

Programul: **IDEI**
 Tipul proiectului: **Proiecte de cercetare exploratorie**
 Cod proiect: **ID 2270**
 Titlu proiect: **INVESTIGAREA ȘI CARACTERIZAREA PLASMEI NONTERMICE GENERATE LA PRESIUNE ATMOSFERICĂ CU APLICAȚII ÎN TRATAMENTUL UNOR MATERIALE TERMOSENSIBILE. STUDIU COMPARATIV PE PATRU DOMENII DE FRECVENȚĂ.**
 Faza: **Finală, 15.12.2009**
 Director proiect: **prof.univ. dr. Sorin Dan ANGHEL**

RAPORT DE CERCETARE

Sinteză anul I, 2009

Obiectiv - etapa I-a

Stabilirea condițiilor de generare în campuri electrice (c.e.) armonice a plasmelor non-termice la presiune atmosferică.

În general, arhitectura generatoarelor comerciale de plasmă este de forma: generator de semnal – amplificator de semnal – rețea de adaptare – incinta în care este generată plasma. După cum se poate intui, este o structură destul de complexă și costisitoare. Noi am demonstrat că este posibilă generarea descărcărilor în diverse gaze (argon, heliu, aer) la presiune atmosferică dacă descărcarea este de tip cuplaj capacitiv și este parte integrantă a unui circuit rezonant *RLC*. În astfel de circuite, în condiții de rezonanță, se pot obține tensiuni suficient de înalte (sute-mii de volți) astfel încât să poată fi generată și întreținută o plasmă la presiune atmosferică. Dacă circuitul rezonant (și implicit plasma) reprezintă circuitul acordat al unui oscilator (sau auto-oscilator), atunci rețeaua de adaptare poate să lipsească, transferul maxim de putere de la sursa de energie către plasmă autoreglându-se.

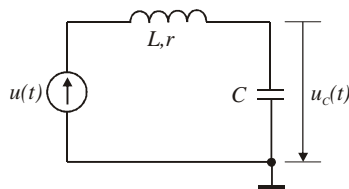


Fig. 1 Circuitul serie RLC.

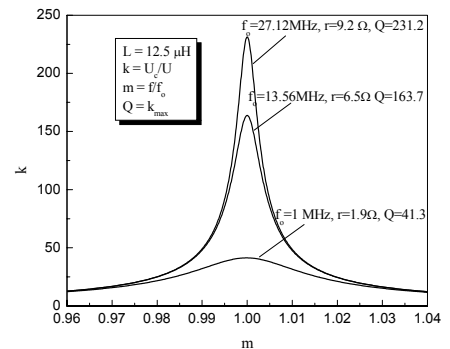


Fig. 2 Dependența factorului *m* de frecvența normalizată pentru o aceeași bobină situată în diferite circuite rezonante serie.

Este bine cunoscut faptul că un circuit serie ca cel din fig.1, constând dintr-o bobină cu inductanța *L* și rezistența de pierderi *r* și un condensator cu capacitatea *C* are un comportament rezonant. Considerând că el este alimentat de la o sursă de tensiune armonică, $u(t) = U \sin 2\pi f t$, cu frecvență ajustabilă, raportul dintre tensiunea de la bornele condensatorului și tensiunea de alimentare va fi:

$$k = U_c / U = 1 / \sqrt{(1 - m^2)^2 + \frac{r^2}{4\pi^2 f_o^2 L^2} m^2} \quad (1)$$

unde, $f_o = 1 / 2\pi\sqrt{LC}$ este frecvența de rezonanță și $m = f / f_o$ este un factor care reprezintă frecvența normalizată.

Trebuie menționat faptul că factorul *k* reprezintă și raportul dintre amplitudinea tensiunii pe partea reactivă a bobinei și amplitudinea tensiunii de alimentare. Considerînd o bobină cu parametri cunoscuți (ex: *L* = 12,5 H, și *r* = 9,2 Ω la *f* = 27,12 MHz), frecvența de rezonanță a circuitului va depinde de mărimea capacității condensatorului *C*. Fig.2 prezintă dependența factorului *k* de frecvența normalizată *m* pentru trei valori diferite ale capacității *C* și în consecință, pentru trei frecvențe de rezonanță diferite.

