

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Științe Fundamentale și Inginerești



**REZUMAT AL TEZEI DE
DOCTORAT CU TITLUL:
STUDIUL ȘI MODELAREA UNOR
DESCĂRCĂRI ELECTRICE DE TIP PLASMĂ
RECE LA PRESIUNE ATMOSFERICĂ. SURSE
DE ALIMENTARE PENTRU PRODUCEREA
ACESTORA**

**Doctorand,
Ing. Cristian – Victor Lungu**

**Conducător științific,
Prof. dr. ing. habil. Bogdan HNATIUC**

**Seria I3 Nr6
GALAȚI, 2022**

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați
Școala doctorală de Științe Fundamentale și Inginerești



REZUMAT AL TEZEI DE
DOCTORAT CU TITLUL:
STUDIUL ȘI MODELAREA UNOR DESCĂRCĂRI
ELECTRICE DE TIP PLASMĂ RECE LA PRESIUNE
ATMOSFERICĂ. SURSE DE ALIMENTARE PENTRU
PRODUCEREA ACESTORA

Doctorand ing. Cristian – Victor LUNGU

Președinte comisie: Prof. dr. ing. habil. Marian BARBU
Universitatea “Dunărea de jos” din Galați

Conducător științific, Prof. dr. ing. habil. Bogdan HNATIUC
Universitatea Maritimă Constanța

Referenți științifici: Prof. dr. ing. Radu BURLICĂ
Universitatea Tehnică „Gheorghe Asachi” din Iași

Conf. dr. ing. Sorin – Robertino SINTEA
Universitatea Maritimă Constanța

Conf. dr. ing. Ciprian VLAD
Universitatea “Dunărea de jos” din Galați

Seria I3: Inginerie Electrică Nr. 6

GALAȚI

2022

CAPITOLUL 1. Descărcări de tip plasmă rece, amorsare, evoluție și menținere

Materia se găsește în natură sub forma a patru stări de agregare. Cele mai cunoscute sunt trei dintre ele, anume stările lichidă, solidă și gazoasă. Cea de a patra stare de agregare a materiei este plasma. La temperaturi foarte înalte, moleculele absorb o cantitate foarte mare de energie, acest lucru făcându-le să se deplaseze într-un mod dezordonat. Cu energia absorbită, ele se pot descompune în atomi, iar din cauza deplasărilor dezordonate, acești atomi se pot descompune în ioni și electroni. Astfel, încălzirea excesivă a materiei este mereu însoțită de ionizare, mediul rămânând neutru din punct de vedere electric. Această stare ionizată poartă numele de plasmă, [1], [2], [3], [4], [5], [6].

Plasma este un amestec de gaze format din particule neutre și particule încărcate electric. Ponderele acestora este destul de mare pentru a conduce interacțiunile electromagnetice la un comportament colectiv al ansamblului de particule, [1], [2], [3], [4], [5], [6].

Energia necesară tranziției de la starea gazoasă, la starea de plasmă, este produsă de un câmp electric accelerator de electroni liberi. Acesta este principalul mecanism determinant al tranziției gaz-plasmă și este dominat de ciocniri, [1], [2], [3], [4], [5]. Un exemplu foarte bun este tubul fluorescent, deoarece, una din cele mai întâlnite aplicații ale plasmei este folosirea acesteia ca sursă de radiație luminoasă. Descărcarea electrică în gaze, la presiuni relativ mici, formează o coloană de plasmă luminoasă, ocupând o mare parte din lungimea tubului, [1], [2], [3], [4], [5], [6].

1.1. Descărcări electrice de tip plasmă rece

Datorită sarcinilor electrice libere, plasma conduce curentul electric și este puternic influențată de prezența câmpurilor magnetice externe. În urma ciocnirilor dintre electroni și atomi pot apărea fenomene de excitare a atomilor, urmate de emisie de radiație electromagnetică. Atunci când energia electronilor este suficient de mare, atomii sunt ionizați, putându-se obține noi sarcini, pozitive și negative, [7], [10], [11], [12].

În Figura 1.4. este reprezentată caracteristica tensiune – curent, $U(I)$, zonele 1, 2, 3, 4 din Figura 1.4. corespund descărcărilor de tip plasmă non-termică iar zona 5 corespunde plasmei termice numită și arc electric. Se pot identifica tipurile posibile de descărcări electrice denumite „plasmă rece” dintre care se amintesc: descărcări de tip Corona, descărcări luminescente, descărcări electrice alunecătoare (GlidArc), [6], [14], [15].

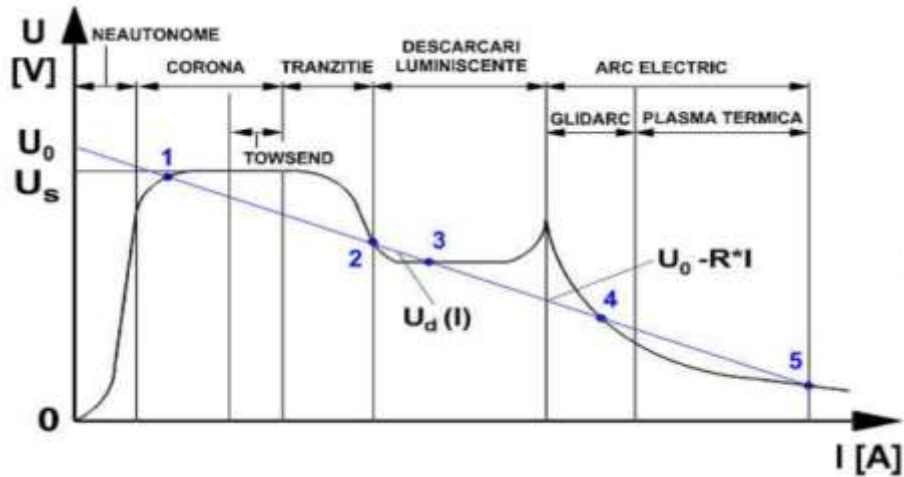


Figura 1.3. Poziționare descărcări electrice în regim staționar în raport cu caracteristica volt-ampere, [7], [15]

În Tabelul 1.1. sunt prezentați principalii parametri și condițiile de amorsare a descărcărilor electrice pentru diferite tipuri de descărcări, [7], [15].

Tabelul 1.1. Tipuri de descărcări, [7]

Tipul descărcării	U , [kV]	I , [A]	P , [atm]	T , [k]	χ	J, [A/cm ²]
Corona	>10	<10 ⁻⁵	1	500	<10 ⁻⁶	10 ⁻⁹
DBD	100	<10 ⁻³	1	500	<10 ⁻⁵	10 ⁻⁵
Luminescentă	5	0,1	1	<500	<10 ⁻⁴	10 ⁻³
GlidArc	5-20	1	1	2000	<10 ⁻²	1-10 ²
Arc electric	0,03-0,05	10-10 ³	1	>10000	10 ⁻² -1	10 ² -10 ⁴

U - tensiunea

I - curentul

P - presiunea

T- temperatura

χ - factor de recombinare

J - densitatea de curent

1.2. Menținerea și autonomia descărcărilor

1.2.1. Arcul electric de curent continuu

Manifestarea autonomă a descărcărilor înseamnă menținerea acestora, chiar dacă fenomenele de ionizare inițiale, ce stau la baza amorsării lor, încetează, [11], [13].

Caracteristicile volt – amper ale arcului electric pot fi statice sau dinamice, după cum viteza de variație a intensității curentului prin arc este foarte mică (în particular nulă) sau, dimpotrivă, are valori mari, [11], [13].

În Figura 1.5. sunt reprezentate caracteristicile volt-amper statice ale unui arc electric de c.c. , obținute pentru diferite lungimi constante ale coloanei. În Tabelul 1.2 sunt indicate valorile coeficienților din ecuația lui H. Ayrton, [11], [13].

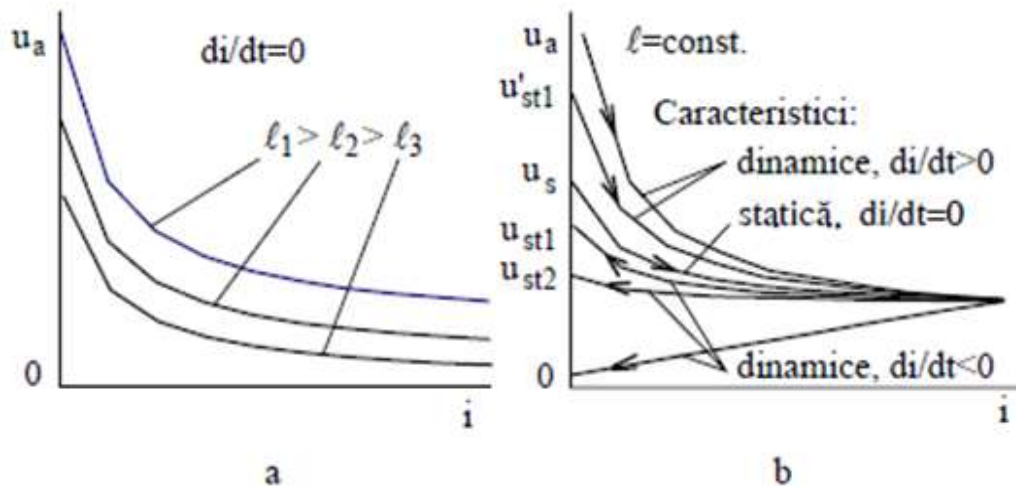


Figura 1.4. Caracteristicile arcului electric de curent continuu , [11]

a - statice b – dinamice

În acest sens, este cunoscută funcția de aproximare dată de Ayrton, având expresia, [11], [16]:

$$u_a(i) = a + \frac{b}{i} \quad (1.8)$$

Unde:

$$a=\alpha+\gamma l, b=\beta+\delta l \quad (1.10)$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$, fiind constante, iar l – lungimea coloanei arcului electric.

Utilizată în calcule este și funcția de aproximare propusă de Nottingham, [11]:

$$u_a(i) = a + cl + (b + dl)i^{-n} \quad (1.11)$$

unde a, b, c, d sunt constante, iar l lungimea coloanei arcului electric. Exponentul n se calculează cu relația, [11] :

$$n = 2,62 \cdot 10^{-4}T \quad (1.12)$$

unde T este temperatura de vaporizare a anodului, în grade absolute.

Tabelul 1.2. Valorile coeficienților din funcția Ayrton, [11]

Materialul l	Coeficientul			
	α , [V]	β , [VA]	γ , [V/m]	δ , [VA/m]
Cupru	30	10	1000	3000
Carbon	39	11,7	21	105

Independența căderilor de tensiune la electrozi în raport cu lungimea l a coloanei arcului este considerată în funcția Rieder, care are expresia, [11]:

$$u_a(i) = \alpha + (\beta + l)\gamma \left[\ln\left(\frac{i}{\delta}\right) \right]^{-3} \quad (1.13)$$

$\alpha, \beta, \gamma, \delta$, fiind constante.

În Tabelul 1.3 sunt indicate valorile constantelor din funcția Rieder, [11].

Tabelul 1.3. Valorile coeficienților din funcția Rieder, [11]

Material	Coeficientul			
	α , [V]	β , [m]	γ , [V/m]	δ , [A]
Cupru	26	0,013	$5,4 \cdot 10^5$	0,0074
Argint		0,011		
Wolfram		0,016		

1.2.2. Arcul electric de curent alternativ

Spre deosebire de arcul electric de curent continuu, arcul electric de curent alternativ este un proces doar cvasistaționar care, la lungime unitară a coloanei, este caracterizat printr-o ecuație de bilanț al puterilor. Modelarea coloanei de arc se poate face ca în Figura 1.6, [11], [16].

