

## SINTEZA LUCRĂRII

Programul:	<b>IDEI</b>
Tipul proiectului:	<b>Proiecte de cercetare exploratorie</b>
Cod proiect:	<b>ID_54</b>

### CONTRACTOR:

**Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare  
pentru Fizica Laserilor, Plasmei și Radiației**

**Contract de finanțare nr. 19 / 28.09.2007**

### Titlul proiectului:

*“Noi structuri pulsate cu tensiuni înalte,  
generatoare de jeturi de plasmă rece la presiunea atmosferei terestre,  
cu aplicații bio-medicale”*

**Faza 1: 15 decembrie 2007**

### Obiectivul fazei:

*“Realizarea generatorului de impulsuri de înaltă tensiune,  
care alimentează dispozitivul emițător de jeturi de plasmă rece la presiune atmosferică”*

În ultimul deceniu, mulțimea aplicațiilor posibile a impulsat puternic cercetările din domeniul plasmelor reci la presiune atmosferică (“atmospheric pressure cold plasmas”). Aceste plasmă sunt sisteme în echilibru, având temperatura electronică mult mai mare decât cea ionică. Plasma este “rece” (non-termică) la nivel microscopic, având aproximativ temperatura mediului ambiant. Obținerea plasmei reci la presiune atmosferică reprezintă un avantaj hotărâtor de simplitate și de cost, în comparație cu plasmăle obținute la presiuni reduse, în instalații speciale.

Plasma rece este produsă în mediu gazos, prin descărcări în câmpuri electrice sau prin excitație cu câmpuri electromagnetice de radio-frecvență. Pentru obținerea sa cu eficiență maximă, cele mai potrivite medii de lucru sunt gazele inerte : heliu, argon. Din păcate, aceasta intră în contradicție cu necesitatea ca plasma să fie și activă chimic, pentru diversele aplicații avute în vedere. Rezolvarea acestei contradicții constituie cheia succesului în acest domeniu de cercetare.

Prezenta propunere de proiect are în vedere în primul (dar nu în singurul) rând aplicații bio-medicale. Este vorba de tratamente pe zone bine delimitate de țesuturi biologice, precum și de tratamente de celule specifice (inclusiv tumorale). De aceea, proiectul urmărește obținerea de plasmă reci la presiune atmosferică în zone spațiale restrânse. Dimensiunile mici (milimetrice sau chiar sub-milimetrice) au impus denumirea de “microplasmă”.

În ultimii ani microplasmă la presiune atmosferică sub formă de micro-sferă (“plasma needle”) sau micro-jet (“plasma pencil”, “plasma plume”) au fost obținute în câmpuri electromagnetice de radio-frecvență. Deși aceste cercetări au condus la multe rezultate valoroase, există totuși o problemă dificil de depășit : menținerea temperaturii macroscopice a plasmei în limite acceptabile, în condițiile în care sarcina electrică “văzută” de generatorul de radio-frecvență este variabilă (fiind dependentă de distanța până la obiectul tratat, de starea suprafeței tratate, etc.). O mică abatere a acestei sarcini electrice de la valoarea optimă

conduce la dezadaptarea generatorului de radio-frecvență și în consecință la o supraîncălzire nepermisă a microplasmei.

Problema enunțată poate fi eliminată printr-o tehnică nouă, care constituie esența prezentei propuneri de proiect: utilizarea, pentru producerea plasmelor reci la presiune atmosferică, a impulsurilor de înaltă tensiune (zeci de kV), scurte (zeci, sute de nano-secunde), repetitive (zeci, sute de impulsuri pe secundă). Impulsurile se aplică între doi electrozi metalici, de diverse forme, separați sau nu de o barieră din material dielectric. Are loc o descărcare electrică într-o incintă, prin care circulă un flux de gaz la presiune atmosferică. Incinta are un orificiu (ajutaj) prin care plasma descărcării este expulzată în exterior. În condiții optime, plasma este emisă sub formă de jet, cu lungimi de ordinul centimetrilor, dar cu diametre milimetrice sau sub-milimetrice (a se vedea fotografiile din Figura 5). Întrucât zona plasmei de descărcare este separată spațial de zona de tratament, sarcina electrică pentru generatorul de impulsuri de înaltă tensiune este practic constantă, existând adaptare și transfer energetic maxim posibil.