Din examinarea acestor reprezentări grafice se pot face două observații importante: (a) comportarea selectivă la frecvențe înalte și (b) posibilitatea obținerii pe condensator a unor tensiuni mult mai mari decât tensiunea de alimentare la frecvența de rezonanță f_o ($m = 1$). Factorul de multiplicare k la frecvența de rezonanță reprezintă și factorul de calitate al circuitului, Q . Faptul că în condiții de rezonanță tensiunea pe ambele elemente reactive ale unui circuit serie RLC este de Q ori mai mare decât tensiunea de alimentare poate fi folosit pentru generarea a două tipuri de plasmă în condiții de presiune atmosferică: plasma cuplată inductiv (ICP) și plasma cuplată capacitiv (CCP). Această clasificare are ca fundament mecanismul fizic prin care plasma absoarbe energie de la câmpul electromagnetic. Plasma cuplată inductiv absoarbe aproape întreaga sa energie de la componenta magnetică a câmpului electromagnetic prin fenomenul de inducție electromagnetică, ca în cazul unui transformator. Plasma cuplată capacitiv își absoarbe energia necesară menținerii ei de la componenta electrică a câmpului electromagnetic, ca în cazul unui condensator real. În ambele cazuri plasma se este parte componentă a circuitului rezonant.

Obiectivul primei etape a proiectului de cercetare a fost stabilirea condițiilor de generare a plasmelor non-termice și non-agresive, în condiții de presiune atmosferică, în diferite domenii de frecvență. În consecință am studiat posibilitatea de generare a unor astfel de plasmă care să fie parte integrantă a unor circuite rezonante RLC în două domenii de frecvență: zeci-sute de kHz și MHz-zeci de MHz. Plasmele generate sunt de tip cuplaj capacitiv.

Schema de principiu a generatorului de plasmă la presiune atmosferică la frecvența de 10.9 MHz este prezentată în fig.3. Generatorul câmpului de radiofrecvență are drept componentă esențială un auto-oscilator, plasma fiind generată prin cuplaj capacitiv. Ea este amorțată pe vârful unui electrod metallic ascuțit conectat la extremitatea liberă a bobinei circuitului rezonant. Puterea transmisă plasmei se maximizează prin optimizarea factorului de cuplaj magnetic între bobinele L_1 și L_2 . Fiind parte integrantă a circuitului acordat (rezonant) al oscilatorului, plasma influențează frecvența de oscilații generate. Acesta este, pe de o parte, un dezavantaj dar pe de alta un avantaj deoarece variația de frecvență determinată de plasmă este măsurabilă și poate fi folosită la determinarea unor caracteristici ale plasmei generate. Pentru generarea unei plasme bine formate, cuplajul magnetic dintre bobinele L_1 and L_2 trebuie reglat astfel încât potențialul electrodului de susținere a plasmei să fie maxim.

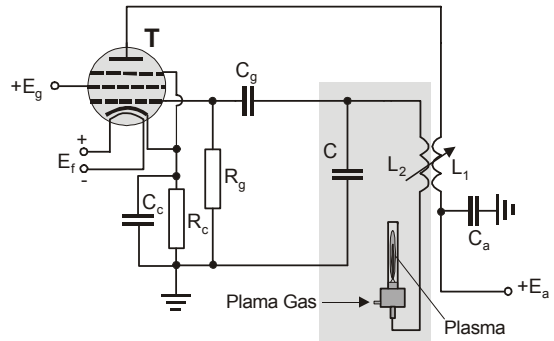


Fig. 3 Schema simplificată a generatorului de plasmă la 10.9 MHz.

Pentru generarea unei plasme non-termice și neagresive la presiune atmosferică folosind câmpuri electrice armonice cu frecvența situate în domeniul zecilor-sutelor de kHz am urmărit ca generatorul de plasmă să fi cât mai simplu și ușor de construit și să aibă un randament de transfer al puterii către plasmă mai mare de 50%. Avantajele care decurg din lucrul la frecvențe mai joase sunt costurile de producție mai mici dar și cerințe tehnice și tehnologice mai puțin pretentioase (în primul rând cele referitoare la maximizarea transferului de putere, ecranarea electromagnetică și folosirea unor materiale izolatoare speciale, dar și cele legate de măsurarea curenților și tensiunilor). Dezavantajul principal este legat de influența spațiului ambiant ca electrod secundar, dar numai atunci când plasma nu este pe deplin formată și dezvoltată spațial. Schema bloc a generatorului proiectat este prezentată în fig.4. Și aceasta se bazează pe posibilitatea de obținere a unor tensiuni înalte în circuitele rezonante de tip RLC serie. În schemă sunt marcate și instrumentele pentru măsurarea tensiunii continue de alimentare și a curentului continuu consumat, precum și sondele de măsurare a tensiunilor variabile în timp în două puncte ale circuitului.

