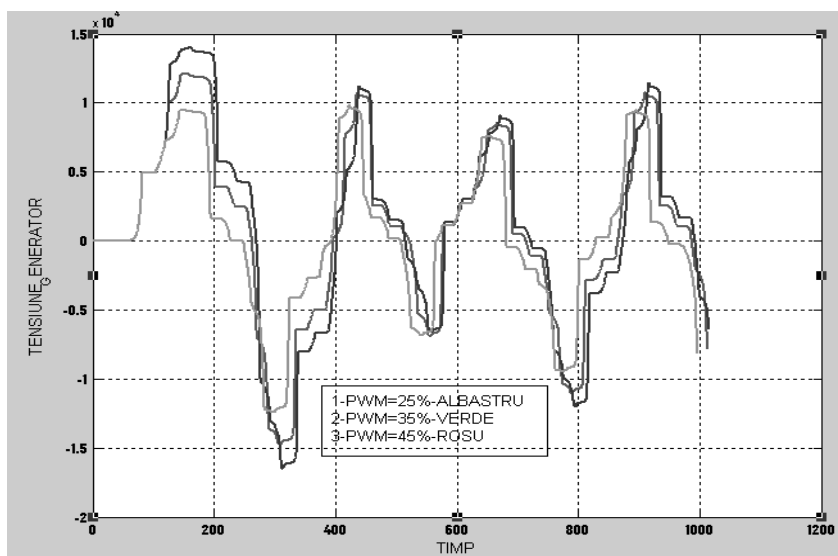


Fig. 7. Tensiunile de alimentare a generatorului de ozon pentru diferite valori ale factorului de umplere

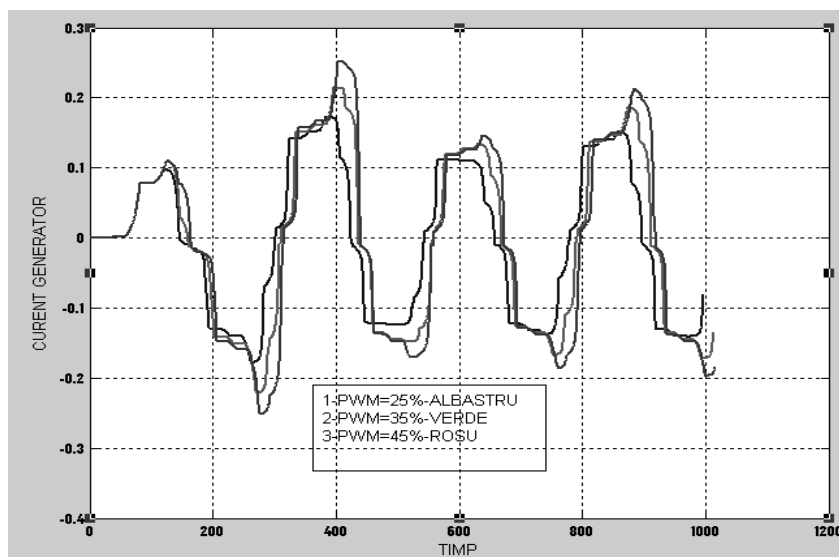


Fig. 8. Curenții de alimentare a generatorului de ozon pentru diferite valori ale factorului de umplere

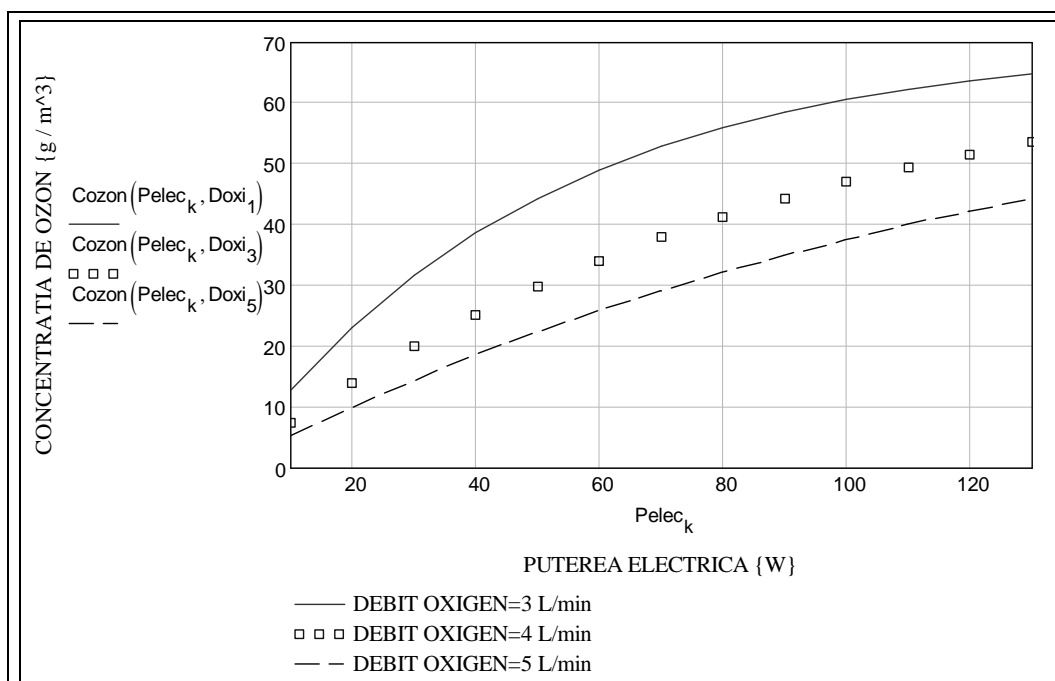


Fig. 9. Concentrația ozonului rezultată din generator pentru diferite puteri electrice și diferite debite

Concluzii

Utilizând pașii de modelare, simulare și optimizare din faza de concepție a unui produs se pot stabili performanțele acestuia, variantele de urmat, influența fiecărei componente, comportarea dinamică și statică a întregului sistem. Avantajul programului MATLAB cu modulul SIMULINK, față de alte softuri specializate (ORCAD, LTspice) este că în librăria acestuia se găsesc modele matematice pentru multe componente reale (mecanice, pneumatice, electrice, electronice etc.) cu ajutorul cărora să se construiască un model al unui produs real.

Bibliografie

1. Langlais B., Reckhow D. A., Brink D. R. - *Ozone in water treatment*, Research Foundation, Compagnie générale des eaux (Paris, France), 1991
2. *** Datasheet Catalog.Com - Catalog internet componente electronice-Tranzistor MOSFET IRF840PBF

3. *** Datasheet Catalog.Com - Catalog internet componente electronice - Circuit integrat UC2825
4. *** DatasheetCatalog.Com - Catalog internet componente electronice - IR 2113
5. *** Manual MATLAB-SIMULINK-SimElectronics® 2009
6. *** MATLAB - User's Guide, The MathWorks, Inc, USA, 1999
7. Ghinea M., Firețeanu V. - *Matlab, calcul numeric-grafică-aplicații*, Editura Teora, București, 1998

Date de contact

Dumitru VÂJU: S.C. ICPE Bistrița S.A., str. Parcului, nr. 7, 420035, Bistrița, jud. Bistrița-Năsăud, România, e-mail: icpe@icpebn.ro