

Programul:	IDEI
Tipul proiectului:	Proiecte de cercetare exploratorie
Cod proiect:	ID_320

SINTEZA

DENUMIREA PROIECTULUI:

SPECTROSCOPIA DIELECTRICA DE BANDA LARGA, CA METODA COMPARATIVA, NEDISTRUCTIVA SI NEINVAZIVA DE DETERMINARE A COMPUSILOR CU POTENTIAL DE RISC DIN PRODUSELE ALIMENTARE

2007

○ **CUPRINSUL DESCRIERII STIINTIFICE SI TEHNICE**

1. INTRODUCERE IN METODOLOGIA ELEMENTULUI FINIT (FEM)

2. EXTINDEREA ALGORITMILOR PRIVIND SUPORTUL FIZIC AL LEGATURII DINTRE STRUCTURA COMPOZITIEI ALIMENTARE SI DINAMICA SARCINII ELECTRICE SPATIALE IN BANDA LARGA DE FRECVENTA, IN CONTEXTUL APLICARII TEORIEI ELEMENTULUI FINIT

3. MODELAREA CALITATII PRODUSELOR ALIMENTARE PE BAZA PARAMETRILOR DERIVATI DIN ANALIZA SARCINII ELECTRICE SPATIALE; ELEMENTE DE ELECTRO-RHEOLOGIE BAZATE PE TEORIA ELEMENTULUI FINIT.

4. EXEMPLU DE MODELARE A CALITATII PRODUSELOR ALIMENTARE INCALZITE IN CONDITII DE MICROUNDE, BAZATA PE TEORIA ELEMENTULUI FINIT.

CONCLUZII PARTIALE

○ **OBIECTIVELE ETAPEI / 2007**

- **Simularea si modelarea caracteristicilor dielectrice si electrorheologice ale produselor alimentare pe baza teoriei elementului finit.**

INTRODUCERE IN METODOLOGIA ELEMENTULUI FINIT (FEM)

Metoda elementului finit (FEM) este utilizata pentru a gasi solutiile aproximative a ecuatiilor cu diferente partiale (PDE) la fel ca si a ecuatiilor integrale, de exemplu ecuatia transferului de caldura. Abordarea solutiei este bazata de asemenea pe eliminarea completa a ecuatiilor diferentiale ori interpretarea PDE intr-o ecuatie diferentiala ordinara echivalenta care sa poata fi rezolvata utilizind tehnici standard cum ar fi diferentele finite.

Dupa cum indica bibliografia, este mai utila modelarea fluxului de energie de la excitarea electrica (W_c) si excitarea mecanica (W_s) asupra raspunsului electric (W_a) si a raspunsului mecanic (W_m) incluzand cuplarea electro-reologica.

Energia campului electric poate fi scrisa ca:

$$W_c = \frac{1}{2} \iiint_V \mathbf{D} \times \mathbf{E} dv \quad (1)$$

Unde \mathbf{D} si \mathbf{E} sunt vectorii deplasare si respective camp electric, care satisfac conditia:

$$\mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} \quad (2)$$

Unde \mathbf{P} este vectorul polarizare si ϵ_0 este permitivitatea vidului.

Pentru geometria unidimensionala (placi plane paralele) ecuatia (1) poate fi scrisa ca:

$$W_c = \frac{1}{2} A \int_0^d DE dx \quad (3)$$

Considerand ca spatial dintre placi este d si ca materialul este isotropic, ecuatia (3) poate fi scrisa ca:

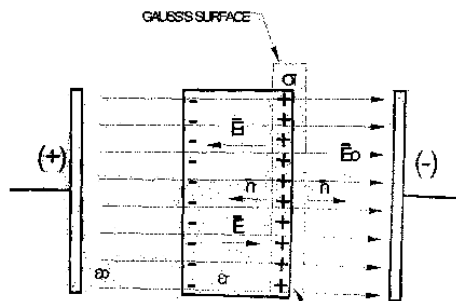
$$W_c = \frac{1}{2} A \int_0^d (\epsilon_0 E + P) E dx \quad (4)$$