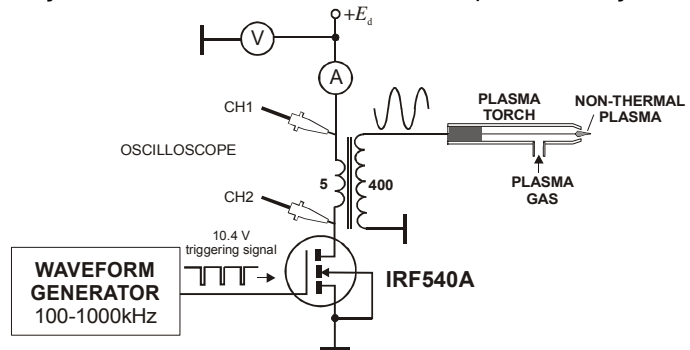


Fig.4 Schema generatorului de plasmă la frecvențe în domeniul sutelor de kHz.

Cele mai importante componente ale generatorului de plasmă sunt transformatorul cu miez de ferită și torța de plasmă. Secundarul transformatorului împreună cu torța reprezintă un circuit rezonant RLC . Tranzistorul cu efect de câmp acționează ca un comutator (închis/deschis) plasat între bobina primară și masă. De la un generator de funcții, pe poarta tranzistorului este aplicat un semnal dreptunghiular cu factorul de umplere ajustabil, având aceeași frecvență cu frecvența de rezonanță a circuitului secundar. Drept consecință, în bobina primară vor fi injectate impulsuri de curent care vor reprezenta impulsuri de excitație

pentru circuitul secundar. În condiții de rezonanță, tensiunile electrice pe elementele reactive din circuitul secundar vor fi suficient de mari pentru a crea condițiile necesare generării unei descărcări în gaz la presiune atmosferică. Transferul de energie de la bobina primară către bobina secundară (și implicit către plasmă) prezintă mai multe maxime (cu valori diferite) corespunzătoare situațiilor în care între frecvența de excitație, f_{exc} și frecvența de rezonanță a circuitului secundar, f_o este satisfăcută egalitatea $k f_{exc} = f_o$ (k – întreg). Când frecvența de excitație este mai mică decât frecvența de rezonanță ($k = 2,3,4 \dots$), amplitudinea tensiunii induse descrește exponențial între două impulsuri de excitație, așa după cum se poate observa în fig.5(a) pentru $k = 4$. Transferul de energie este cu atât mai mare cu cât frecvența de excitație este mai apropiată de frecvența de rezonanță a circuitului secundar. El va fi maxim atunci când $f_{exc} = f_o$ (transfer rezonant de energie, fig.5(b)) și când factorul de umplere al impulsurilor de excitație este de 87%. Acestea sunt condițiile optime de generare a plasmei la presiune atmosferică. Plasma poate fi generată și la frecvențe ale impulsurilor de excitație care satisfac relația $f_{exc} = f_o/k$ dar pentru generarea unei plasme cu aceleași caracteristici cu cele ale plasmei generate în condiții optime ($f_{exc} = f_o$), cu cât frecvența de excitație este mai mică cu atât intensitatea impulsurilor de curent care circulă prin bobina primară trebuie să fie mai mare decât în condiții optime. Pentru a lucra în condiții optime la alte frecvențe, transformatorul trebuie re proiectat.

În fig.6 sunt prezentate formele de undă ale tensiunilor în diferite puncte ale circuitului, în situația în care se lucrează în condiții optime. Datorită faptului că tensiunea dintre terminalele bobinei secundare este foarte mare (poate atinge $2000V_{pk-pk}$), ea a fost vizualizată folosind o metodă de inducție). Diferența dintre formele de undă ale semnalelor (B) și (A) este cauzată de acțiunea ca filtru trece-jos a combinației dintre rezistența de ieșire a generatorului de impulsuri (50Ω) și capacitatea de intrare ($1700pF$) a tranzistorului cu efect de câmp. Datorită faptului că circuitul secundar acționează ca un filtru trece bandă, tensiunea indusă între terminalele bobinei secundare are o formă pur sinusoidală, cu frecvența f_o .