Ținând seamă de aceste considerații, a fost normal ca primul obiectiv al proiectului să fie *“Realizarea generatorului de impulsuri de înaltă tensiune, care alimentează dispozitivul emițător de jeturi de plasmă rece la presiune atmosferică”*.

Activitățile asociate acestui obiectiv au fost:

1. Proiectare, elaborare, realizare model experimental.
2. Determinarea performanțelor modelului experimental.
3. Demonstrarea utilității modelului experimental pentru obținerea de jeturi de plasmă rece pulsată la presiune atmosferică.

1. A fost proiectat, elaborat și realizat un model experimental al generatorului de impulsuri electrice repetitive, de înaltă tensiune, care alimentează dispozitivul emițător de jeturi de plasmă rece la presiune atmosferică. Acesta este compus din (Fig. 1):

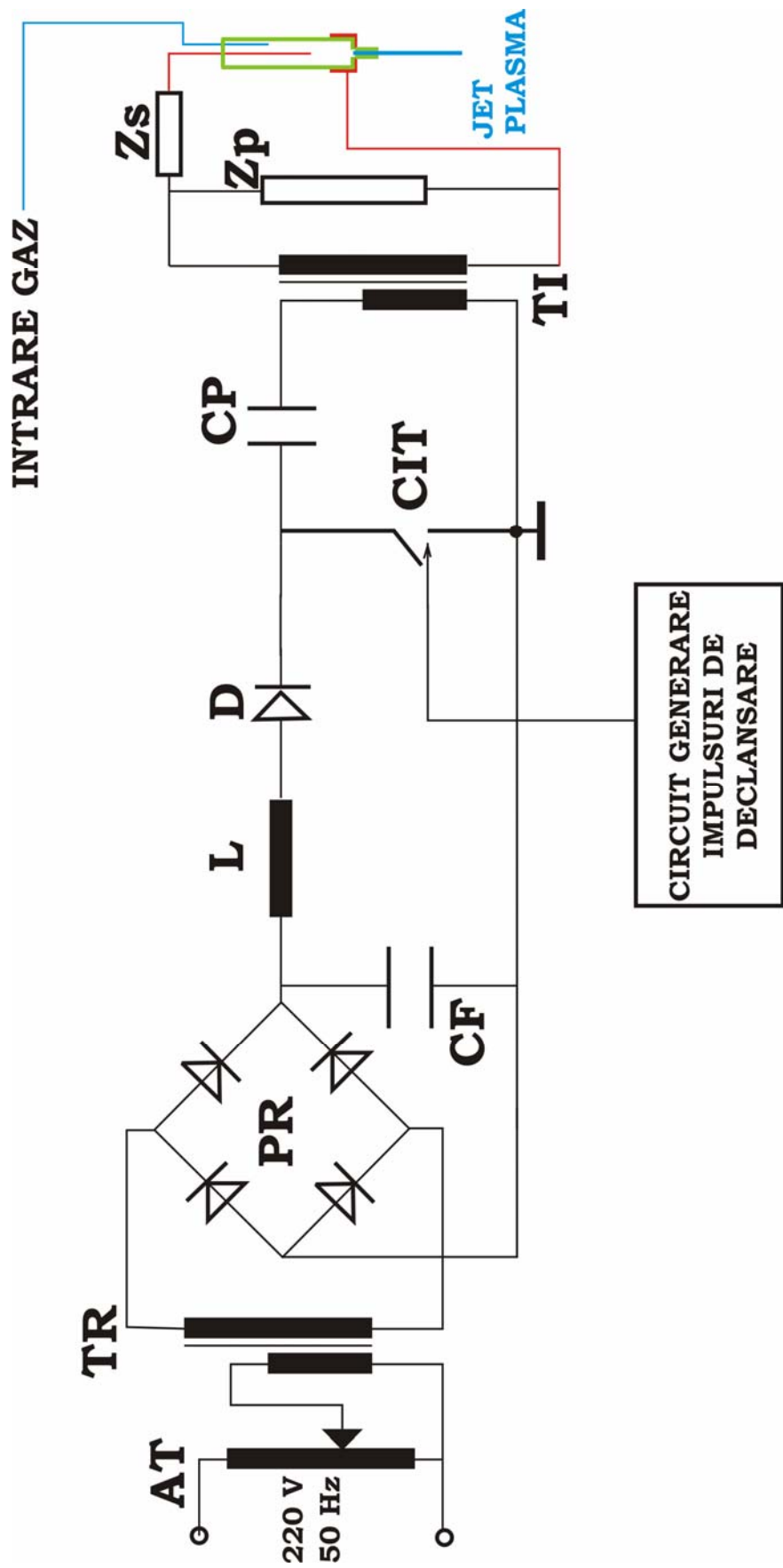
- Redresor de înaltă tensiune continuă.
- Circuit de încărcare rezonantă a capacității de acumulare primară a energiei de impuls.
- Comutator de înaltă tensiune (cu sau fără circuit de declanșare).
- Transformator de impulsuri de înaltă tensiune.
- Circuit final de adaptare a generatorului la sarcina reală.