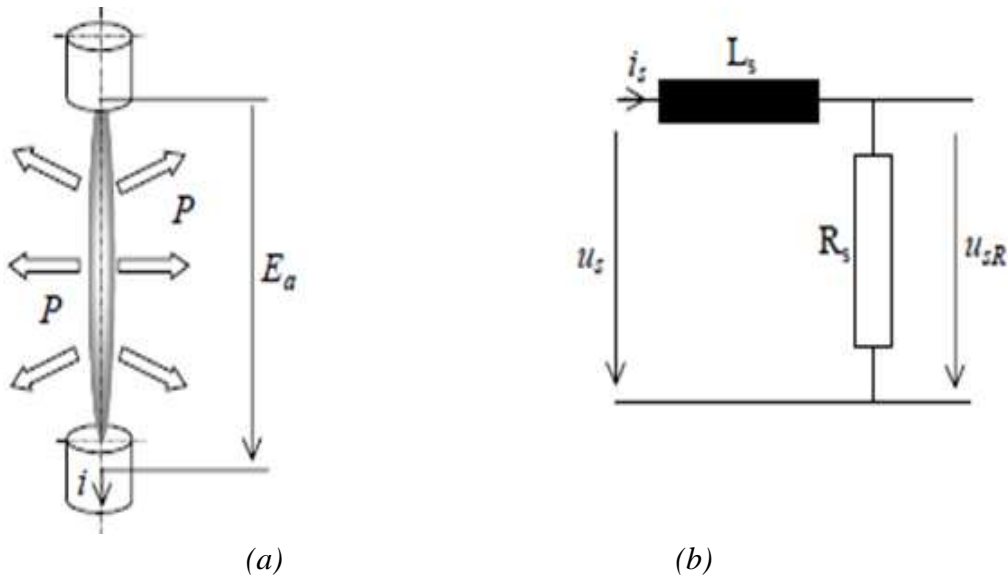


Figura 1.5. Modelarea coloanei de arc, curent alternativ, [11]

- (a) Coloana arcului electric de lungime unitară,
 (b) Schema electrică echivalentă a modelului de conductanță Mayr.
 E_a – tensiunea de arc; i - curentul prin arc;
 P -căldura cedată mediului în unitatea de timp.

Arcul electric lung se caracterizează prin faptul că fenomenele din coloana de arc sunt dominante în raport cu fenomenele ce au loc în vecinătatea pieselor de contact, deci se acceptă de obicei pentru tensiunea de arc, U_a , o relație de forma, [11], [16]:

$$U_a \cong E \cdot l \quad (1.14)$$

Pentru arcul electric lung de curent alternativ fenomenele ce au loc în coloana de arc înainte și după trecerea naturală prin zero a curentului pot fi descrise de relația lui Mayr, ce poate fi dedusă acceptând conductanța arcului electric, $G_a(t)$, ca fiind, [11], [16]:

$$G_a(t) = \frac{i_a(t)}{u_a(t)} = k \cdot e^{\frac{Q}{Q_0}} \quad (1.15)$$

unde $i_a(t)$ este curentul ce parcurge coloana de arc, $u_a(t)$ – tensiunea de arc, Q_0 – cantitatea de căldură existentă inițial în coloana de arc:

$$Q_0 = \tau \cdot p_0 \quad (1.16)$$

τ – constanta de timp termică a arcului electric p_0 – puterea cedată de coloana de arc mediului ambiant, $Q(t)$ – cantitatea de căldură acumulată în coloana de arc:

$$Q(t) = \int_0^t (u_a \cdot i_a - p_0) dt \quad (1.17)$$

Se menționează faptul că pentru a descrie comportarea arcului electric lung, conform ipotezei lui Cassie se propune pentru conductanța $G_a(t)$ o expresie de forma:

$$G_a(t) = k(Q_0 - p_0 \cdot t) \quad (1.18)$$

unde $G_a(\tau) = 0, \tau = \frac{Q_0}{p_0}$,

Considerând relația

$$G_a(t) = \frac{i_a(t)}{u_a(t)} = k \cdot e^{\frac{Q}{Q_0}} \quad (1.19)$$

și acceptând ipoteza lui Mayr, prin aplicarea logaritmilor se obține :

$$\ln i_a(t) - \ln u_a(t) = \ln k + \frac{Q}{Q_0} \quad (1.20)$$

Astfel încât după o derivare, ecuația lui Mayr pentru arc electric lung se scrie:

$$\frac{1}{i_a} \cdot \frac{di_a}{dt} - \frac{1}{u_a} \cdot \frac{du_a}{dt} = \frac{u_a i_a - p_0}{Q_0} \quad (1.21)$$

Prin integrarea acestei ecuații diferențiale se poate regăsi forma caracteristicii dinamice a arcului electric de curent alternativ, pentru valori mari ale curentului de arc, deci pentru valori mici ale pauzei de curent, când este valabilă relația, [11], [16]:

$$i_a(t) = I \cdot \sin \omega \cdot t \quad (1.22)$$

se obține ecuația diferențială neliniară de ordinul I de tip Bernoulli ce definește variația în funcție de timp a tensiunii de arc, $u_a(t)$:

$$\frac{du_a}{dt} - \left(\frac{1}{\tau} + \omega \cdot \cot \omega \cdot t\right) \cdot u_a + \frac{I \cdot \sin \omega t}{\tau p_0} \cdot u_a^2 = 0 \quad (1.23)$$

care se transformă într-o ecuație diferențială liniară de ordinul I folosind substituția:

$$u_a = \frac{1}{z}, \frac{dz}{dt} + \left(\frac{1}{\tau} + \omega \cot \omega t\right) \cdot z = \frac{I \sin \omega t}{\tau p_0} \quad (1.24)$$

cu soluția finală de forma:

$$u_a(t) = \frac{2 \cdot p_0 \cdot \sin \omega \cdot t}{I \cdot \left[1 - \frac{\sin(2 \cdot \omega \cdot t + \varphi)}{\sqrt{1 + 4 \cdot \omega^2 \cdot \tau^2}} \right]}, \quad \varphi = \operatorname{arccctg} 2 \cdot \omega \cdot \tau \quad (1.25)$$

Evoluția în timp a tensiunii de arc, $u_a(t)$, este influențată de valorile produsului ($\omega \cdot \tau$), așa cum se poate urmări în Figura 1.7.

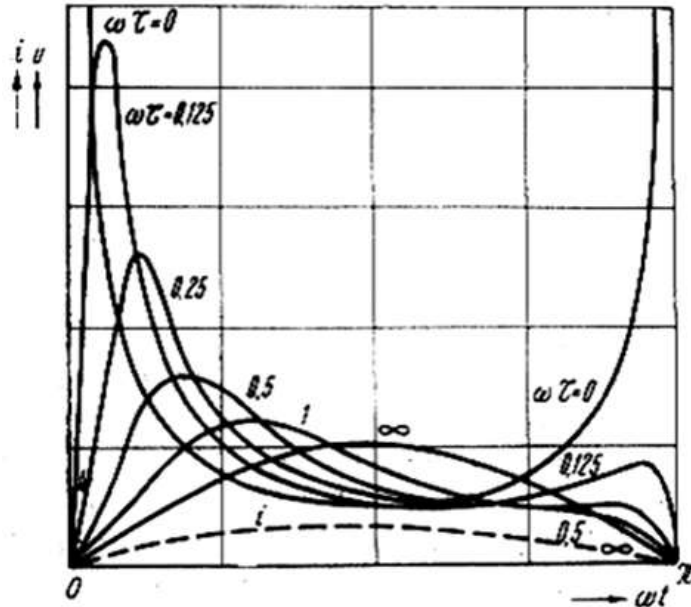


Figura 1.6. Tensiunea arcului electric de c.a., [11]

Se constată în fapt că se deosebesc trei situații distincte :

- valori ($\omega \cdot \tau$) = 0, ceea ce corespunde fie curentului continuu ($\omega = 0$), fie unor deionizări foarte intense, pentru care $\tau = 0$, respectiv $p_0 \rightarrow \infty$, ce implică valori mari ale tensiunii de amorsare a arcului electric, dar și supratensiuni la stingerea acestuia;
- valori ($\omega \cdot \tau$) comparabile cu unitatea, ce evidențiază o caracteristică $u_a(t)$ frecvent întâlnită în funcționarea aparatelor electrice de comutație, prezentând o tensiune de amorsare, U_{am} și respectiv o tensiune de stingere a arcului electric, U_{st} , pentru fiecare semiperioadă a curentului alternativ;
- valori ($\omega \cdot \tau$) $\rightarrow \infty$, ce corespund fie arcului electric liber, $p_0 = 0$, deci $\tau \rightarrow \infty$, fie arcului electric ce intervine la frecvențe ridicate ale tensiunii de alimentare, când acesta se comportă practic liniar, [11], [16].

CAPITOLUL 2. Surse de alimentare pentru descărcări de tip plasmă rece utilizate pentru diferite tipuri de reactoare. Aplicații ale reactoarelor DBD

Descărcările de tip plasmă rece sau non-termică sunt interesante de exemplu pentru aplicații electrochimice sau de decontaminare deoarece ele generează specii active (electroni, ioni, particule excitate, fotoni etc.), având o durată de viață foarte redusă, de ordinul 10^{-5} sec, dar capabile să genereze radicali metastabili (OH^- și NO^+ de exemplu), cu durată de viață mult mai mare, de 10^{-4} ÷ 10^{-3} sec, care pot întreține reacții electrochimice utile, ceea ce nu se întâmplă în cazul plasmei termice, utilizabilă doar dacă se exploatează efectele termice, [17], [18].

Principalele tipuri de descărcări electrice, numite obișnuit plasmă rece datorită temperaturii scăzute a gazului din interiorul lor, sunt următoarele:

- descărcarea electrică Corona;
- descărcarea electrică luminiscentă, respectiv “glow discharge”;
- descărcarea electrică de tip GlidArc, [17], [18], [19].

2.1. Reactor electrochimic de tip DBD

La străpungerea gazului din spațiul dintre electrozi, dielectricul împiedică trecerea la o descărcare de tip arc. Deși descărcarea uniformă spațială în DBD poate fi realizată în anumite condiții, în majoritatea circumstanțelor se va dezvolta o descărcare filamentară. Filamentele nu numai că sunt răspândite pe suprafață, ci apar și pentru o perioadă lungă de timp. Un exemplu: dacă DBD este acționat de o tensiune externă sinusoidală la o frecvență de 100 kHz, filamentele se vor aprinde pe o perioadă de aproximativ 3 μs în fiecare semiciclu, în etape succesive diferite ale tensiunii externe, [21]. În Figura 2.3. este prezentat un reactor cu DBD pentru tratarea lichidelor, [22].

Descărcările de tip DBD se obțin prin separarea a doi electrozi metalici, care pot avea diferite forme, plan – plan sau fir – cilindru, conectați la o sursă de înaltă tensiune, ele manifestându-se prin intermediul unui strat, sau eventual a două straturi de material dielectric (sticlă, ceramică, teflon), [17], [23].

Configurațiile tipice de electrozi ale descărcărilor de barieră dielectrică plană și cilindrică sunt date în Figura 2.4.

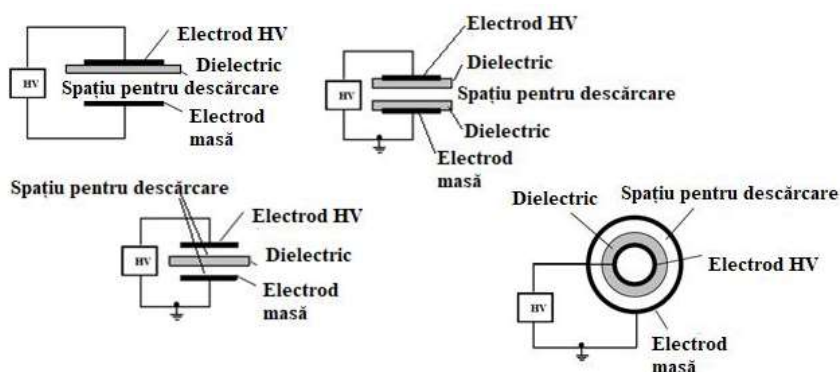


Figura 2.4. Tipuri de reactoare DBD, [9]

DBD-urile sunt caracterizate prin prezența unuia sau mai multor straturi izolante în traseul curent dintre electrozi metalici, în plus față de golul reprezentat de spațiul de descărcare, [9].

2.2. Reactor electrochimic de tip Glid Arc

Schema de principiu simplificată a unui reactor electrochimic cu plasmă rece de tip GlidArc este prezentată în Figura 2.5. Aceasta cuprinde o incintă electroizolantă, de obicei cilindrică, folosită la început pentru depoluarea gazelor în vederea tratării unui volum cât mai mare, [7], [25], [26], [27].

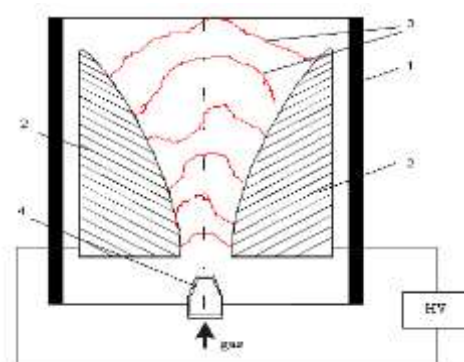


Figura 2.5. Reactor electrochimic de tip GlidArc, [7]

- 1 - incintă electroizolantă,
- 2 - electrozi metalici divergenți,
- 3 - descărcare electrică,
- 4 - duză de injecție a gazului de suflaj

Prin conectarea sursei de înaltă tensiune (HV) la electrozii metalici, între aceștia se amorsează o descărcare electrică, în zona de la bază, caracterizată de distanța minimă de conturare, descărcare care se deplasează pe electrozi, sub acțiunea gazului de suflaj dar și a forțelor electrodinamice de contur, ca și a efectului ascensional al gazelor calde din zona de descărcare, [20], [27], [28]. Gazul de suflaj poate fi aer, azot, oxigen, gaz inert etc., în funcție de aplicația dorită. Viteza relativă de deplasare a descărcării față de aceea a gazului de suflaj este obișnuit de 2-4 m/s, [20], [27].