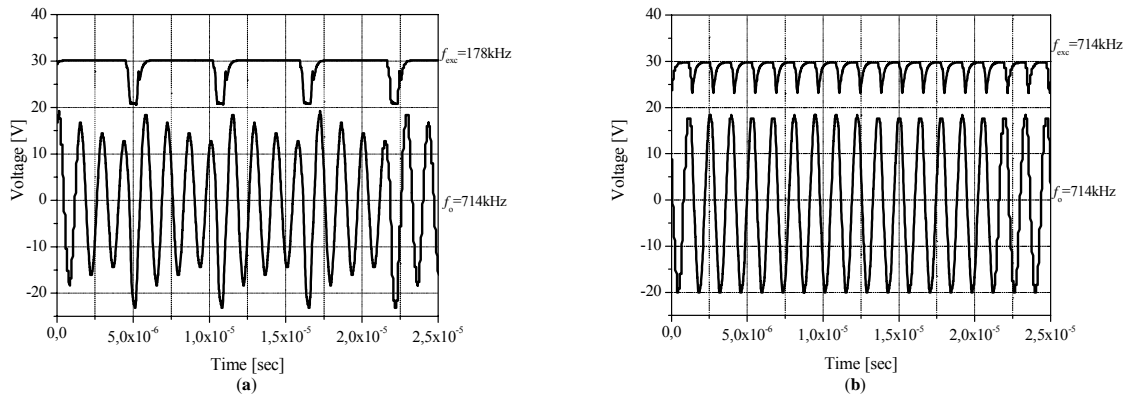


Fig. 5 Formele de undă ale impulsurilor de excitație și tensiunii induse între terminalele bobinei secundare corespunzătoare la două frecvențe de excitație diferite: (a) $f_{exc} = f_o/4$ și (b) $f_{exc} = f_o$. Reprezentările grafice ale semnalelor de excitație sunt translate cu 30V.

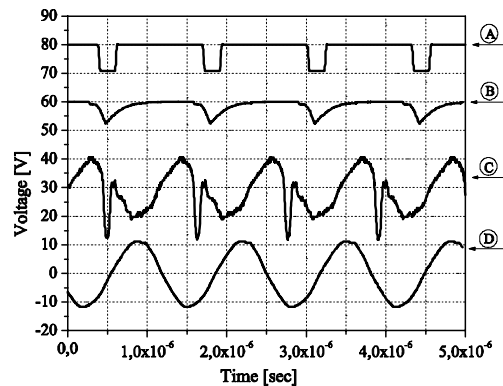


Fig. 6 Forme de undă: (A) – forma de undă a impulsurilor de excitație înregistrată când generatorul de impulsuri nu este conectat la poarta tranzistorului; (B) – forma de undă a impulsurilor de excitație înregistrată când generatorul de impulsuri este conectat la poarta tranzistorului; (C) – forma de undă a tensiunii dintre terminalele bobinei primare determinată de impulsurile de excitație și de tensiunea reflectată din circuitul secundar (CH1-CH2, vezi și fig. 1). (D) – tensiunea sinusoidală între terminalele bobinei secundare. Pentru evitarea suprapunerii reprezentărilor grafice, plotările A, B și C au fost translate cu 80, 60 și respectiv 30V.

Referitor la influența torței în care este generată plasma, ea este (procentual) mult mai mare decât în cazul lucrului la 10.9 MHz datorită faptului că torța (cu sau fără plasmă) reprezintă principalul element

capacitiv al circuitului secundar, rezonanța căruia impune frecvența de lucru. Una din torțele testate este prezentată în fig.7. Elementul de suport mecanic al torței este partea „tată” a unui conector BNC prin intermediul căruia ea este conectată la borna „caldă” a secundarului transformatorului (prin conectorul BNC „mamă”).



Fig. 7 Schema și imaginea torței de plasmă.

Torța de plasmă constă dintr-un fir de cupru cu diametrul de 0.15 mm plasat în interiorul unui tub din PVC montat pe partea „tată” a mufei BNC. Firul de cupru reprezintă electrodul de generare a plasmei. El este acoperit cu un strat de teflon, cu excepția unei porțiuni cu lungimea de 1 mm dinspre capătul său liber. Capătul liber al electrodului este plasat la aproximativ 1 mm de extremitatea liberă a tubului din PVC cu diametrul interior de 3 mm, în interiorul acestuia. Torța este alimentată cu gaz cu diferite debite controlate cu un debitmetre etalonate.

Prezența torței în circuit influențează în primul rând frecvența de rezonanță a circuitului secundar și implicit frecvența optimă de lucru. Astfel, dacă atunci când torța nu este conectată frecvența de rezonanță este de aproximativ 1240 kHz, în prezența ei aceasta scade la aproximativ 870 kHz. Aici trebuie menționat faptul că în condițiile în care plasma generată consumă puteri mici (sub 1-2 W), ea nu determină variații substanțiale ale frecvenței de rezonanță, ceea ce denotă comportamentul dominant rezistiv al acesteia (acest comportament este menționat și în cazul generării acestor tipuri de plasmă folosind generatoare comerciale).

Au fost testate și torțe având alte dimensiuni ale tubului exterior și confecționate din alte materiale (sticlă, teflon), concluzionându-se că influența lor asupra frecvenței de rezonanță a circuitului secundar se datorează aproape exclusiv modului în care se face conexiunea cu borna „caldă” a bobinei secundare (în fapt, tipului de conector folosit). Practic, natura și dimensiunile materialelor dielectrice folosite nu influențează (la nivel măsurabil) comportarea circuitului secundar.

Obiectiv - etapa a II-a

Generarea plasmelor non-termice la presiune atmosferică în Ar, He, Ar+He în prezența difuziei aerului ambient, în domeniul de frecvențe 20 kHz – 13MHz.