Redresorul de înaltă tensiune continuă este alimentat de la rețeaua de 220 V/50 Hz prin intermediul unui autotransformator AT, care furnizează tensiuni alternative variabile de intrare. Urmează un transformator ridicător TR de tensiune alternativă de 50 Hz. Tensiunea alternativă amplificată în acest fel este redresată cu puntea redresoare PR, care conține 4 diode de înaltă tensiune de tip ROR 15-1 (15 kV, 1 A). Componenta finală este capacitatea de filtraj CF. Tensiunea continuă redresată poate fi reglată de la zero până la valoarea de 10 kV, ceea ce asigură plaja necesară de valori pentru amplitudinile impulsurilor de înaltă tensiune.

Capacitatea CP de acumulare primară a energiei de impuls este încărcată rezonant, prin intermediul circuitului L – D. La finalul procesului de încărcare, pe capacitatea CP se obține o tensiune dublă față de tensiunea pe CF. Inductanța L asigură încărcarea capacității CP în cel mult 1 ms. În acest fel, frecvența de repetiție maxim posibilă este de 1000 de impulsuri pe secundă.

Capacitatea de acumulare primară a energiei de impuls (CP) poate fi modificată în trepte a câte 5 nF, deoarece se dispune de condensatoare de 5 nF/43 kV. Sistemul realizat permite lucrul cu 1 până la 5 condensatoare conectate în paralel. Valoarea maximă a energiei acumulate este de ordinul a 1 J/puls.

Comutatorul de înaltă tensiune și transformatorul de impulsuri de înaltă tensiune constituie componentele cheie ale generatorului.



**Fig.1.** Schema electrica a modelului experimental al generatorului de impulsuri electrice repetitive, de inalta tensiune, care alimenteaza dispozitivul emitor de jeturi de plasma rece pulsata la presiune atmosferica.

Comutatorul de înaltă tensiune CIT asigură descărcarea capacității CP pe primarul transformatorului de impulsuri de înaltă tensiune TI.

Comutatorul de înaltă tensiune trebuie să suporte în stare blocată tensiuni de până la 20 kV, iar în conducție să permită trecerea, de sute de ori pe secundă, a unor impulsuri de curent de sute, chiar mii de A. Pentru acest comutator pot fi utilizate tiratroane sau eclatoare (simple sau cu circuit de declanșare).

Tiratroanele au avantajul unei funcționări reproductibile, dar limitează amplitudinea impulsurilor de curent de descărcare.

Eclatoarele sunt mai puțin sensibile la amplitudinea impulsurilor de curent, dar funcționarea este mai puțin reproductibilă, în special în cazul eclatoarelor simple, cu auto-declanșare.