In concordanta cu reprezentarea din figura 1 W_c satisface urmatoarea conditie a echilibrului termodinamic:

$$W_c = W_a + W_m \quad (5)$$

Sarcina indusa, $\sigma_i = q_i/A$, la interfata materialului dielectric, avand doar sarcini de polarizare, care este imersat intr-un camp cu constanta dielectrica E_0 , poate fi usor calculata din teorema lui Gauss, figura 2, astfel:

$$\sigma_i = E_0 \epsilon_0 \left(1 - \frac{1}{\epsilon_r}\right) \quad (6)$$



Schema pentru calculul sarcinilor induse pe suprafata dielectricului

Fora perpendicular pe o suprafata, T_x , intr-un material dielectric cu constanta ϵ_r , care este deplasat cu x , datorita polarizarii produse de un camp electric intre doua placi avand distanta d intre ele, poate fi scrisa astfel:

$$T_x = \frac{1}{2} \varepsilon_o A E_o^2 \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_r} \right) \quad (7)$$

unde deplasarea x este considerate paralela cu placile si A este suprafata corespunzatoare zonei deformat. Usor, presiunea poate fi obtinuta:

$$p_x = \frac{T_x}{A} = \frac{1}{2} \varepsilon_o E_o^2 \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_r} \right) \quad (8)$$

Considerand expresia sarcinii de polarizare expresia (6) poate fi scrisa:

$$p_x = \frac{1}{2} \sigma_i E_o \quad (9)$$

Pe de alta parte, in paragrafele urmatoare, puterea instantanee poate fi obtinuta utilizand ecuatia (4):

$$W_c = \frac{1}{2} A \int_o^d \varepsilon_o E^2 dx + \frac{1}{2} A \int_o^d E P dx \quad (10)$$

Luand in considerare suprafata densitatii sarcinilor de polarizare reprezentate de proiectia vectorului de polarizare peste suprafata de dielectric, ecuatia (10) poate fi scrisa ca:

$$W_c = \frac{\varepsilon_o A d}{2} \int_o^d E^2 dx + \frac{A d}{2} \int_o^d E \frac{q_i}{A} dx \quad (11)$$

Trebuie facuta remarca ca in a doua integrala din ecuatia (11) sarcina q_i exista pe supafata dielectricului. Considerand campul electric in dielectric ca fiind constant intre doua placi paralele, din prima integrala rezulta:

$$W_a = \frac{\varepsilon_o A}{2} E^2 d \quad (12)$$

In acest timp adoua integrala poate fi scrisa ca:

$$W_m = \int_o^d \frac{1}{2} E q_i dx \quad (13)$$

Integrandul ecuatie (13) este similar expresiei pentru forta de pe suprafata dielectricului care este;

$$W_m = \frac{1}{\varepsilon_r} \int_o^d T_x dx \quad (14)$$

In consecinta energia transferata materialului dielectric este:

$$W_c = \frac{1}{2} \varepsilon_o E^2 V + \frac{1}{\varepsilon_r} \int_o^d T_x dx \quad (15)$$

Aceasta expresie permite sa se reprezinte transferul de energie al unui sistem electromecanic asa cum va fi aratat in urmatoarea sectiune.

Diferentiind in raport cu timpul se poate obtine puterea instantanee:

$$\frac{\partial W_c}{\partial t} = \varepsilon_o E \frac{\partial E}{\partial t} V \quad (16)$$

$$\frac{\partial W_m}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon_r} T_x \frac{\partial x}{\partial t} \quad (17)$$

In ecuatia (16) se considera ca variatia volumului in timp poate fi neglijata. Variatia de volum $V(t)$ va fi luata in considerare in urmatoarele lucrari, dar in acest punct nu

afecteaza analiza urmatoare pentru lichide si solide dielectrice in interese tehnologice, unde efectele compresibilitatii sunt de obicei neglijabile.

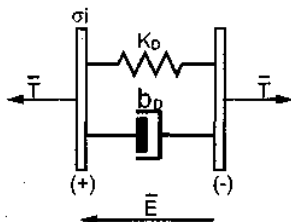
Este binecunoscut faptul ca in timpul polarizarii, intr-un material dielectric, este promovata formarea dipolilor. In dipoli sarcinile sunt separate de campul electric. Acesti dipoli conduc la aparitia fortelor elastice in matricea materialului dielectric pentru a restabili echilibrul mecanic. In consecinta, materialul dielectric este descris ca un ansamblu de elemente dipol discrete care au atat componenta electrica cat si mecanica. Figurile arata 2 tipuri de dipoli care vor fi fost studiati in lucrare. Dupa cum se vede in figura dipolul este format din:

a-un condensator cu placi plane care maresc distanta intre placi sub aplicarea unui camp electric E

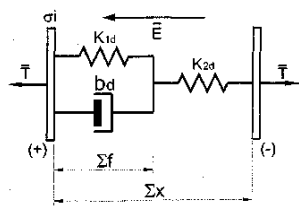
b-un resort care reprezinta constrangerile elastice ale matricei

c-un piston care reprezinta pierderile de energie prin ireversibilitate [14].