Schema de principiu a generatorului de plasmă la presiune atmosferică generată la frecvența de 4 MHz este prezentată în fig.8.

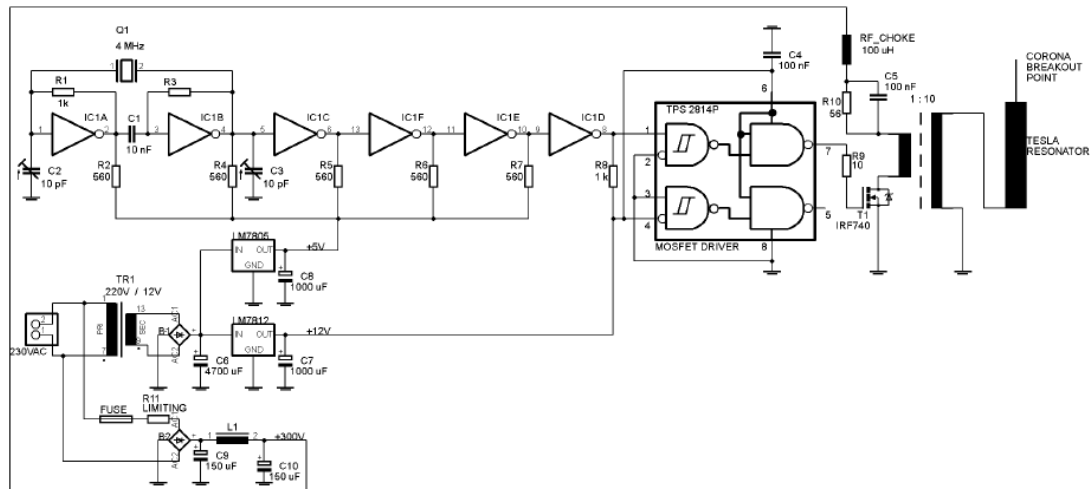


Fig.8 Schema de principiu a generatorului de plasmă.

Ea este alcătuită din următoarele blocuri funcționale: sursa de alimentare, un oscilator pe 4 MHz cu cristal de cuarț, driverul de curent cu MOSFET, amplificatorul de putere cu MOSFET și rezonatorul Tesla acordat pe frecvența oscilatorului. Componenta „critică” a acestui generator este transformatorul Tesla. El este un transformator de înaltă frecvență, ridicător de tensiune, fără miez magnetic (transformator cu aer). Pentru o corectă operare a lui, dimensiunile geometrice, numărul de spire și coeficientul de cuplaj magnetic

reprezintă parametri critici. Pe baza teoriei circuitelor cuplate inductiv funcționând în regim armonic se poate concluziona faptul că dacă semnalul aplicat între bornele bobinei primare are aceeași frecvență cu frecvența proprie de rezonanță (self-resonance frequency) a bobinei secundare (care poate fi modelată ca un circuit *LCR*), atunci tensiunea la bornele sale va fi maximă. Evident, valoarea ei depinde de tensiunea semnalului aplicat bobinei primare, de raportul de transformare și de coeficientul de cuplaj magnetic dintre bobina primară și bobina secundară.

Deoarece la frecvențe înalte efectul pelicular (skin) nu poate fi neglijat, pentru raza conductorului din care este construită bobina secundară a fost aleasă valoarea de 0.2 mm care este de peste șase ori mai mare decât adâncimea de pătrundere în Cu la 4 MHz: 33μm.

Parametrii caracteristici ai bobinei secundare au fost estimați folosind următoarele relații:

$$L = \frac{(nr)^2}{9r + 10l} \quad (2)$$

și

$$C = 0.29l + 0.41r + 1.91\sqrt{\frac{r^3}{l}} \quad (3)$$

unde *L* este inductanța în μH, *C* - capacitatea parazită a bobinei (self capacitance) în pF, *n* - numărul de spire, *r* - raza și *l* - lungimea bobinei, ambele în inch. Frecvența proprie de rezonanță a bobinei secundare poate fi estimată cu bine-cunoscuta formulă a lui Thompson:

$$f_{rez} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{LC} \quad (4)$$

Având în vedere erorile inerente care rezultă în urma aplicării modelelor teoretice, numărul final de spire a fost stabilit în urma testelor experimentale.

Secundarul transformatorului Tesla este construit din două bobine conectate în serie. Prima (50 spire, CuEm, Φ = 0.5mm) asigură un raport de transformare de 1:10, fiind cuplată inductiv cu bobina primară (5 spire, CuEm, Φ = 1.5mm) iar cea de a doua, bobina rezonatoare, asigură, prin fenomenul de rezonanță, generarea unui potențial înalt (kV, MHz) la extremitatea ei liberă.