Capitolul 3. Influența parametrilor electrici ai surselor de alimentare asupra unor aplicații ale descărcărilor de tip plasmă rece

Acest capitol constă în prezentarea unor rezultate obținute cu surse de alimentare care sunt utilizate în obținerea plasmelor reci în laborator. Reactoarele utilizate sunt Glid Arc, mini torța de plasmă și Gliding Spark. Pentru a observa influența parametrilor electrici s-au efectuat diverse tratamente cu plasmă rece pe apă distilată în diferite condiții.

3.1. Surse de alimentare folosite experimental pentru producerea descărcărilor de tip plasmă rece

În acest subcapitol se prezintă limitările și caracteristicile surselor de alimentare folosite experimental. Cel mai frecvent a fost utilizat un transformator construit special pentru astfel de aplicații, sursele de alimentare în impulsuri fiind introduse mai târziu. Pentru aceste aplicații, pe lângă transformatorul ridicător, construcție specială, s-au utilizat 2 surse de alimentare în impulsuri, una construită cu microcontroller-ul AT89S52, [65], și cealaltă construită cu circuitul integrat β AA145, [66].

3.1.1. Alimentarea cu TRAF de la rețea

Alimentarea de la rețea de 230V/50Hz este conectată la primarul unui transformator ridicător de tensiune, de construcție specială, ca de exemplu AUPEM SEFLI AC de 10 kV / 150 mA / 50 Hz, care asigură limitarea curentului în descărcare prin impedanța sa internă. La ieșire transformatorul oferă 10.000 V ca tensiune de funcționare în gol, [17].

Schema pentru această sursă care alimentează de obicei un reactor de tip Glid Arc clasic este prezentată în Figura 3.1.

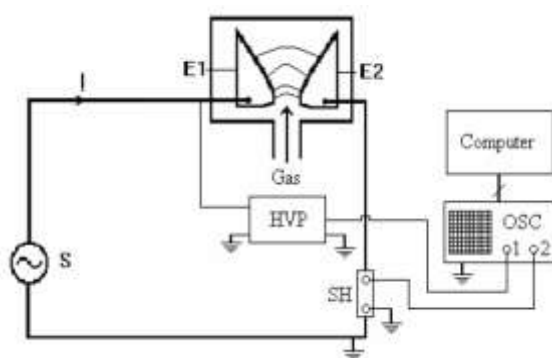


Figura 3.1. Schema conectării unui reactor de plasmă rece la un transformator de înaltă tensiune conectat la rețea, [17]

Pentru această aplicație nu este necesară nici o componentă suplimentară pentru limitarea curentului, deși eficiența energetică este foarte scăzută (aproximativ 16%), [17].

3.1.2. Sursa de alimentare cu $\beta A145$

Sursa de alimentare prezentată în continuare este o sursă în impulsuri construită pe baza circuitului integrat $\beta AA145$. Această sursă de alimentare poate genera impulsuri la o frecvență maximă de 20 kHz, dar transformatorul auto folosit, de tip bobină de inducție, nu funcționează la mai mult de 250 Hz fără a se satura, [67].

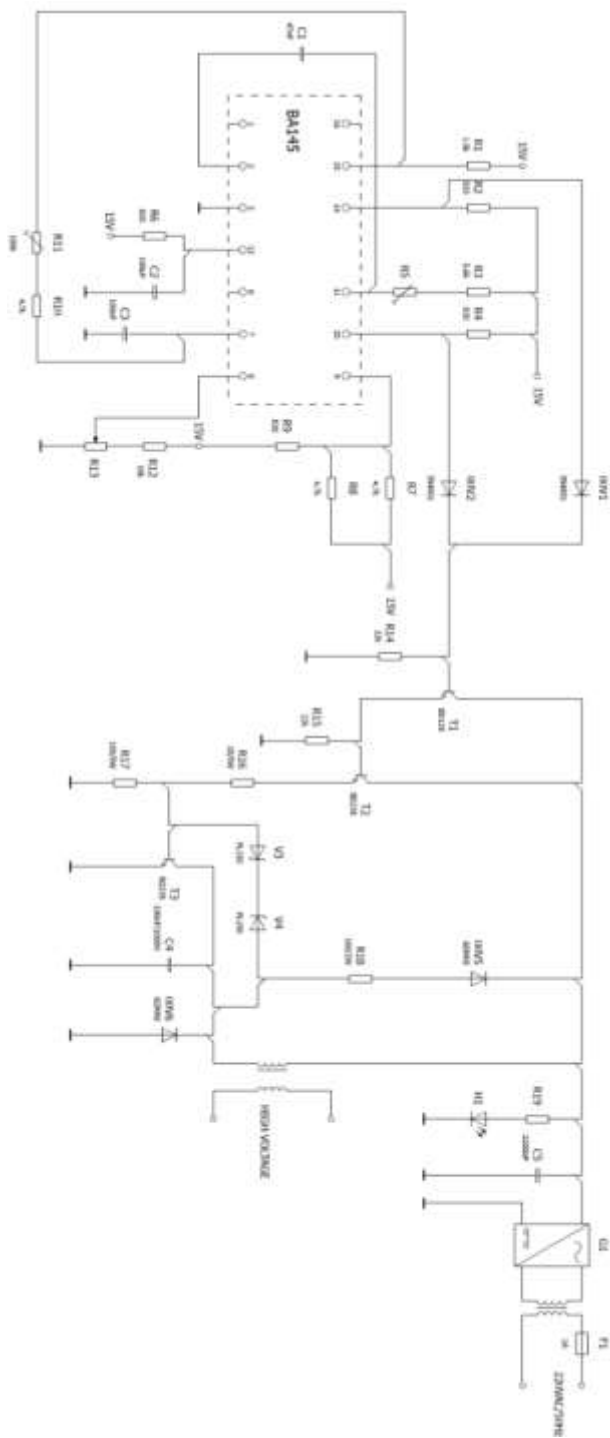


Figura 3.2. Schema sursei de alimentare construită cu ajutorul integratului $\beta A145$, [17]

Lățimea impulsurilor este reglată de potențiometrul $R11$, rezistorul $R10$ și condensatorul $C3$, iar aceasta se poate regla între 0-70% din durata unei perioade, Figura 3.2, [67].

Alimentarea circuitului de comandă este realizată cu o sursă stabilizată dublă de tensiune continuă, de +15V, -15V. Partea de forță este alimentată de la rețea prin intermediul unui transformator de separație, redresată și filtrată cu ajutorul condensatorului $C5$, sau de la aceeași sursă stabilizată ca și partea de comandă.

Pentru circuitul de înaltă tensiune, comanda este dată tranzistorului $T3$ conectat la primarul transformatorului de înaltă prin intermediul unui montaj de tip Darlington format din tranzistoarele $T1$ și $T2$, comandate la rândul lor din pinii 10 și 14 a circuitului integrat, iar tensiunea de referință se regăsește pe pinul 15, [17].

Sursa de alimentare cu $\beta A145$ funcționează împreună cu o bobină auto utilizată inițial la autovehiculele OLTCIT, Figura 3.3. Această bobină suportă de obicei pe comandă frecvențe de ordinul 100 - 200 Hz.

3.1.3. Sursa de alimentare cu AT89S52

Următoarea sursă de alimentare prezentată este una în impulsuri construită în jurul microcontroller-ului AT89S52. Această sursă funcționează la frecvența de 100Hz, datorită limitării transformatorului de înaltă tensiune, [17], [18].

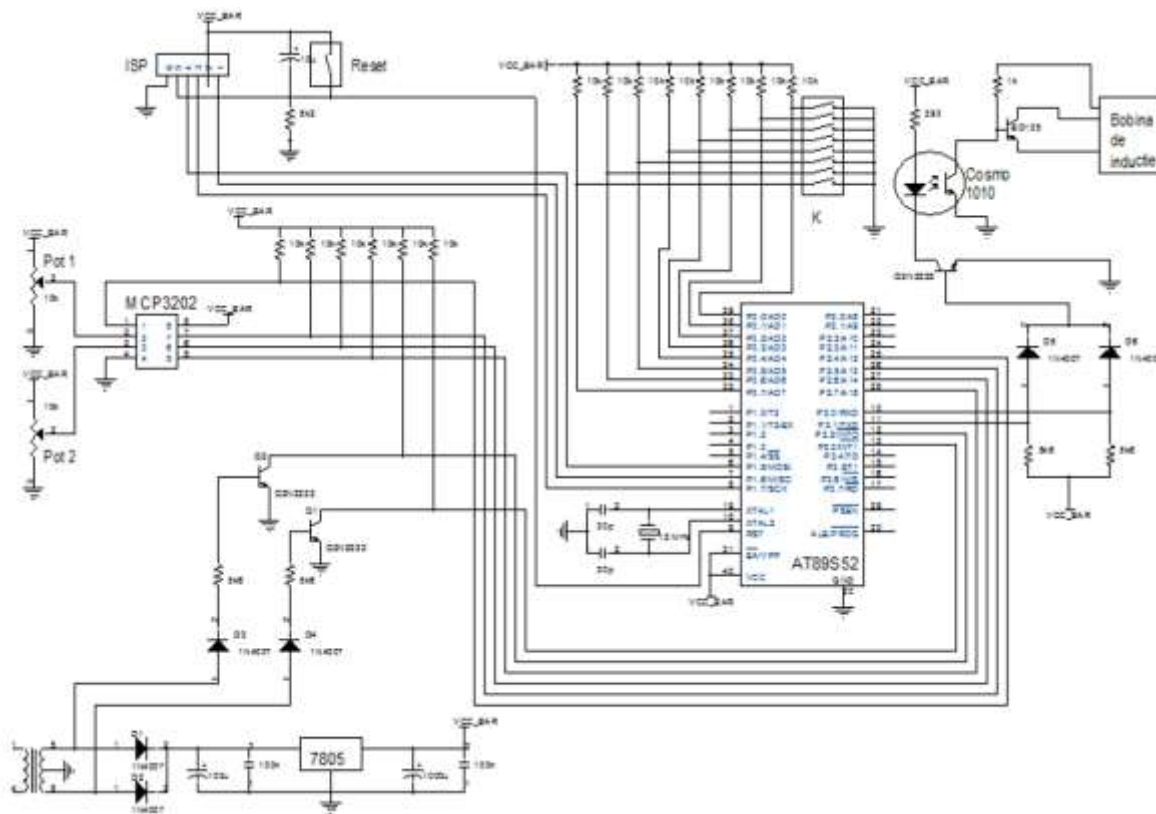


Figura 3.3. Schema sursei de alimentare construită cu microcontroller-ul AT89S52, [17], [18]

Sursa construită în jurul AT89S52 este proiectată pentru producerea descărcărilor de tip spark (scânteie). Pentru alimentarea circuitului cu tensiune stabilizată (pinii 12,13), s-a folosit circuitul integrat LM7805. Circuitul integrat MCP3202 folosit pentru conversia semnalelor analogice de la potențiometrele Pot1 și Pot2 în semnale digitale folosește protocolul SPI de comunicare cu microcontrollerul, pentru citirea valorilor de tensiune de pe 2 potențiometre, considerate ca variabile de intrare și asigurarea conversiei lor în trenuri de impulsuri pe cele 2 ieșiri corespunzătoare ale microcontrollerului, [17], [18].

Pentru comanda tranzistorului de putere, ieșirile microcontroller-ului de pe pinii 10, 11 sunt conectate la un optocuplor care la rândul lui formează un circuit de tip Darlington cu tranzistorul de putere. Circuitul este utilizat împreună cu un traf de linie tip TV sau monitor prezentat în Figurile 3.5 și 3.6.

3.1.4. Sursa de alimentare de înaltă tensiune la frecvența de 30 kHz, tensiune alternativă

Această sursă de alimentare folosită este prezentată în Figura de mai jos (Figura 3.4). Așa cum se poate observa ea a fost destinată producerii de descărcări electrice în tuburi de cuarț ce conțin diferite tipuri de gaze.