Au fost realizate ambele variante de generator, din punct de vedere al comutatorului utilizat: a) Varianta cu tiratron; b) Varianta cu eclator.

#### a) Varianta cu tiratron

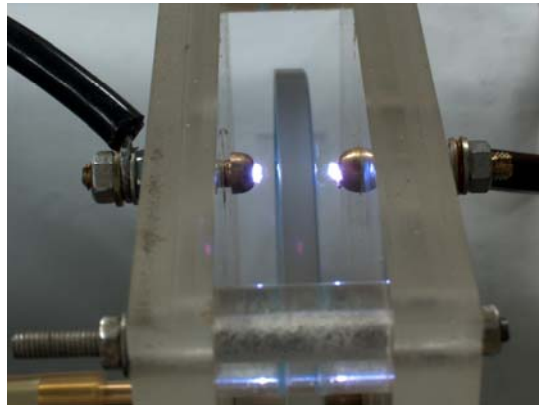
Comutatorul de înaltă tensiune este un tiratron de tip TGI 1000/25, cu tensiune inversă maximă de 25 kV și curent maxim de impuls de 1 kA. Curentul mediu poate fi de cel mult 1 A. Generatorul realizat în această variantă cuprinde și circuitul de generare a impulsurilor de declanșare ale tiratronului, precum și circuitul de alimentare a filamentului tiratronului. În Fig. 2 a) se pot vedea componentele esențiale ale acestei variante de generator: tiratronul (cilindrul roz), capacitatea de acumulare primară a energiei (cilindrii alb-crem), precum și transformatorul toroidal de impulsuri de înaltă tensiune. Fig. 2 b) prezintă ansamblul generatorului.



**Fig. 2.** a) Componentele esențiale ale modelului experimental al generatorului de impulsuri electrice repetitive, de înaltă tensiune, care alimentează dispozitivul emițător de jeturi de plasmă rece la presiune atmosferică.  
b) Ansamblul generatorului de impulsuri electrice repetitive, de înaltă tensiune:  
modulul albastru – generatorul propriu-zis;  
modulul galben: generatorul impulsurilor de declanșare tiratron.

b) Varianta cu eclator

Comutatorul de înaltă tensiune conține electrodul fix de înaltă tensiune și electrodul fix de masă. Ambii acești electrozi au formă semi-sferică, cu diametrul de 8 mm. Distanța inter-electrozi este de 14 mm. Străpungerea electrică între cei doi electrozi apare atunci când între ei apare electrodul mobil, realizat din sârmă de wolfram cu diametrul de 1 mm. În această situație, distanța dintre electrozi se reduce la două intervale a câte 0,3 mm, care asigură apariția străpunerii electrice. Există 4 electrozi mobili, montați într-un disc rotativ de plexiglas, pe un cerc cu diametrul de 97 mm. Rotirea discului se face cu un motor electric. În Fig. 3, este prezentată fotografia eclatorului rotativ, în timpul funcționării.



*Fig. 3. Fotografia eclatorului rotativ, în timpul funcționării.*

Transformatorul de impulsuri de înaltă tensiune TI (Fig. 1) este utilizat pentru obținerea unor impulsuri de zeci de kV amplitudine. De importanță esențială este asigurarea unui cuplaj magnetic primar-secundar cât mai bun. Pentru aceasta s-au utilizat fie bobinaje multifilare (mai multe conductoare bobinate în paralel, dar cu conexiuni în serie), fie o structură de transformator cu cablu coaxial.

Ambele tipuri de bobinaje sunt realizate pe același tip de miez magnetic, construit din bandă de 23  $\mu\text{m}$  grosime, cu izolație interlaminară de 4  $\mu\text{m}$ . Materialul magnetic este amorf ("sticlă magnetică"), cu codul Metglas 2605 CO (fabricant: Allied Signal Inc., SUA). Datele geometrice sunt: Diametru exterior: 172,2 mm; Diametru interior: 110 mm; Înălțime: 25 mm; Secțiune transversală magnetică efectivă: 5,97  $\text{cm}^2$ ; Inducția de saturație: 1,6 T; Inducția remanentă: 1,5 T. Din ultimele două date rezultă că acest miez magnetic are un ciclu histerezis practic dreptunghiular.