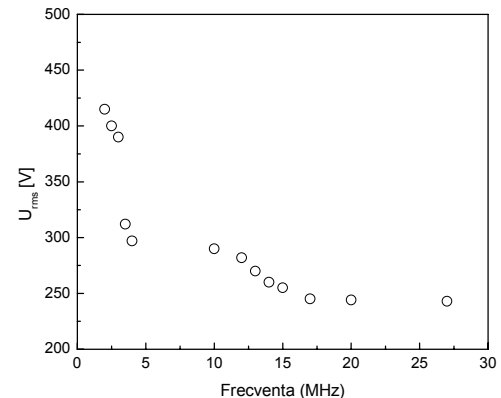
În fig.9 este prezentată o imagine de ansamblu a modelului experimental aflat în faza de testare (fig.9a) și un detaliu al bobinei rezonatoare la extremitatea căreia este generată o descărcare corona în aer la presiune atmosferică (fig.9b). Lungimea descărcării este de aproximativ 20 mm. Posibilitatea generării unei astfel de descărcări în aer la presiune atmosferică reprezintă garanția faptului că extremitatea liberă a bobinei rezonatoare se află la un potențial de radiofrecvență de 5-6 kV. Acest potențial ridicat este asigurător pentru generarea plasmelor de argon, heliu sau amestecuri ale lor aflate la presiunea mediului ambiant.



Fig.9 (a) Imaginea generatorului de plasmă; (b) Descărcarea corona generată în aer la presiune atmosferică.

Condițiile concrete care trebuie îndeplinite pentru a putea genera plasmă în condiții de presiune atmosferică, plasmă care să fie și neagresive din punct de vedere termic, sunt determinate de o multitudine de factori-parametri experimentali, dintre care cei mai importanți sunt: forma de undă și frecvența tensiunii semnalului folosit pentru generarea și întreținerea stării de plasmă; natura gazului folosit și proporțiile diferitelor componente, dacă se folosește un amestec de gaze; debitul de gaz sau al amestecului de gaze; dacă plasma este generată într-un spațiu închis sau în spațiul liber; forma și dimensiunile electrozilor folosiți precum și distanța dintre ei; dacă descărcarea vine în contact direct cu electrozii metalici sau suprafețele acestora sunt acoperite cu metariale dielectrice (DBD).

Fig.10 Tensiunea de străpungere pentru o descărcare în heliu la presiune atmosferică generată între doi electrozi plani din Cu aflați la o distanță de 3 mm.



În fig.10 este prezentată dependența tensiunii efective de străpungere pentru o descărcare în He, generată la presiune atmosferică între doi electrozi plani din Cu aflați la o distanță de 3 mm. Se poate observa o scădere rapidă a tensiunii de străpungere corespunzătoare frecvențelor cuprinse între 2 și 4 MHz, urmată de descreștere mult mai lentă de la 4 la 17 MHz, după care, până la 27 MHz, tensiunea de străpungere rămâne relativ constantă. Se poate presupune de aici că o frecvență optimă, care să fie cuprinsă și într-o bandă de frecvențe alocată aplicațiilor industriale este cea de 13.56 MHz, lucru confirmat și de majoritatea lucrărilor elaborate pe această temă de diverse grupuri de cercetare.

Străpungerea gazelor în câmpuri electrice de radiofrecvență la presiune atmosferică este „controlată” de competiția dintre procesele de ionizare în volumul gazului și pierderile de electroni prin difuzie și drift. Descreșterea tensiunii de străpungere odată cu creșterea frecvenței câmpului electric poate fi corelată cu amplitudinea, x_m , oscilațiilor electronilor care, la rândul ei este corelată cu ceilalți parametri de lucru, conform relației:

$$x_m = \frac{eE_o / m_e}{\sqrt{\left[\omega^2 - \omega_p^2 \left(\frac{2x_m}{d} \right)^2 \right]^2 + \omega^2 \nu_c^2}} \quad (5)$$

În care e și m_e sunt sarcina electrică, respectiv masa electronului, E_o - amplitudinea intensității câmpului electric, ω - pulsația câmpului electric, ω_p - frecvența de plasmă, d - distanța dintre electrozi și ν_c - frecvența de ciocnire a electronilor cu particulele neutre din plasmă. La frecvențe mari ale câmpului electric și la presiune atmosferică (când frecvența de ciocnire este mult mai mare decât frecvența câmpului electric), relația (13) se reduce la:

$$x_m = \frac{eE_o}{\omega \nu_c m_e} \quad (6)$$

În aceste condiții, amplitudinea oscilațiilor electronilor descrește odată cu creșterea frecvenței câmpului electric, pierderile de electroni datorate driftului acestora vor fi mai mici și intensitatea câmpului electric necesar amorțării și întreținerii plasmei va fi și ea mai mică.