Figura 3.4. Specificația sursei de 30 kHz

Această sursă este de curent alternativ funcționează la frecvența de 30 kHz și ieșirea are o tensiune la gol de 8000V. În interiorul acestei surse se află un modulator / convertor de frecvență care ridică valoarea acesteia de la 50 Hz la 30 kHz.

3.2. Tipuri constructive particulare de reactoare utilizate experimental

Datorită explorării plasmelor non-termice în diferite aplicații, această tehnologie este utilizată din ce în ce mai mult datorită avantajelor care includ eficiență mărită de tratament, cost redus și ușurință în utilizare.

3.2.1. GlidArc clasic

Pentru tratamentele cu plasmă, unul din reactoarele utilizate este GlidArc Clasic sau GlidArc I, așa cum a fost denumit anterior. Acesta este prezentat în Figura 3.5. Principalul dezavantaj al acestui reactor este faptul că tratamentul aplicat are o natură disipativă.

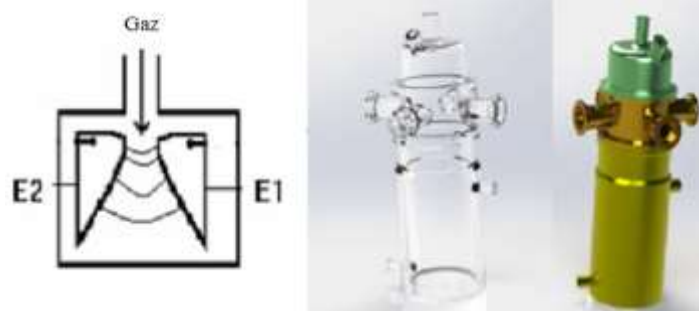


Figura 3.5. Reactor GlidArc, [67], [70]

În scopul creșterii eficacității electrochimice, la utilizarea acestor reactoare s-a trecut de la ansamblurile cu doi electrozi metalici, la realizări cu trei electrozi (sau multiplu de 3 electrozi), preferându-se manifestarea volumică a descărcării electrice utile, atât pentru surse de alimentare monofazate, cât mai ales pentru surse de alimentare trifazate, [67].

3.2.2. Mini-Torță de plasmă

Un alt tip de reactor utilizat este minitorța de plasmă, Figura 3.6. Acest reactor folosește un flux de aer care trece printr-un grilaj metalic cu mai multe găuri. Partea interioară are formă tronconică, de ajutoraj, iar descărcarea se amorsează între electrodul central, de forma unei tije și cel exterior de formă tronconică.



Figura 3.6. Reactor tip torță de plasmă

Această minitorță concentrează fluxul de plasmă printr-o duză.

3.2.3. Reactor tip Gliding Spark

Acest tip de reactor este construit dintr-o cutie metalică, având două racorduri pentru flux de aer și o bujie auto clasică modificată ca incintă principală.



Figura 3.7. Reactor de plasmă Gliding-Spark (Nox Box)

Incinta în care are loc descărcarea are un volum mult mai mic decât reactoarele precedente. Electroful central al bujiei auto este alimentat la potențialul de înaltă tensiune, iar carcasa metalică a reactorului este conectată la potențialul de referință. Fluxul de aer este introdus printr-un racord, iar ieșirea plamei se face prin cel de-al doilea racord [71].

3.3. Influența parametrilor electrici specifici reactoarelor particulare de plasmă rece

În acest subcapitol sunt prezentate graficele parametrilor electrici, curentul electric al descărcării, rezistența descărcării, puterea utilă și energia specifică, în funcție de timp. Acești parametri au fost colectați în următoarele condiții: 2 înregistrări, tensiunea a fost obținută prin divizare la 1000 cu ajutorul unei sonde de înaltă tensiune, iar curentul prin înmulțire cu 5 și divizare la 1.6, ca urmare a utilizării unui shunt. Puterea utilă, rezistența descărcării respectiv energia specifică au fost obținute prin calcul din parametrii mășurați. Prima înregistrare s-a realizat la un debit de 5l/min și a doua la 15 l/min. Distanța măsurată între electrozi a fost de 2mm.

Considerând o aproximare liniară a fenomenelor de combinație și recombinație, volumul de descărcare evoluează liniar în funcție de valorile curentului și tensiunii. Astfel s-a măsurat și calculat, în funcție de dimensiunile fiecărui reactor în parte, volumul pentru descărcarea reactorului tip Glid Arc utilizat ca fiind 5484 mm³, pentru minitorța de plasmă volumul este 126 mm³ și pentru reactorul Gliding Spark volumul descărcării este 262 mm³.

Având în vedere că descărcarea efectivă depinde de parametri precum debitul de gaz, decalajul inter-electrod, lungimea arcului și timpul de evoluție, evoluția descărcării este în concordanță cu variațiile de tensiune și debitele diferite.

3.3.1. Parametrii electrici specifici reactorului Glid Arc

În Figurile 3.8, 3.9, 3.10 și 3.11 sunt prezentate ca evoluție în timp graficele parametrilor electrici ai descărcării utilizând reactorul GlidArc clasic cu un debit de aer de 5 l/min, conectat la transformatorul de înaltă tensiune de tip AUPEM (230V/50Hz – 10000V/50Hz).

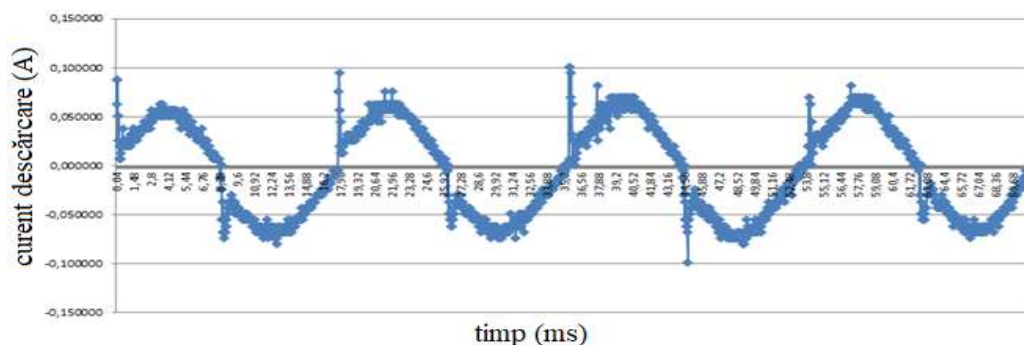


Figura 3.8. Evoluția în timp a curentului electric a descărcării pentru un reactor GlidArc conectat la transformatorul AUPEM și un debit de aer de 5 l/min, [70]

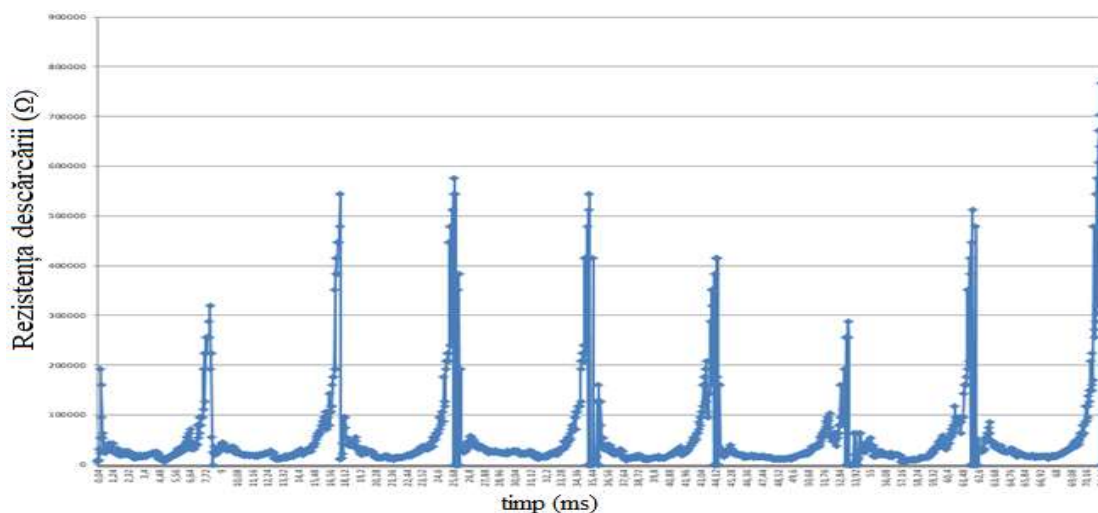


Figura 3.9. Evoluția în timp a rezistenței descărcării pentru un reactor GlidArc conectat la transformatorul AUPEM și un debit de aer de 5 l/min, [70]

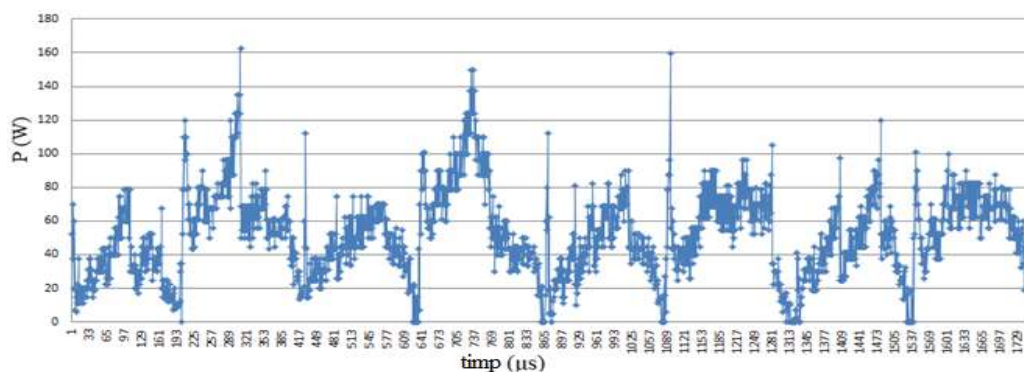


Figura 3.10. Evoluția în timp a puterii electrice pentru reactorul GlidArc, debit de aer de 5 l/min, [67]

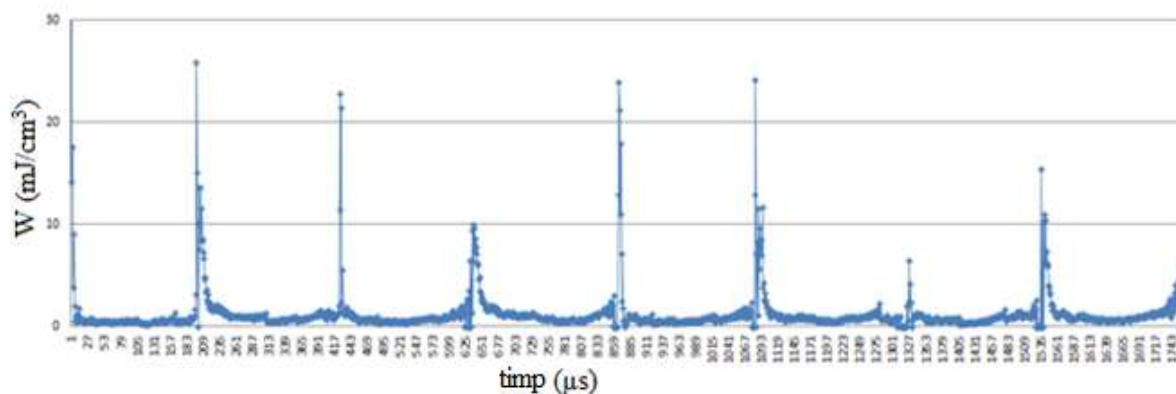


Figura 3.11. Evoluția în timp a energiei specifice pentru reactorul GlidArc, debit de aer de 5 l / min, [67]

În figurile prezentate se observă că evoluția curentului urmărește sinusoida (dată de frecvența și tensiunea rețelei) și prezintă valori de vârf de ordinul miliamperilor.

3.3.2. Parametrii specifici reactorului minitorță

În Figurile 3.12, 3.13, 3.14 și 3.15 sunt prezentate graficele parametrilor electrici putere utilă a descărcării, energie specifică, curent electric al descărcării și rezistența descărcării, utilizând reactorul minitorță de plasmă cu un debit de aer de 5 l / min conectat la transformatorul de înaltă tensiune de tip AUPEM (230V/50Hz – 1000V/50Hz).