Aceasta configuratie va fi numita **dipol elementar de tip Voigt cu 2 parametri**. De asemenea, ceea ce este reprezentat in figura 3 va fi numit **dipol elementar de tip Voigt cu 3 parametri**. Modelul Voigt cu 3 parametri configurabili este larg utilizat in domeniul reologiei pentru descrierea proceselor „anelastice” in materiale de diferite tipuri. De aceea, studiul acestor tipuri de constrangeri vor fi incluse in acest modelul. De fapt modelul Voigt cu 3 parametri asigura o reprezentare mai realista a raspunsului fizic al materialului sub excitare mecanica. Modelul Voigt este preferabil reprezentarii Maxwell pentru modelarea solidelor cu 2 parametri considerand ca presiunea aplicata pentru o perioada indelungata difera de excitarea in pasi.

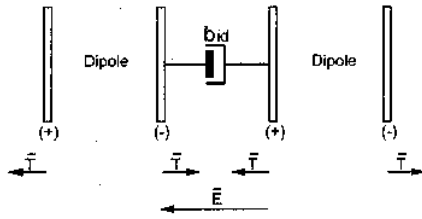


Reprezentarea unui dipol elementar prin modelul Voigt cu 2 parametri

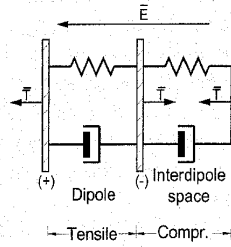


Reprezentarea unui dipol elementar prin modelul Voigt cu 3 parametri

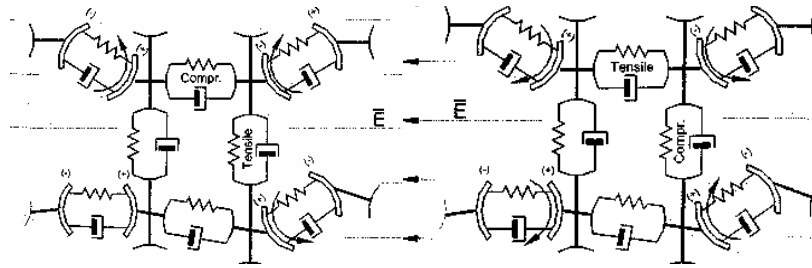
Consideram ca legatura dintre dipolii elementari inglobati in material (spatiul inter-dipol) poate fi modelata printr-o reprezentare reologica care este similara cu cea utilizata pentru dipol. Alte reprezentari reologice pot fi alese incluzand de asemenea diferite dipuri de dipoli si spatii inter-dipolare, in functie de tipul de material si de procesul excitant.



Reprezentarea unui dipol inglobat intr-un lichid dielectric

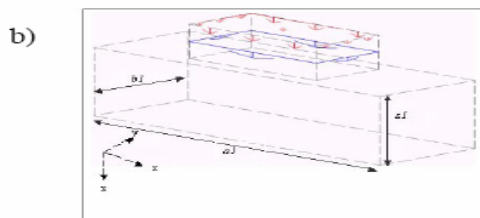
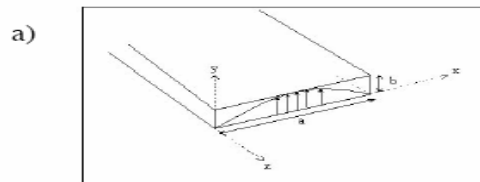