Așa după cum am menționat anterior, noi propunem generarea plasmelor în câmpuri electrice armonice folosind un singur electrod. Avantajul acestei metode constă în eliminarea pericolului transformării descărcării de tip α în descărcare de tip γ și implicit evitarea transformării descărcării în una de tip arc electric. Dezavantajul ei îl reprezintă faptul că, lipsind un al doilea electrod, potențialul câmpului electric pe electrodul care generează plasma trebuie să fie semnificativ mai mare decât în cazul generării plasmei între doi electrozi cu diferite geometrii (plană, coaxială, mixtă), situați la distanțe de câțiva mm. În cazul proiectului nostru, acest dezavantaj este depășit prin exploatarea proprietății circuitelor oscilante de a genera tensiuni înalte atunci când ele lucrează în regim rezonant, astfel încât obținerea unor tensiuni armonice, cu amplitudini de ordinul kV, nu reprezintă o dificultate.

Folosind generatoarele de plasmă prezentate anterior, au fost generate plasme la presiune atmosferică în aer, heliu, argon sau amestec de heliu-argon în cele patru domenii de frecvență studiate. În funcție de tipul de torță folosit și de natura și debitul gazului, amplitudinile tensiunilor la care au putut fi amorțate descărcări luminescente au fost cuprinse în intervalul 1300-2500V. Fig.11 exemplifică dependența tensiunii de străpungere de debitul de gaz (He) pentru o plasmă generată la 11MHz cu o torță ca cea prezentată în fig.7.

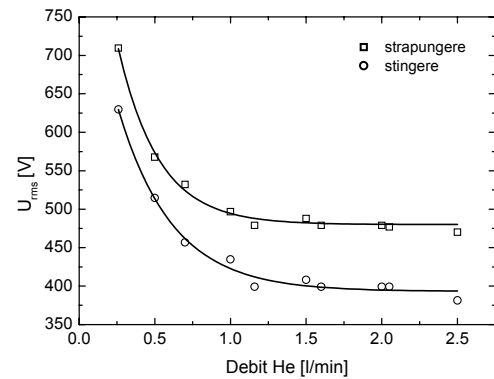


Fig.11 – Dependența tensiunilor de străpungere și de stingere de debitul de heliu pentru o descărcare generată cu o torță monoelectrod la 11 MHz.

Amplitudinea tensiunii aplicate și implicit puterea consumată de plasmă și temperatura plasmei (temperatura gazului) pot fi controlate prin reglarea tensiunilor continue de alimentare a generatoarelor de plasmă. În plasmă exemplificate aici, în condițiile unor puteri în plasmă de până la 1W, temperaturile nu au depășit 150°C.

Diagramele de stabilitate oferă informații despre evoluția spațială și aspectul (stabil sau fluctuant) al plasmei în funcție de parametrii electrice (tensiune, intensitatea curentului, putere efectivă consumată de plasmă), de natura gazului și de debitul de gaz. Ea este trasată în urma observațiilor fotografice sau vizuale și a măsurătorilor electrice folosind sonde de curent și tensiune, urmate de calcule matematice bazate pe modele teoretice. În fig.12 este prezentată diagrama de stabilitate a unei plasme de heliu generată în condiții de presiune atmosferică folosind generatorul prezentat în fig.4.

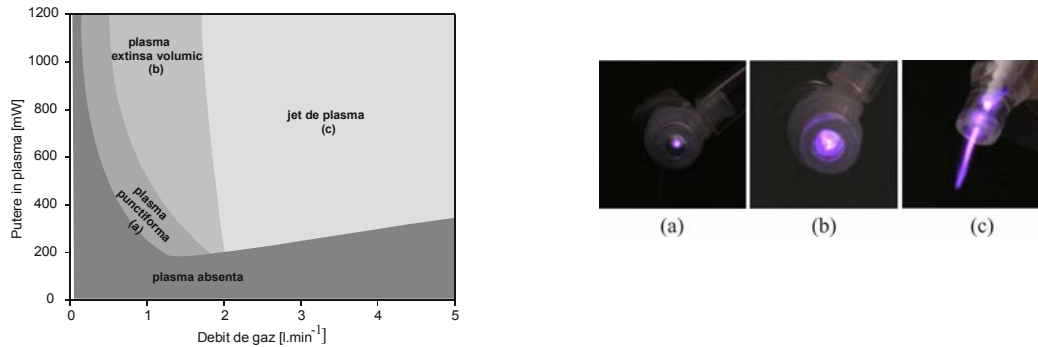


Fig.12 Diagrama de stabilitate a unei plasma non-termice de heliu generată la 870 kHz și cele trei stadii de evoluție spațială.