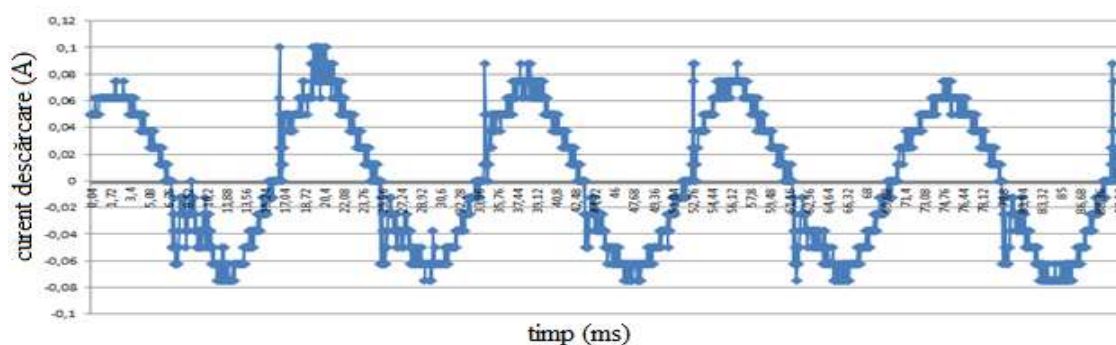


Figura 3.12. Evoluția în timp a curentului electric al descărcării pentru reactorul mini torță, conectată la transformatorul AUPEM, pentru un debit de aer de 5 l / min, [70]

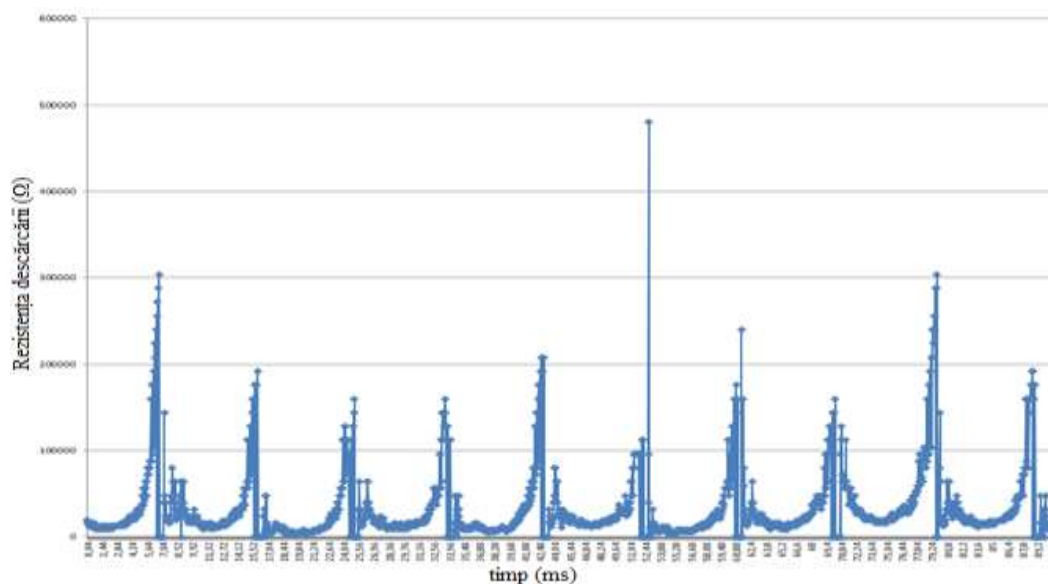


Figura 3.13. Evoluția în timp a rezistenței descărcărilor pentru reactorul mini torță, conectată la transformatorul AUPEM, pentru un debit de aer de 5 l / min, [70]

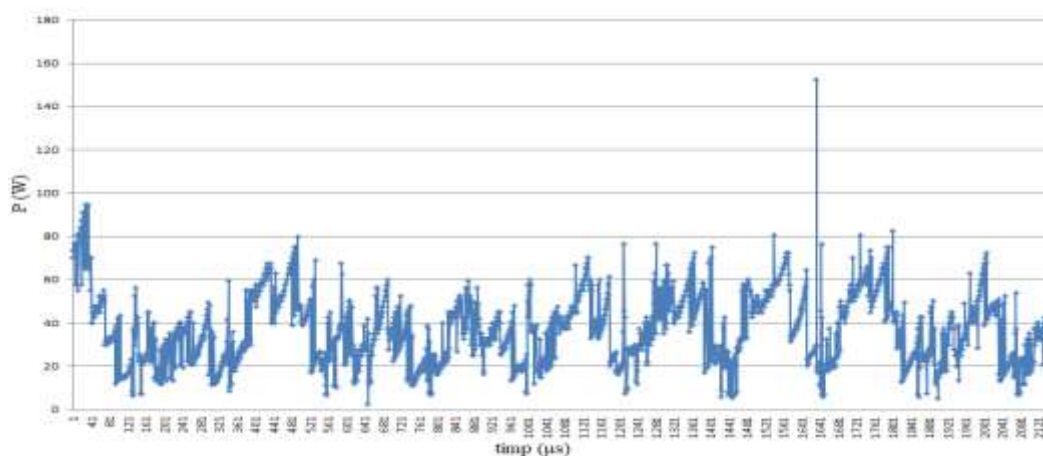


Figura 3.14. Evoluția în timp a puterii electrice pentru reactorul mini torță, debit de aer de 5 l / min, [67]

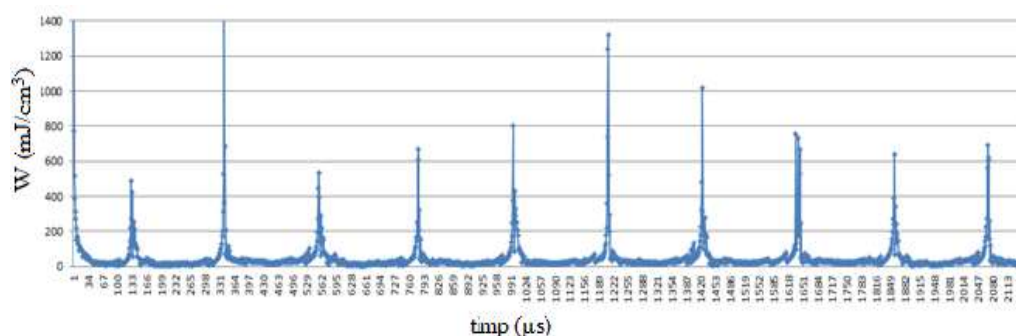


Figura 3.15. Evoluția în timp a energiei specifice pentru reactorul mini torță, debit de aer de 5 l / min, [67]

Figurile prezentate mai sus prezintă evoluția curentului, rezistenței descărcării, puterii electrice și energiei specifice.

3.3.3. Parametrii specifici reactorului Gliding Spark

În Figurile 3.16, 3.17, 3.18 și 3.19 sunt prezentate graficele parametrilor electrici putere utilă, energie specifică, curent electric al descărcării și rezistență a descărcării, utilizând reactorul Gliding Spark (numit și NOx Box) cu un debit de aer de 5 l / min conectat la transformatorul de înaltă tensiune de tip AUPEM (230V/50Hz – 1000V/50Hz).

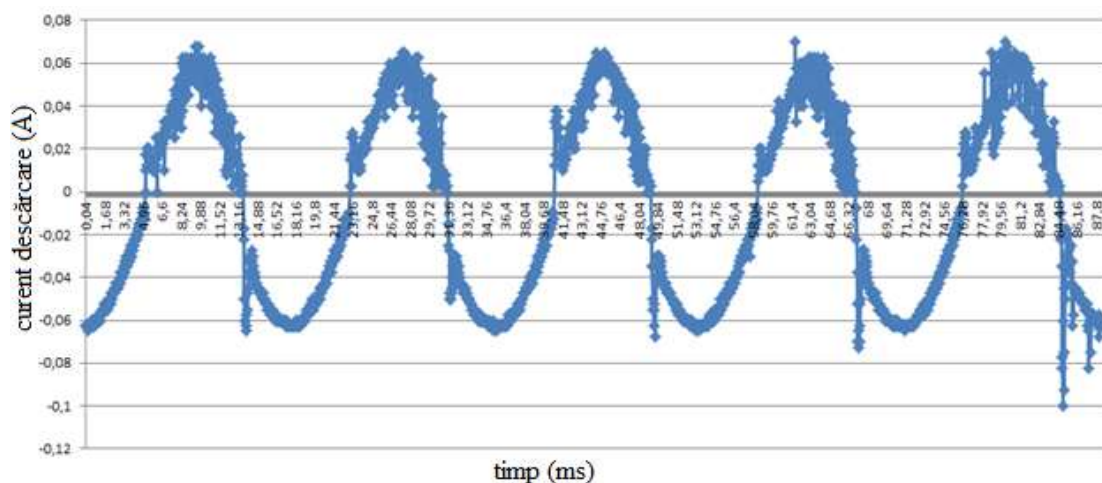


Figura 3.16. Evoluția în timp a curentului electric al descărcării pentru Gliding Spark, debit de aer de 5 l / min, [70]

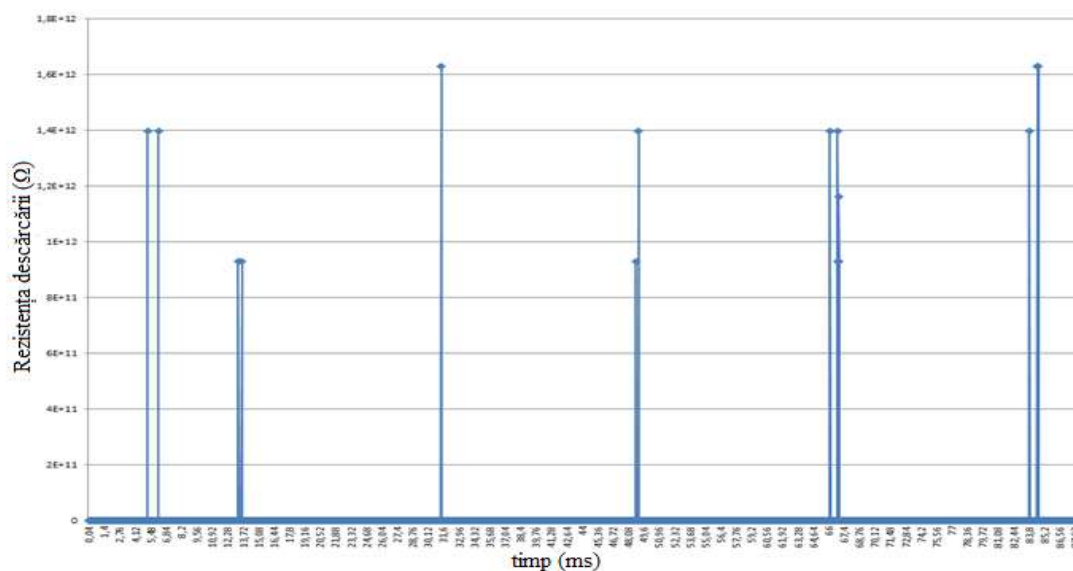


Figura 3.17. Evoluția în timp a rezistenței descărcărilor pentru Gliding Spark, debit de aer de 5 l / min, [70]

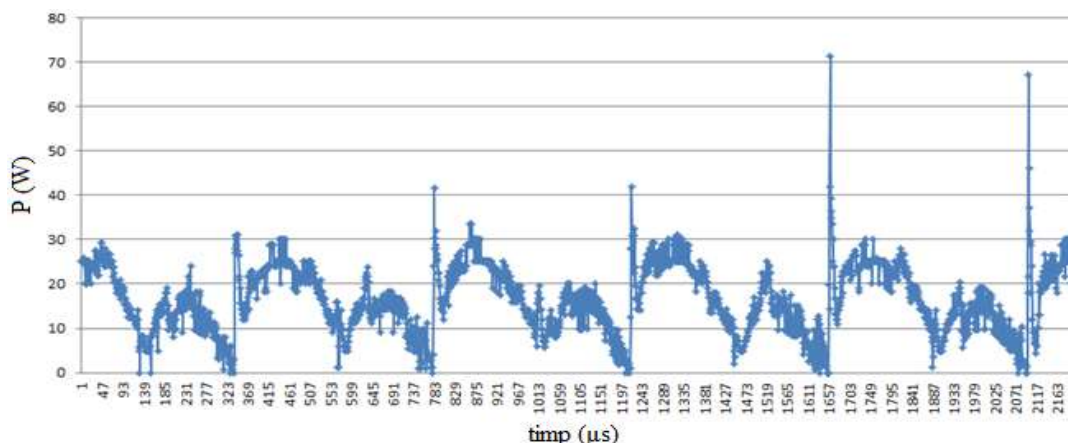


Figura 3.18. Evoluția în timp a puterii electrice utile pentru reactorul Gliding Spark, debit de aer de 5 l/min, [67]

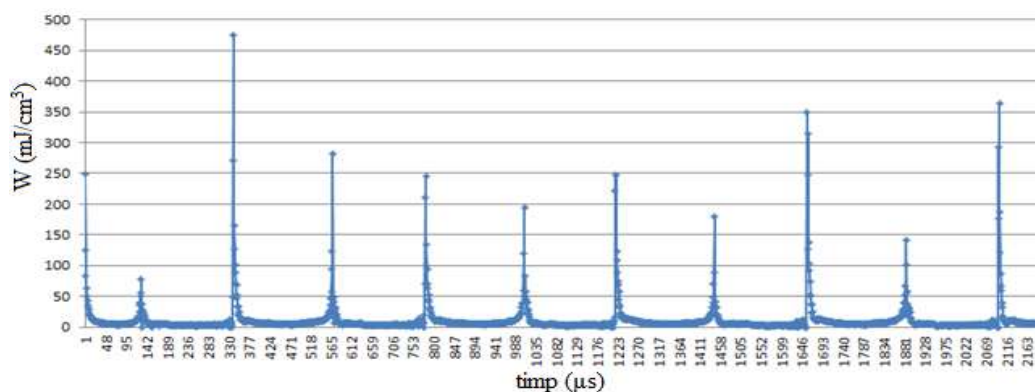


Figura 3.19. Evoluția în timp a energiei specifice pentru reactorul Gliding Spark, debit de aer de 5 l/min, [67]

Curentul prezintă o evoluție aproape sinusoidală și spre deosebire de cazurile precedente nu apar vârfuri de curent.