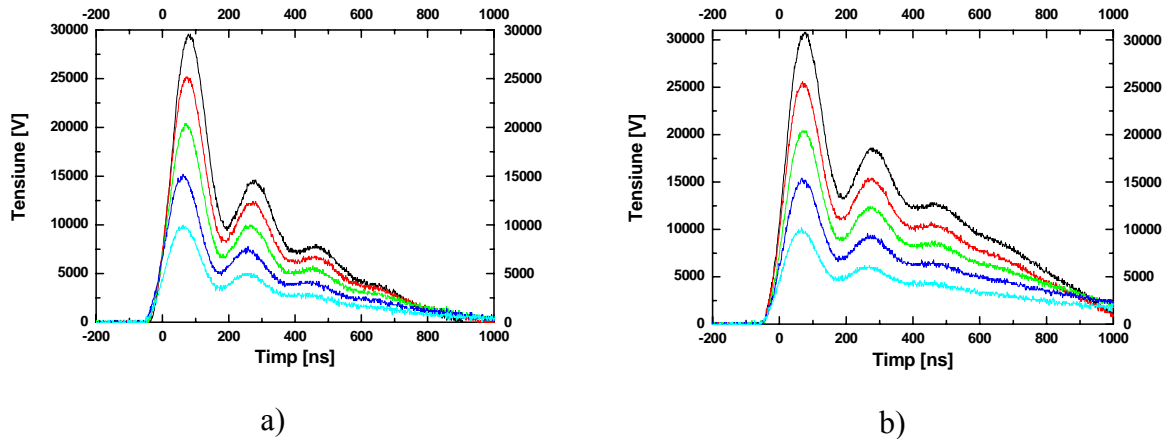
Primul tip de transformator de impulsuri de înaltă tensiune este realizat cu 5 conductoare bobinate în paralel, bobinajul având 25 de spire. Prin înserierea celor 5 conductoare, se realizează un autotransformator, cu raport de transformare 1:5 (primarul este constituit dintr-o singură secțiune din cele 5 înseriate).

Al doilea tip de transformator de impulsuri de înaltă tensiune este realizat cu cablu coaxial. Pe miezul magnetic sunt bobinate cu cablu coaxial două secțiuni a câte 20 de spire. Tresele celor 2 secțiuni sunt conectate în paralel și constituie primarul transformatorului de impulsuri. Acest primar este înseriat cu conductoarele centrale ale celor 2 secțiuni de bobinaj, rezultând astfel un raport de transformare de 1:3. Construcția asigură un cuplaj magnetic mai bun decât la primul tip de transformator de impulsuri.

În decursul desfășurării experimentelor, vor fi stabilite valorile optime pentru circuitul final de adaptare a generatorului la sarcina reală. Acest circuit (Fig. 1) este compus din impedanțele  $Z_P$ ,  $Z_S$ .