Diagramele de stabilitate și determinările experimentale preliminare efectuate pe plasmele generate folosind câmpuri electrice armonice cu frecvențe situate în cele patru domenii de frecvențe propuse, au arătat că generarea unor plasme la presiune atmosferică, neagresive din punct de vedere termic, se poate realiza controlând câțiva parametri esențiali: puterea efectivă consumată de plasmă, volumul plasmăi, natura gazului și debitul de gaz.

Sintetizând rezultatele obținute în această etapă a cercetării și având în vedere faptul că ținta principală este generarea unor plasme la presiune atmosferică neagresive din punct de vedere termic, cu temperaturi termodinamice (temperaturi ale gazului) relativ apropiate de temperatura mediului ambiant, se pot puncta următoarele idei:

- (a) Temperatura unei descărcări este determinată în primul rând de energia electrică (determinată de puterea medie) absorbită de plasmă de la câmpul electric care o generează. Generarea unei descărcări într-un gaz la presiune atmosferică implică prezența unor câmpuri electrice intense, generate de tensiuni de ordinul kV. Pentru ca puterea medie să fie mică, este necesar ca intensitatea medie a curentului prin plasmă să fie mică. Acest lucru se poate realiza prin generarea plasmăi folosind un sigur electrod, cel de al doilea fiind reprezentat de mediul ambiant. În plus, această modalitate de generare a plasmăi evită formarea descărcărilor de tip arc electric care conduc la instabilități spațio-temporale.
- (b) Puteri medii mici pot fi transmise plasmăi prin generarea și menținerea acesteia prin impulsuri scurte (zeci/sute de nanosecunde) de înaltă tensiune care determină „curgerea” prin plasmă a unor curenți mari (amperi) dar de durată foarte scurtă.
- (c) Introducerea unei mici cantități de heliu (aprox. 10%) într-o plasma de argon, sau generarea plasmăi doar în heliu, garantează obținerea unor plasme având temperaturi cu aproximativ 25% mai mici decât cele generate numai în argon. În plus, adăugarea heliului are drept consecințe scăderea tensiunii de străpungere cu aprox. 30% și obținerea unui volum mai mare de plasmă omogenă pentru o aceeași putere medie consumată de către aceasta. Aceste efecte se datorează pe de o parte conductibilității termice mai mari a heliului decât cea a argonului și pe de alta, prezenței metastabililor de heliu și, pe cale de consecință, a efectului Penning.
- (d) Mărirea debitului de gaz (argon, heliu, aer sau diverse amestecuri de gaze) chiar la valori de 10-15 l.min⁻¹ are drept consecință scăderea temperaturii plasmăi (chiar cu puteri consumate mari, zeci de W) la valori sub 100°C.

Bibliografie

- [1] S. D. Anghel and A. Simon – *Measurement of electrical characteristics of atmospheric pressure non-thermal He plasma*, **Meas. Sci. Technol.** 18, 2642-2648 (2007).
- [2] S. D. Anghel and A. Simon – *An alternative source for generating atmospheric pressure non-thermal plasmas*, **Plasma Sourc. Sci. and Technol.** 16, B1-B4 (2007).
- [3] A. Simon, S.D. Anghel and J. Pap, *Optimum working parameters for plasma needle used for bacterial deactivation*, **Journ. Optoelect. Adv. Mater.** 10, 2077-2081 (2008).
- [4] S. D. Anghel, A. Simon and T. Frențiu, *Spectroscopic investigations on low power atmospheric pressure capacitively coupled helium plasma*, **Plasma Sourc. Sci. and Technol.** 17 (2008) 045016.
- [5] S.D. Anghel, T. Frențiu and A. Simon – *Atmospheric Pressure Plasmas in Resonant Circuits*, **The Open Plasma Phys. Journ.** 2, 8-16 (2009).
- [6] S. D. Anghel, A. Simon, A. I. Radu and I. J. Hidi, *Spectroscopic Characterisation of a Cross-Flow Plasma Jet*, **Nucl. Instr. and Methods in Phys. Research Sect. B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, B 267 (2009) 430-433; doi:10.1016/j.nimb.2008.10.026.
- [7] A. Simon, S.D. Anghel, M. Papiu and O. Dinu, *Diagnostics and Active Species Formation in an Atmospheric pressure Helium Sterilization Plasma Source*, **Nucl. Instr. and Methods in Phys. Research Sect. B: Beam Interactions with Materials and Atoms** B 267(2009) 438-441; doi: 10.1016/j.nimb.2008.10.028.
- [8] S.D. Anghel and A. Simon, *Preliminary investigations of a very low power atmospheric pressure Helium plasma*, **Roum. Journ. Phys.** (to be published in vol. 55, no. 1-2, 2010).

Director proiect,
Prof.univ.dr. Sorin Dan ANGHEL