Studiul parametric arată că, din punct de vedere calitativ, creșterea curentului crește dimensiunea hotspotului electrodului.

Comparativ cu aproximarea utilizată, rezultatele sunt puternic neliniare, așa cum era de așteptat, având în vedere legea lui Paschen și recombinația electron-ion.

Valorile puterii electrice utile sunt cele mai mari în cazul reactorului GlidArc, urmat de reactorul Minitorță și reactorul Gliding Spark.

3.4. Influența parametrilor electrici ai surselor de alimentare asupra parametrilor neelectrici a substanțelor tratate cu reactoare particulare de plasmă rece

Rezultatele experimentale din acest subcapitol au fost obținute în urma tratamentului de activare a apei distilate cu plasmă obținută folosind sursele de alimentare și reactoarele prezentate în subcapitolele 3.1 și 3.2. Primul pas pentru analiza apei distilate a fost stabilirea

unei referințe prin colectarea datelor de la o mostră netratată. S-a folosit analizorul FISHER SCIENTIFIC XL600 pentru măsurarea pH-ului și al potențialului Redox ale soluției.

Primul set de eșantioane colectate sunt prezentate în Figurile 3.20 și 3.21. Ele corespund mostrelor netratate, pentru a evidenția apoi efectele tratamentului cu plasmă folosind diferite reactoare și surse de alimentare.

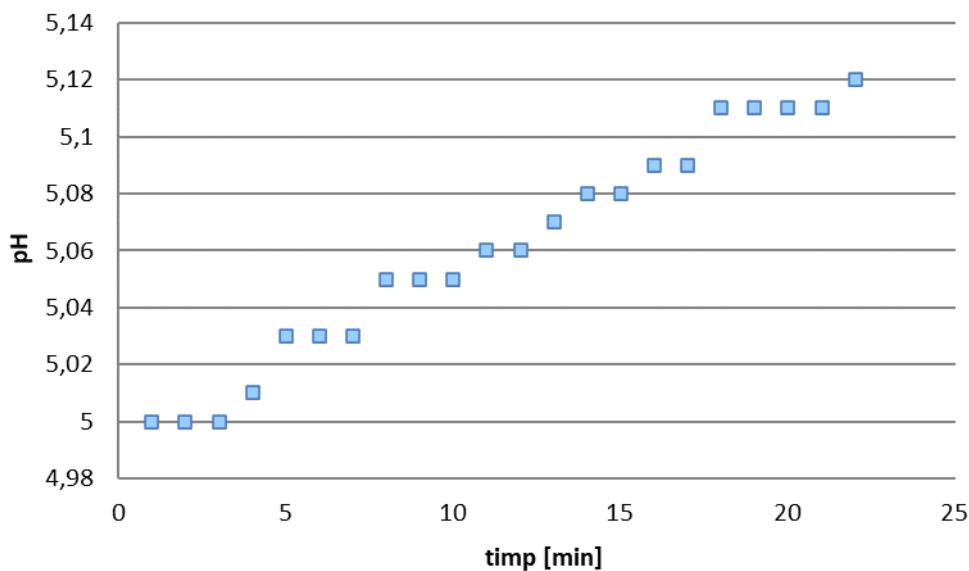


Figura 3.20. Variația pH-ului în timp în cazul unei mostre de apă distilată netratată, [70]

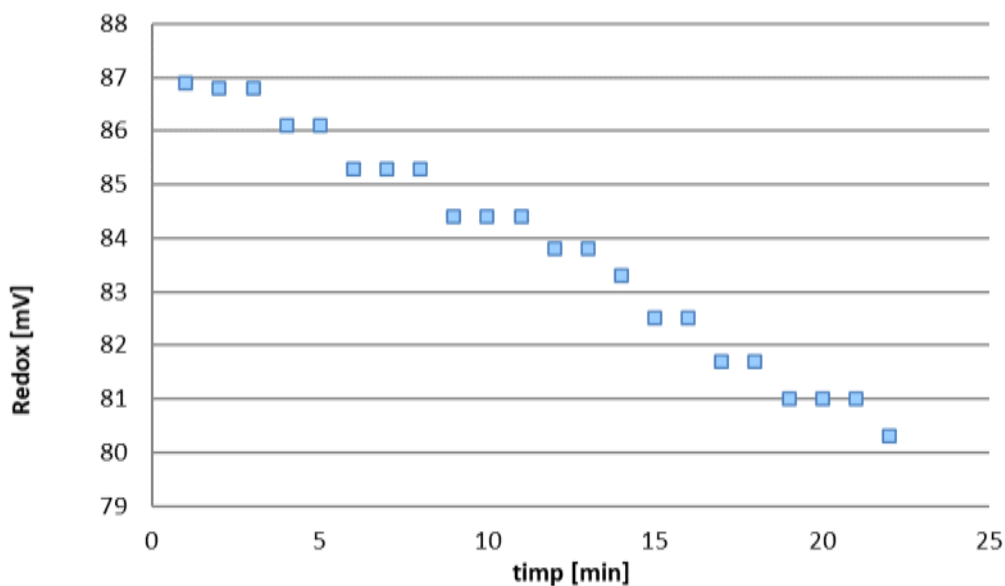


Figura 3.21. Variația potențialului Redox în timp în cazul unei mostre de apă distilată netratată, [67]

După cum se observă, valorile se mențin relativ constante, variațiile fiind foarte mici și în cazul reacției redox în scădere, iar în cazul variației pH în creștere.

3.4.1. Parametrii neelectrici rezultați în urma tratamentului cu reactorul Glid Arc

Datele prezentate în continuare au fost luate în următoarele condiții experimentale: 200 ml de apă distilată tratată, la o distanță de 25 mm între soluție și capătul electrozilor, reactorul folosit fiind Glid Arc clasic, iar sursa de alimentare folosită fiind transformatorul de înaltă tensiune AUPEM (230V/50Hz – 1000V/50Hz) conectat direct la rețea pentru un flux de aer de 25l/min, Figura 3.22.

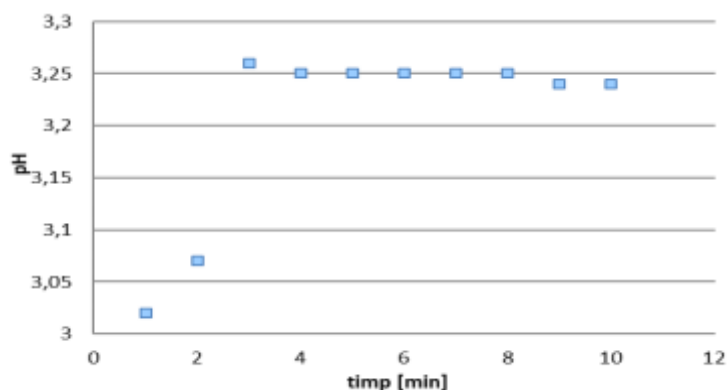


Figura 3.22. Variația pH-ului în timp după încetarea tratamentului utilizând reactorul GlidArc și transformatorul AUPEM – flux de aer 25 l/min, [70]

După tratare parametrul pH a scăzut de la valoarea de 5-5.12 la 3 – 3.25, menținându-se relativ constant în jurul acestei valori.

Graficul pentru pH, funcție de timp, se poate observa în Figura 3.23. Acești parametrii au fost colectați în următoarele condiții: 3 înregistrări, 200 ml de apă distilată tratată, distanță de 25 mm între capătul electrozilor și soluția de tratat. A fost folosit reactorul GlidArc clasic, sursa de alimentare în impulsuri pe baza circuitului β A145. Prima serie de mostre analizate a fost colectată pentru un debit de aer de 18 l/min, a doua serie analizată pentru un flux de aer de 25 l/min și a treia serie corespunde unui flux de aer de 32 l/min.

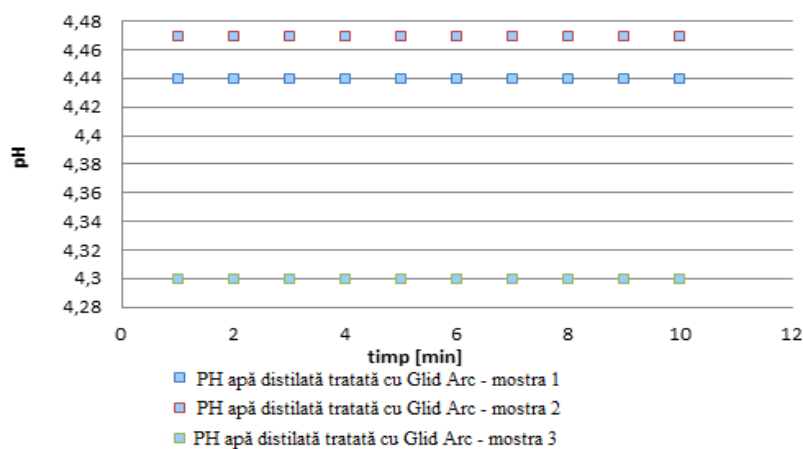


Figura 3.23. Variația pH-ului în timp utilizând reactorul GlidArc conectat la sursa cu circuitul β A145 – flux de aer pentru mostra 1 - 18 l/min, mostra 2 - 25 l/min, mostra 3 – 32 l/min, [70]

În acest caz variația pH-ului este mai mică (comparativ cu referința considerată), valorile menținându-se constante.

Mai jos sunt prezentate graficele parametrilor neelectrici pH, Figura 3.24, funcție de timp, obținute în următoarele condiții: 3 înregistrări, 200 ml de apă distilată tratată, o distanță de 25 mm, reactorul folosit GlidArc clasic, sursa de alimentare de curent alternativ de 30 kHz. Prima serie de eșantioane analizate a fost colectată pentru un flux de aer de 18 l/min, a doua serie colectată pentru un flux de aer de 25 l/min și a treia serie corespunzătoare unui flux de aer de 32 l/min.

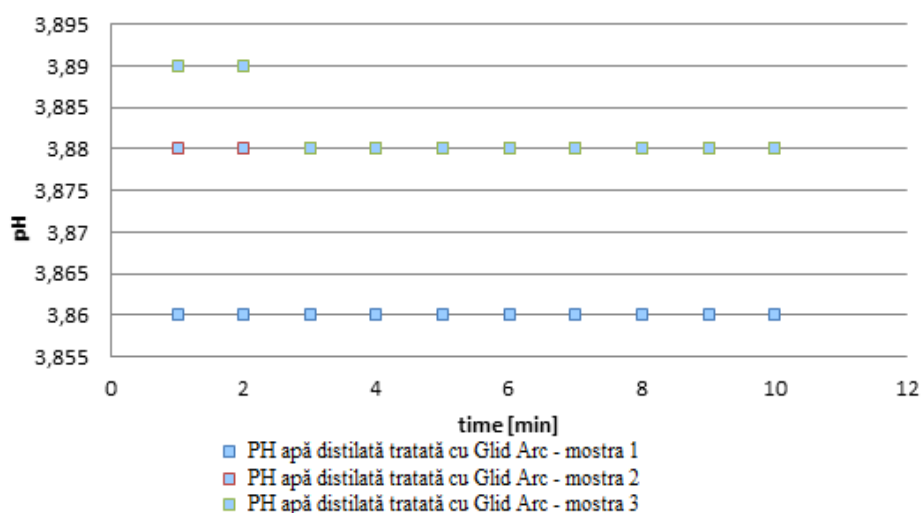


Figura 3.24. Variația pH-ului în timp utilizând reactorul GlidArc conectat la sursa de 30 kHz – flux de aer pentru mostra 1 - 18 l/min, mostra 2 - 25 l/min și mostra 3 – 32 l/min [70]

În urma acestui tratament se observă că sursa de 30kHz este mai eficientă, valorile pH-ului se apropie de valoarea de 3.8, variațiile fiind nesemnificative.