Unitatea elementara descrisa prin modelul Voigt cu 2 parametri

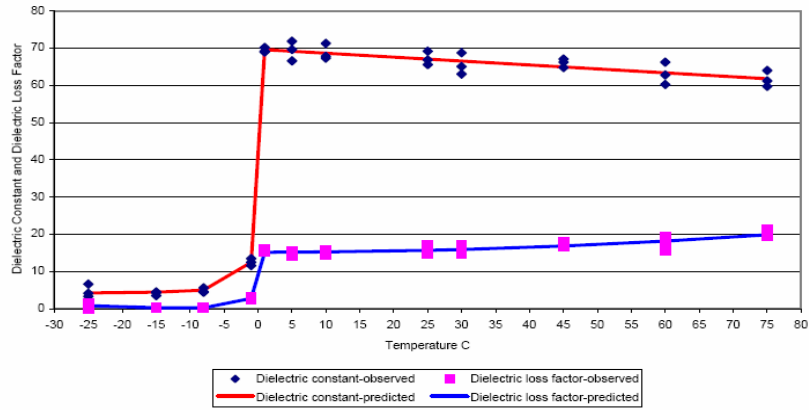


Reprezentarea bidimensionala a unui solid, cu evidentierea proceselor de orientare datorita aplicarii campurilor electrice

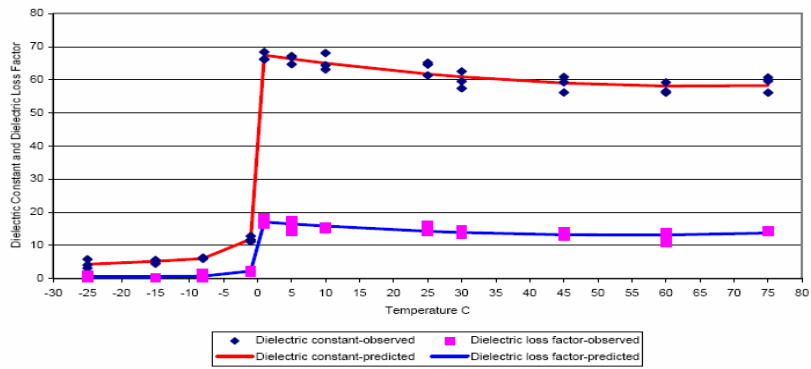
EXEMPLU DE MODELARE A CALITATII PRODUSELOR ALIMENTARE INCALZITE IN CONDITII DE MICROUND, BAZATA PE TEORIA ELEMENTULUI FINIT.



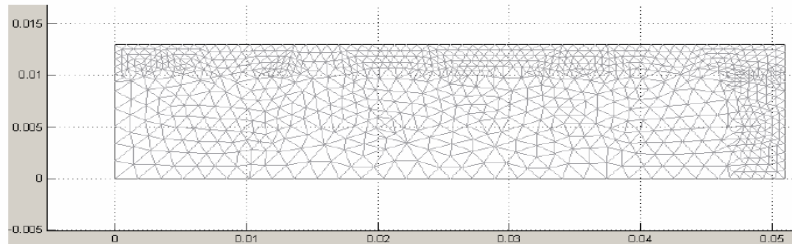
Configuratia geometrica a modelului fundamental la doua unde transversale, cuplate, $a=250$ si $b=125$ mm.