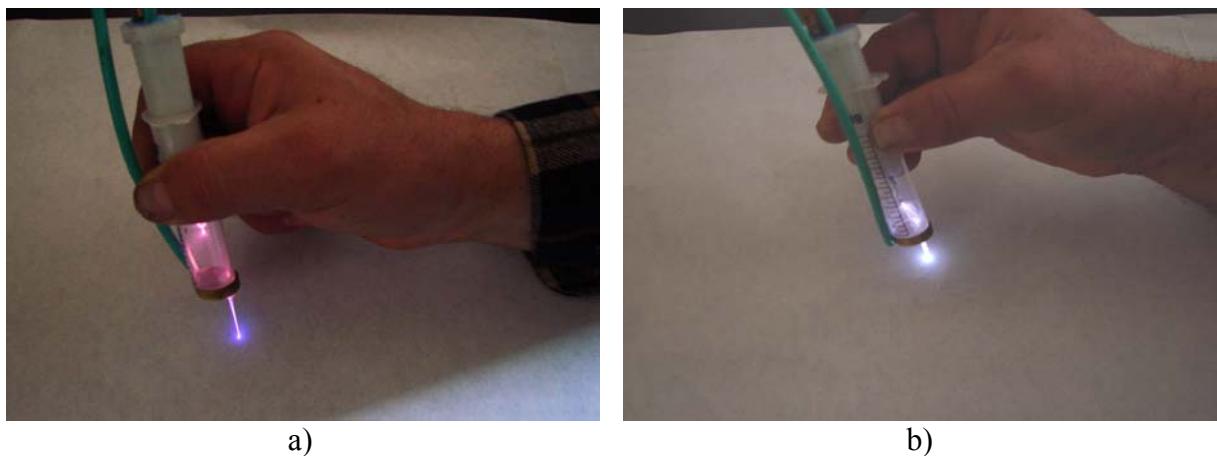
2. Performanțele modelului experimental realizat au fost determinate atât la funcționare pe sarcină rezistivă, cât și la funcționarea pe sarcină reală – dispozitivul de producere a jeturilor de plasmă pulsată la presiune atmosferică.

Impulsurile de înaltă tensiune obținute pe o sarcină rezistivă de 1 k $\Omega$ , sunt prezentate în Fig. 4 (a, b) în condițiile în care capacitatea de acumulare primară a energiei (CP – Fig. 1) este de 10 nF, respectiv de 20 nF. Este demonstrat experimental că pot fi obținute impulsuri cu amplitudinea de până la 30 kV, cu durate de sute de nano-secunde. Frecvența maximă de repetiție a impulsurilor este de 220 de impulsuri pe secundă, cu mult mai mare decât cea care va fi utilizată în experimentele pe sarcină reală.



**Fig. 4.** Impulsurile de înaltă tensiune obținute cu modelul experimental de generator realizat. Capacitatea de acumulare primară a energiei (CP) = a) 10 nF; b) 20 nF.

3. Ultima activitate din cadrul actualei etape a constat în testarea generatorului de impulsuri repetitive de înaltă tensiune pe o sarcină reală: o primă structură generatoare de jeturi de plasmă non-termică pulsată la presiune atmosferică. Figura 5 (a, b) constituie dovada utilității modelului experimental realizat pentru obținerea de jeturi de plasmă rece pulsată la presiune atmosferică. Generatorul de jeturi de plasmă rece pulsată la presiune atmosferică este constituit dintr-o simplă seringă medicală, în pistonul căreia am montat un vârf metallic. Prin pistonul seringii se introduce gazul care constituie mediul descărcării. Experimentele au fost efectuate cu Helium (Fig. 5a) și Argon (Fig. 5b). Descărcarea are loc între vârful metallic și un inel metallic montat pe exteriorul seringii. Au fost utilizate impulsurile de tensiune de forma prezentată în Fig. 4, care au avut o amplitudine de 15 kV și o frecvență de repetiție de



**Fig. 5.** Demonstrarea utilității modelului experimental de generator de impulsuri repetitive de înaltă tensiune pentru obținerea de jeturi de plasmă rece pulsată la presiune atmosferică. a) Gaz de lucru : Helium ; b) Gaz de lucru : Argon.

50 de impulsuri pe secundă. Pistonul siringii permite modificarea simplă a distanței dintre electrozi. Obținerea jeturilor de plasmă cu doar 15 kV amplitudine demonstrează că generatorul realizat are rezerve suficiente pentru testarea de diverse structuri, care pot necesita amplitudini mai mari de tensiune. Este de remarcat de asemenea faptul că structura generatoare de jeturi de plasmă este manevrabilă manual, deși este alimentată cu impulsuri de înaltă tensiune. Acest lucru constituie un avantaj extrem de important pentru aplicații.

**Director Proiect,**

**Dr. Ing. Nicolae GEORGESCU**