3.4.2. Parametrii neelectrici rezultați în urma tratamentului cu reactorul minitorță

Următoarele date colectate au fost luate în următoarele condiții experimentale: 200 ml de apă distilată tratată, la o distanță de 25 mm între soluție și capătul electrozilor, reactorul folosit fiind minitorța, iar sursa de alimentare folosită a fost transformatorul de înaltă tensiune AUPEM (230V/50Hz – 1000V/50Hz) conectat direct la rețea, pentru un flux de aer de 25l/min.

Pentru tratamentul cu minitorța de plasmă se observă că valoarea pH-ului scade la valoarea de 3 dar crește treptat până la valoarea de 3.27 (Figura 3.25).

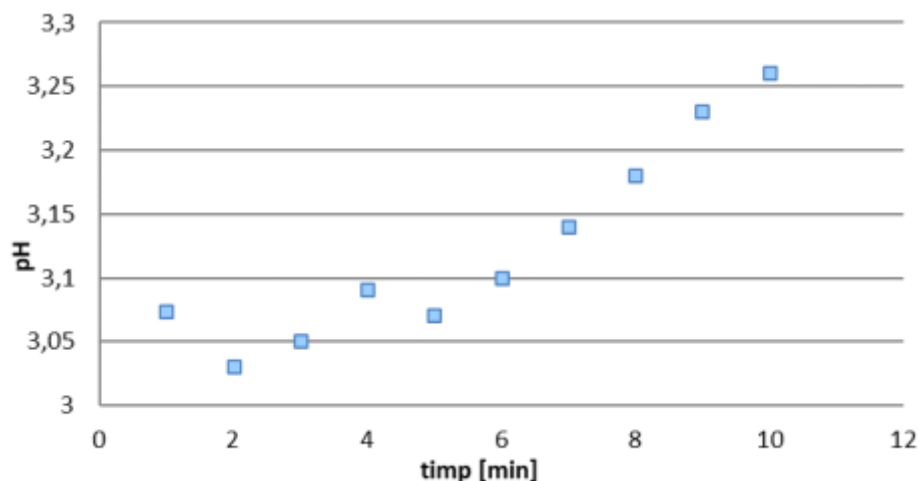


Figura 3.25. Variația pH-ului în timp utilizând reactorul Minitorță de plasmă conectat la transformatorul AUPEM – flux de aer 25 l/min, [70]

În continuare sunt ilustrate valorile parametrilor neelectrici pH (Figura 3.26), funcție de timp. Acești parametri au fost înregistrați în următoarele condiții: 3 înregistrări, 200 ml de apă distilată tratată, distanță de 25 mm, reactor minitorță, sursa de alimentare în impulsuri pe baza circuitului $\beta A145$. Prima serie de eșantioane analizate a fost colectată pentru un debit de aer de 18 l/min, a doua serie pentru un flux de aer de 25 l/min și a treia serie pentru flux de aer de 32 l/min.

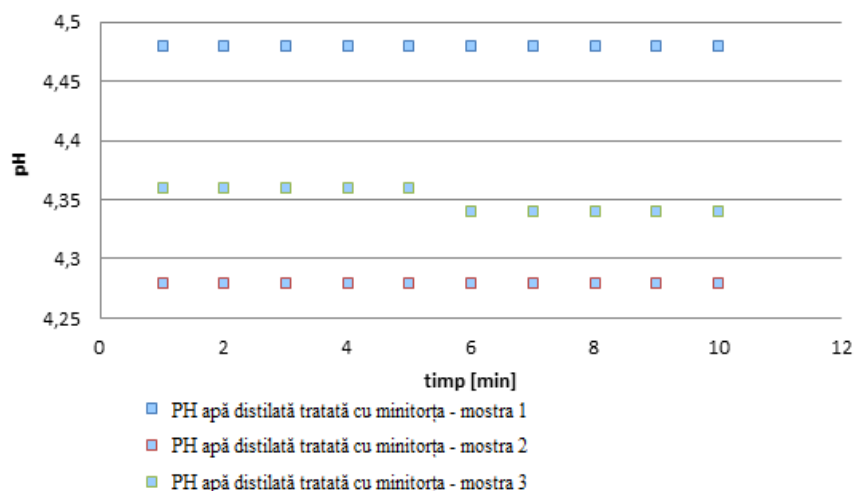


Figura 3.26. Variația pH-ului în timp utilizând Minitorța de plasmă conectată la sursa cu circuitul $\beta A145$ – flux de aer pentru mostra 1 - 18 l/min, mostra 2 - 25 l/min și mostra 3 – 32 l/min, [70]

Variația pH-ului în acest caz, se află între valorile 4,3 și 4,48. Aceste valori demonstrează că tratamentul cu reactorul minitorță de plasmă este mai puțin eficient în tratarea unei cantități de lichide față de tratamentul cu Glid Arc.

În continuare se pot observa evoluțiile pe un interval de 12 minute de la oprirea tratamentului cu plasmă a pH-ului (Figura 3.27). Acestea au fost realizate în următoarele condiții: 3 înregistrări, 200 ml de apă distilată tratată, distanță de 25 mm, reactorul folosit

fiind minitorța, sursa de alimentare în impulsuri pe baza microcontroller-ului AT89S52. Prima serie de date corespunde unui flux de aer de 18 l/min, a doua serie unui flux de aer de 25 l/min și a treia serie unui flux de aer de 32 l/min.

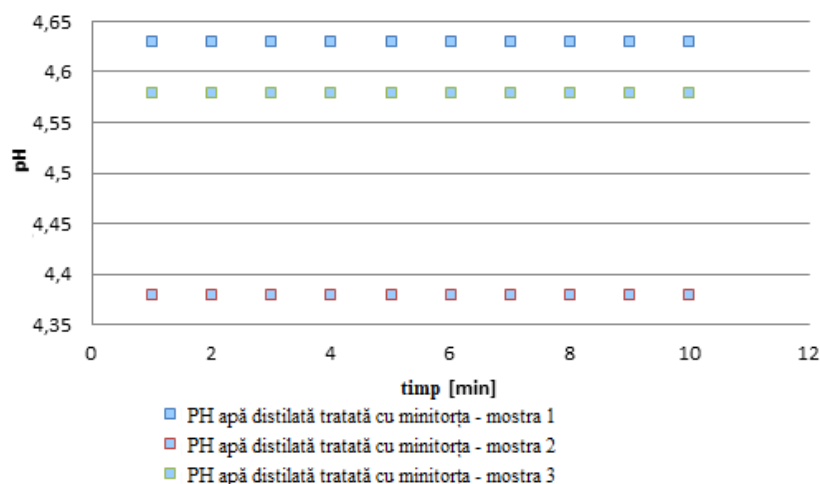


Figura 3.27. Variația pH-ului în timp utilizând Minitorța de plasmă conectată la sursa cu circuitul AT89S52 – flux de aer pentru mostra 1 - 18 l/min, mostra 2 - 25 l/min și mostra 3 – 32 l/min, [70]

În cazul prezentat se observă variația pH-ului între valorile 4.38 și 4.63, variația fiind datorată fluxului de aer, rezultatele fiind mai slabe comparativ cu cazul precedent.

Următorul grafic al evoluției pH-ului (Figura 3.28), funcție de timp au fost obținute în următoarele condiții: 3 înregistrări, 200 ml de apă distilată tratată, distanță de 25 mm, reactorul folosit fiind minitorța, iar sursa de alimentare cea de curent alternativ de 30 kHz. Primul rând de date corespunde la un flux de aer de 18 l/min, al doilea la un flux de aer de 25 l/min și al treilea unui flux de aer de 32 l/min.

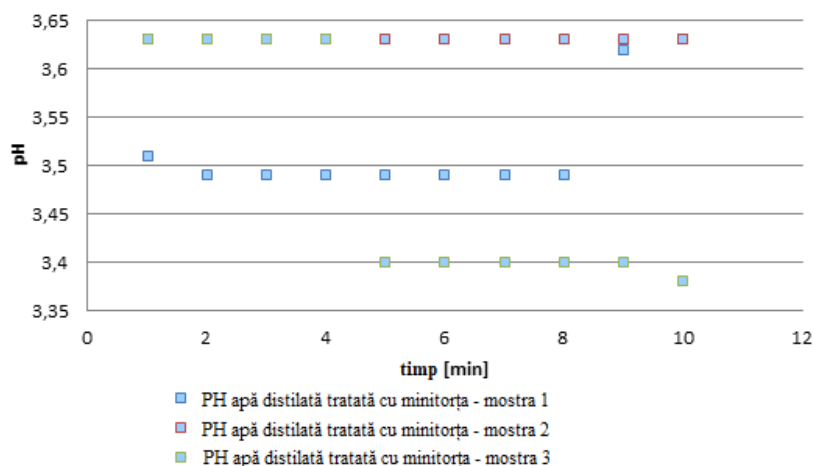


Figura 3.28. Variația pH-ului în timp utilizând Minitorța de plasmă conectată la sursa de 30 kHz – flux de aer pentru mostra 1 - 18 l/min, mostra 2 - 25 l/min și mostra 3 – 32 l/min, [70]

Din graficele prezentate se observă că variația pH-ului este între valorile 3.4 și 3.63, valorile fiind datorate frecvenței la care funcționează sursa.

3.4.3. Parametrii neelectrici rezultați în urma tratamentului cu reactorul Gliding Spark

Următoarele grafice au fost trasate pornind de la datele corespunzătoare următoarelor condiții experimentale: 200 ml de apă distilată tratată, distanță de 25 mm între soluție și capătul electrozilor, reactorul folosit fiind Gliding Spark (NOx Box), iar sursa de alimentare folosită transformatorul de înaltă tensiune AUPEM (230V/50Hz – 1000V/50Hz), conectat direct la rețea. Fluxul de aer în acest caz a fost de 25l/min. Astfel în Figura 3.29 este prezentată variația pH-ului.

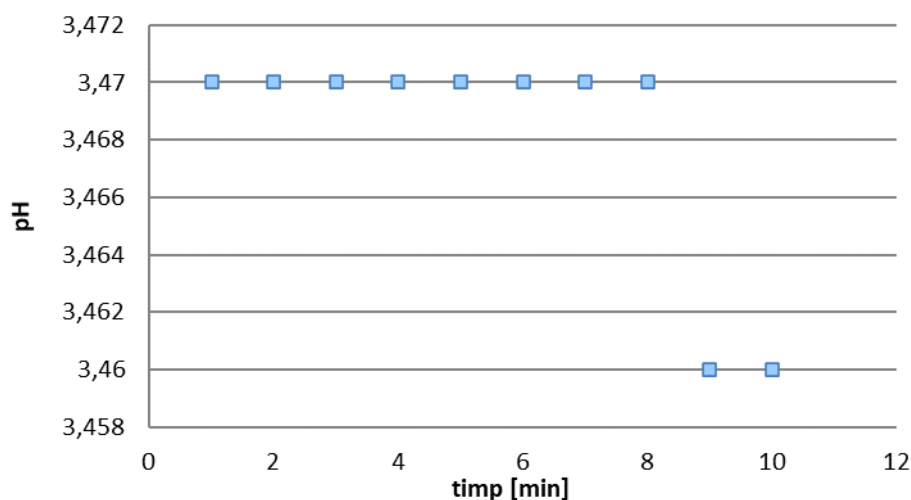


Figura 3.29. Variația pH-ului în timp utilizând Gliding Spark conectat la transformatorul AUPEM – flux de aer 25 l/min, [70]

În cazul prezentat se observă o eficiență mai mică a acestui reactor comparativ cu celelalte două reactoare, pH-ul variind între valorile 3.46 și 3.47.

În continuare sunt prezentate graficele pH-ului (Figura 3.30), ca variație funcție de timp. Parametrii înregistrați constau în: 3 serii de teste, 200 ml de apă distilată tratată, distanță de 25 mm, reactorul folosit fiind Gliding Spark (NOx Box), iar sursa de alimentare cea în impulsuri pe baza circuitului β A145. Prima serie de date corespunde unui flux de aer de 18 l/min, a doua serie analizată unui flux de aer de 25 l/min și a treia serie corespunde unui flux de aer de 32 l/min.