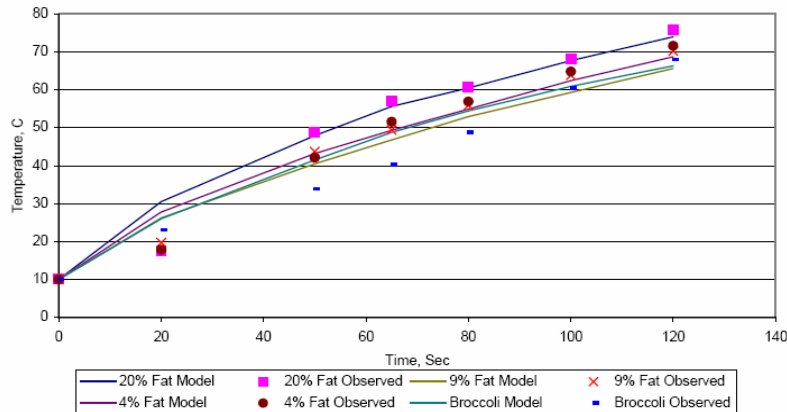
Proprietati dielectrice la 915 MHz



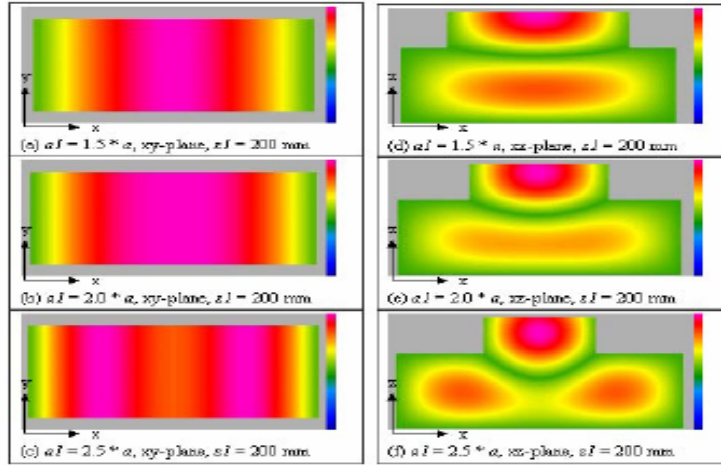
Proprietati dielectrice la 2450 MHz



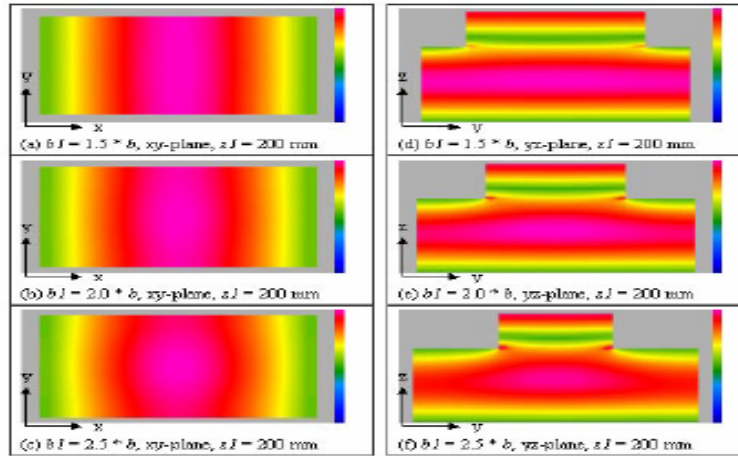
Finit element mesh



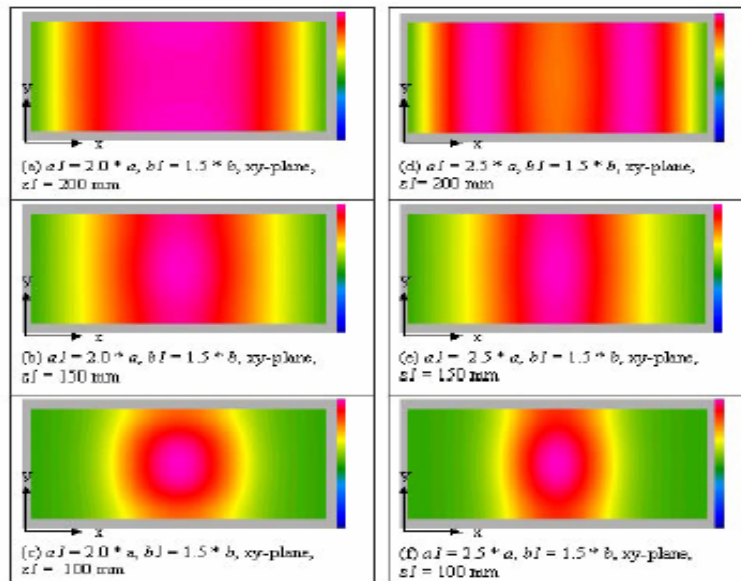
Rezultatele procesului de incalzire cu durata de expunere



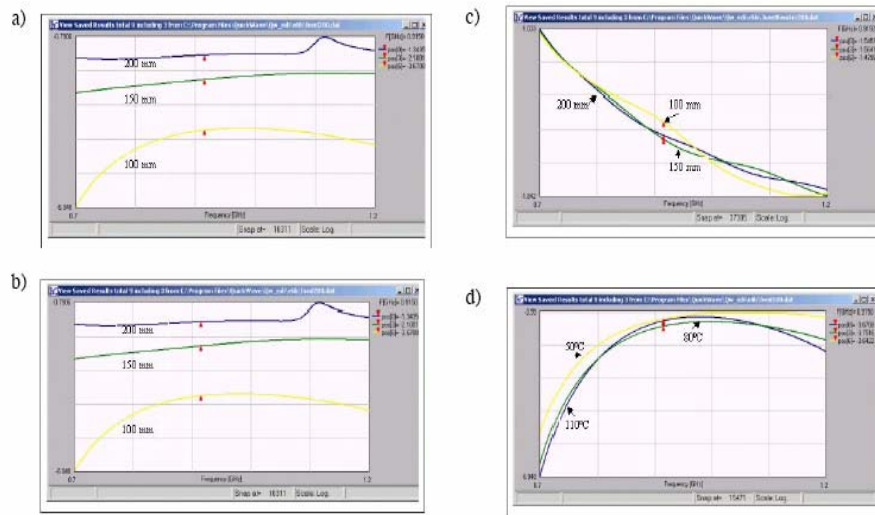
Modelare – campul electric in sectiunile xy si xz pe distanta $x < a = 250$ mm



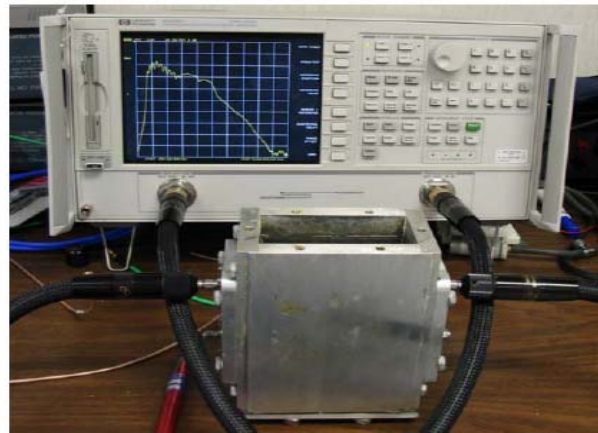
Modelare – campul electric in sectiunile xy si yz pe distanta $y < b = 125$ mm



Modelare – campul electric in planul xy , cu $y < b = 125$ mm si $x < b = 125$ mm



Modelare – valorile parametrului de pierderi S_{11} la 915 MHz, a) fara proba, b) produs vegetal uscat, c) produs vegetal umed la 20 C si d) cazul c) la variatia temperaturii



Blocul de testare a produselor alimentare cu unda transversala la 915 MHz

CONCLUZII PARTIALE

S-a realizat simularea si modelarea fenomenelor de polarizare in complexe tip dielectric-polielectrolit specifice descrierii produselor alimentare si s-a avut in vedere identificarea de modele electrorheologice credibile, care pot fi asociate compatibilitatii in stare amorfa in sistemele macro-moleculare complexe specifice produselor alimentare.

S-a apelat la reprezentarea unui model bidimensional, cu evidentierea proceselor de orientare datorate aplicarii campurilor electrice, si s-a realizat o reprezentare reologica a spatiului inter-diploar, utilizand modelul Voigt cu 2 si 3 parametri, ca precursor al modelarii caracteristicilor dielectrice ale produselor alimentare pe baza teoriei elementului finit.

S-a realizat o simulare si modelarea a caracteristicilor dielectrice si electrorheologice ale produselor alimentare pe baza teoriei elementului finit – analiza FDTD. S-au pus in evidenta caracteristicile cele mai sensibile – caracteristica de pierderi S_{11} - in jurul

valorii standard aflata in domeniul de microunde, respectiv 915 MHz. Cercetarea a evidentiat o semnificativa sensibilitate a acestei caracteristici cu gradul de umiditate, concentratia ionica si temperatura (atat exterioara, cat si cea acumulata de produsul alimentar supus unei eventuale incalziri in domeniul de frecventa simulat).

Bibliografie selectiva:

- [1] S.O. Nelson, "Dielectric Properties of Agricultural Products", IEEE Trans. Electr. Insul., Vol. 26, pp. 845-869, 1991.
- [2] R. E. Mudgett, D. R. Mudgett, S. A. Goldblith, D. I. C. Wang and W. B. Westphal, "Dielectric Properties of Frozen Meats", J. Microwave Power, Vol. 14, pp. 209-216, 1989.
- [3] E. C. To, R. E. Mudgett, D. I. C. Wang, S. A. Goldblith and R. V. Decarau, "Dielectric Properties of Food Materials", J. Microwave Power, Vol. 9, pp. 303-315, 1994.
- [4] D. Van Dyke, D. I. C. Wang and S. A. Goldblith, "Dielectric Loss Factor of Reconstituted Ground Beef the Effect of Chemical Composition", Food Technology, Vol. 23, pp. 944-946, 1989.
- [5] F. X. Hart and W. H. Cole, "The Dielectric Properties of Apples in the Range 0.1 to 100 kHz", J. Matl. Sci. Vol. 28, pp. 621-631, 1993.
- [6] J C Duncanand, R D L Marsh, WIDE FREQUENCY RANGE DIELECTRIC SPECTROSCOPY - APPLICATION TO FOOD MATERIALS, Proc. of 1995 IEEE 5th International Conference: on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, pp. 259-263.
- [7] S.H. Noli and S.O. Nelson, Dielectric properties of rice at frequencies from 50Hz to 12k, Trans. ASM. Vol. 32. pp. 991-998, 1989.
- [8] Kent, M., Knochel, R., Daschner, F. and Berger, U.-K., "Measurement of composition and prior treatment of foodstuffs using complex dielectric spectra", Workshop on electromagnetic wave interaction with water and moist substances, Athens, Georgia, pp. 20-24, 1999.
- [9] Kent, M. and Anderson, D., "Dielectric studies of added water in poultry meat and scallops", Journal of Food Engineering, 28, pp. 239-259, 1996.
- [10] K. S. Cole, "Electric Impedance of Marine Egg Membranes", Trans Faraday Soc., Vol. 23, pp. 966-972, 1987.
- [11] S. O. Nelson, P. G. Bartley, Jr., and K. C. Lawrence, "Measuring RF and microwave permittivities of adult rice weevils," IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 46, no. 4, pp. 941-946. 1997.
- [12] R. E. Mudgett, "Electrical properties of foods," Ch. 8, Engineering Properties of Foods, M. A. Rao and S. S. H. Rizvi, eds., pp. 389-455, New York Marcel Dekker, Inc., 1995.
- [13] A. K. Datta, E. Sun, and A. Solis, "Food dielectric property data and their composition-based prediction," Ch. 9, Engineering Properties of Foods, M. A. Rao, pp. 457-494, New York: Marcel Dekker, Inc., 1995.
- [14] You Tianshu. "A new method for determining the microwave dielectric properties of agricultural products". Journal of Zhejiang University (Natural Science), Vol. 32, No. 3, pp. 357-362. 1998
- [15] Nelson, S. O.. "Dielectric Properties of Agricultural Products Measurements and Applications". IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 26, No. 5. 1991.
- [16] Calay RK, Newborough M, Probert D, Calay PS. 1995. Predictive equations for the dielectric properties of foods. Int J Food Sci Technol 29:699-713.
- [17] Funebo T, Ohlsson T. 1999. Dielectric properties of fruits and vegetables as a function of temperature and moisture content. J Microw Pow EE 34(1):42-54.
- [18] Kent M. 1987. Electrical and dielectric properties of food materials. London: Science-Technology Publ. p 130-135
- [19] Mudgett RE. 1995. Electrical properties of foods. In Rao, MA, and Rizvi, SSH, editors. Engineering Properties of Foods. 2nd ed. New York: Marcel Decker, Inc. p 389-455
- [20] Ndiye MK, Sumnu G, Bayindirli AL. 1998. Dielectric properties of 6 different species of starch. Food Res Int 31(1):43-52.
- [21] Ryyananen S. 1995. The electromagnetic properties of food: a review of basic principles. J Food Eng 26:409-429.
- [22] Sun E, Datta A, Lobo S. 1995. Composition-based predictions of dielectric properties of foods. J Microw Pow EE 30(4):205-212.
- [23] Stuart O. Nelson and Philip G. Bartley, Jr., "Measuring Frequency- and Temperature-Dependent Permittivities of Food Materials", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Budapest, Hungary, May 21-23, pp. 975-978, 2001.
- [24] M. Hemmer, R. Badent and A.J. Schwab, "Electrical properties of rape-seed oil", Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, pp. 83-86, 2002.
- [25] V. V. Zhimov, A. I. Dokhov, S. V. Solonskaya, V. I. Strelchenko, "DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF FOOD-STUFF IN THE PROCESS OF THEIR THERMAL TREATMENT WITH MICROWAVE FIELD", International Conference on Antenna Theory and Techniques, 9.12 September, 2003, Sevastopol, Ukraine pp. 834-836.
- [26] A. I. Dokhov, V. V. Zhimov, N. E. Lukyanenko, "Technologies and universal constructions of microwave device for obtaining gypsum binding casein, dried fruit, vegetables and other food-stuff", Radiotekhnika: All-Ukr. Sci. Intredep. Mag. 2003. N115. P.133-137.