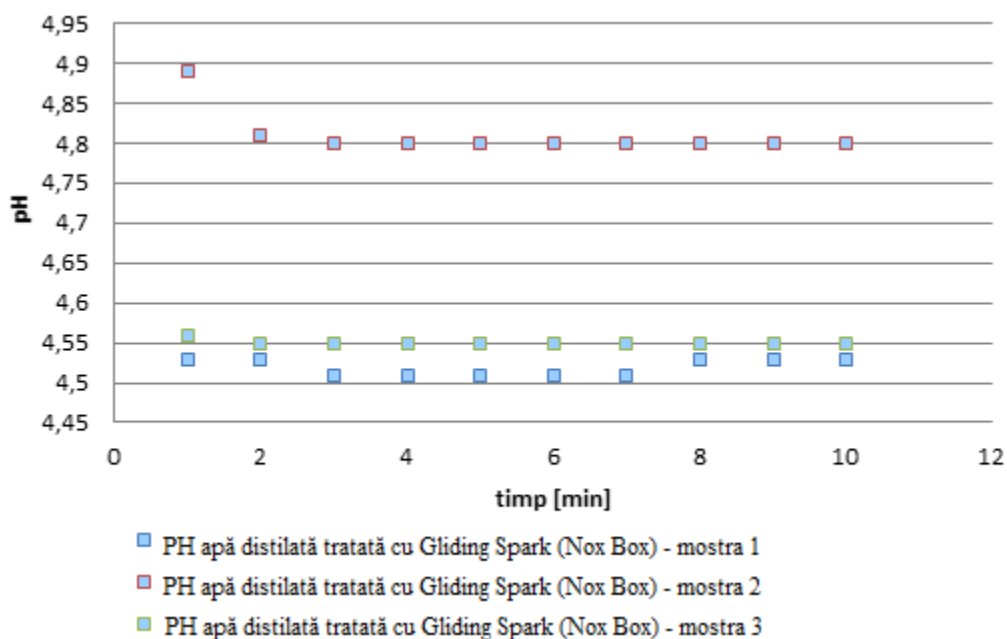


Figura 3.30. Variația pH-ului în timp utilizând Gliding Spark conectat la sursa cu circuitul $\beta A145$ – flux de aer pentru mostra 1 - 18 l/min, pentru mostra 2 - 25 l/min și pentru mostra 3 – 32 l/min, [70]

Pentru acest caz, variația pH-ului este foarte mică, valorile depinzând mult de fluxul de aer și fiind cuprinse între 4.5 și 4.9.

Evoluțiile în timp a parametrilor pH sunt prezentate mai jos în Figura 3.31, fiind stocate în următoarele condiții: 3 înregistrări, 200 ml de apă distilată tratată, distanță de 25 mm, reactorul folosit fiind Gliding Spark (Nox Box), sursa de alimentare în impulsuri pe baza microcontroller-ului AT89S52. Prima serie de date corespunde pentru un flux de aer de 18 l/min, a doua serie unui flux de aer de 25 l/min și a treia serie corespunde unui flux de aer de 32 l/min.

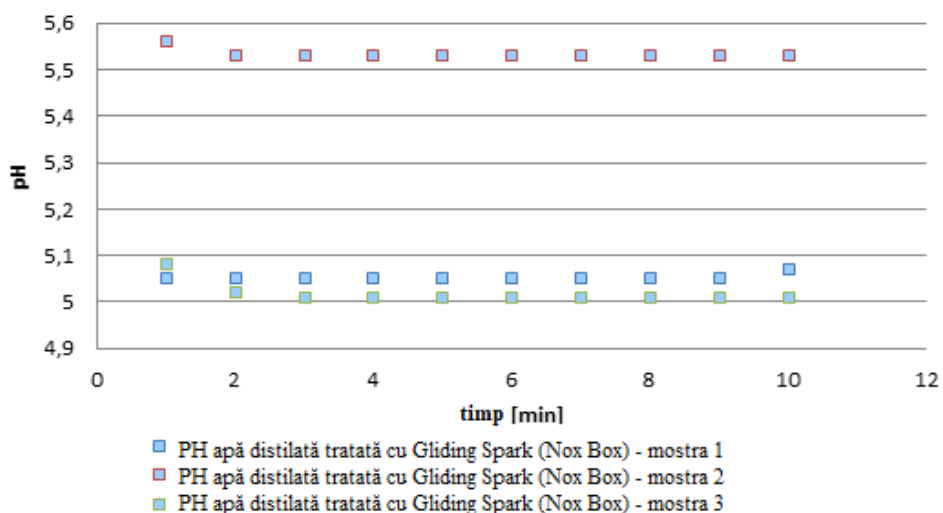


Figura 3.31. Variația pH-ului în timp utilizând Gliding Spark conectat la sursa cu AT89S52 – flux de aer pentru mostra 1 - 18 l/min, pentru mostra 2 - 25 l/min și pentru mostra 3 – 32 l/min, [70]

Pentru acest caz tratamentul este inefficient, valorile pH-ului fiind aproape identice cu valoarea apei distilate netratate.

Mai jos sunt prezentate valorile pH-ului (Figura 3.32), ca variație funcție de timp. Acești parametri au fost colectați în următoarele condiții: 3 înregistrări, 200 ml de apă distilată tratată, la o distanță de 25 mm, reactorul folosit fiind Gliding Spark (Nox Box), sursa de alimentare de curent alternativ de 30 kHz, prima serie de mostre analizate a fost colectată pentru un flux de aer de 18 l/min, a doua serie analizată a fost colectată pentru un flux de aer de 25 l/min și a treia serie corespunde unui flux de aer de 32 l/min.

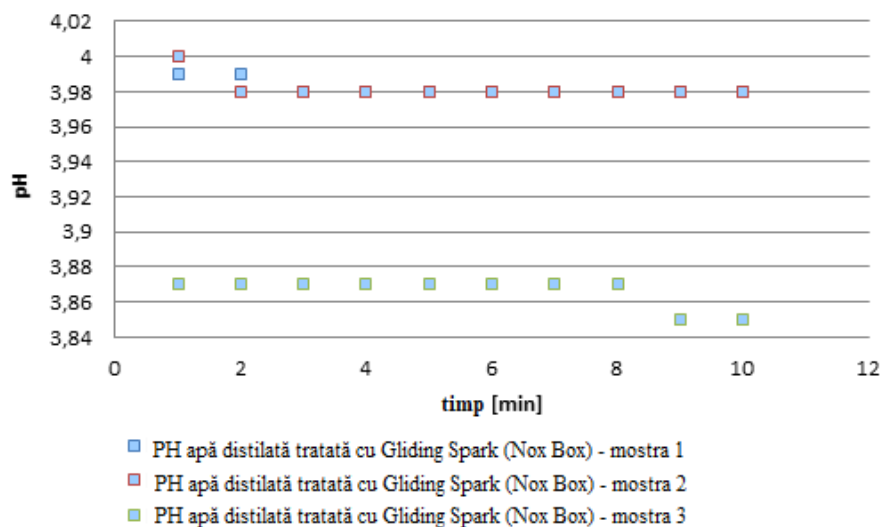


Figura 3.32. Variația pH-ului în timp utilizând reactorul Gliding Spark conectat la sursa de 30 kHz – flux de aer pentru mostra 1 - 18 l/min, pentru mostra 2 - 25 l/min și pentru mostra 3 – 32 l/min, [70]

Valoarea frecvenței de 30kHz ajută mult tratamentul prezentat în aceste figuri, valorile pH-ului aflându-se între 3.87 și 4.

Un rol foarte important în eficiența tratamentului cu descărcare de plasmă rece, pe lângă construcția reactorului, îl asigură și sursele de alimentare.

Calculul rezistenței descărcărilor pentru volumul aproximativ al plasmei a arătat că o mulțime de specii active sunt dispersate într-un volum prea mare pentru reactorul clasic GlidArc, astfel încât puterea utilă nu este utilizată eficient.

Analizând influența parametrilor electrici a diferite surse de alimentare utilizate împreună cu diferite tipuri de reactoare s-au extras date cu parametrii electrici specifici reactoarelor corelate cu parametrii neelectrici și anume pH-ul.

Pentru măsurătorile pH-ului s-au obținut cele mai stabile rezultate în cazul utilizării reactorului clasic GlidArc datorită suprafeței de tratare cu plasmă, cu utilizarea transformatorului de tip AUPEM. În cea mai mare parte a experimentelor, valorile pH-ului au fost constante în timpul măsurării de 10 minute.

Toate testele făcute folosind transformatorul AUPEM ca sursă de alimentare au generat rezultate satisfăcătoare, dar totodată trebuie luat în considerare că la puteri mai mici și frecvențe mai mari au fost obținute rezultate similare. Astfel rezultă că frecvența este un factor important în tratamentul cu plasmă rece.

Capitolul 4. Realizarea și modelarea unor surse de alimentare de înaltă tensiune proiectate pentru descărcări de tip DBD. Reactoare utilizate experimental

În acest capitol sunt prezentate și analizate simularea unor surse de alimentare. Analiza constă în vizualizarea semnalelor de comandă, compararea circuitului de putere pentru circuitele analizate și, de asemenea, compararea cu o conexiune la un rezistor și o conexiune la descărcarea în sine. Sursele de alimentare au o frecvență de maximum 60 kHz din cauza limitărilor transformatorului de înaltă tensiune.

4.1. Emularea prin intermediul unui circuit echivalent al descărcărilor tip plasmă rece

Pentru optimizarea tratamentului cu plasmă non-termică pentru diferite aplicații, trebuie luați în considerare parametrii descărcărilor electrice care produc plasma.

Un circuit de simulare a descărcării este utilizat pentru a testa conexiunea la descărcare. Acest circuit este prezentat în Figura 4.1. Circuitul este proiectat folosind condensatori pentru a simula colectarea de energie înainte de descărcare și o rezistență care simulează rezistența de descărcare în sine. Releul este utilizat pentru reproducerea încărcării condensatorului și descărcarea acestuia pe rezistor, astfel echivalând descărcarea electrică între electrozi.

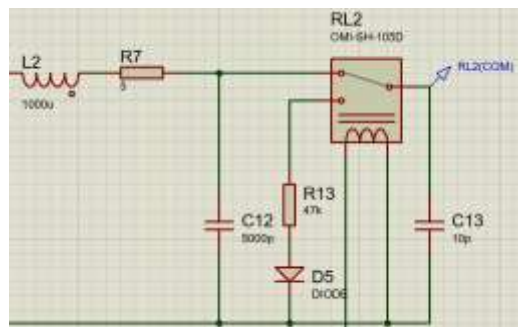


Figura 4.1. Circuit folosit pentru simularea descărcării electrice de tip plasmă rece, [72]

Valoarea parametrilor caracteristici de tensiune corespunzătoare capacității este introdusă într-o schemă electrică a unui model clasic. Rezultatele simulării sunt luate în considerare cu o corelare cu parametrii electrici ai unei surse de tensiune în impuls.

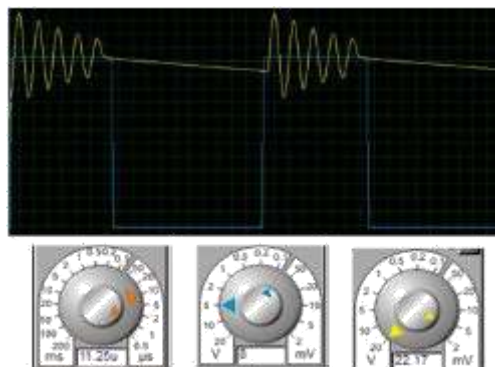


Figura 4.2. Rezultatele simulării circuitului echivalent al descărcării, [73]

Comportamentul descărcării din momentul amorsării este echivalent cu cel al unei diode D plasată pe aceeași ramură de circuit cu o rezistență de valoare redusă, care constituie elementul disipării energiei acumulate, echivalent producerii unei descărcări electrice de tip scânteie.

Circuitul electric utilizat pentru a simula evoluția tensiunii de descărcare permite o singură modificare a structurii circuitului pentru studiul regimului tranzitoriu de amorsare produs.

Oscilațiile pe această frecvență se produc în timpul valorilor nenule ale curentului electric de descărcare tip scânteie.

4.2. Simularea sursei de alimentare construită cu integratul TL494

Circuitul construit în jurul integratului TL494 este versatil și poate comanda o punte half bridge sau full bridge de MOSFET-uri sau IGBT-uri printr-un transformator de comandă pe poartă (GDT). Acest lucru ar trebui să facă un driver care este capabil să comande transformatoarele flyback găsite în televizoarele CRT și monitoarele pentru calculatoare, [72].

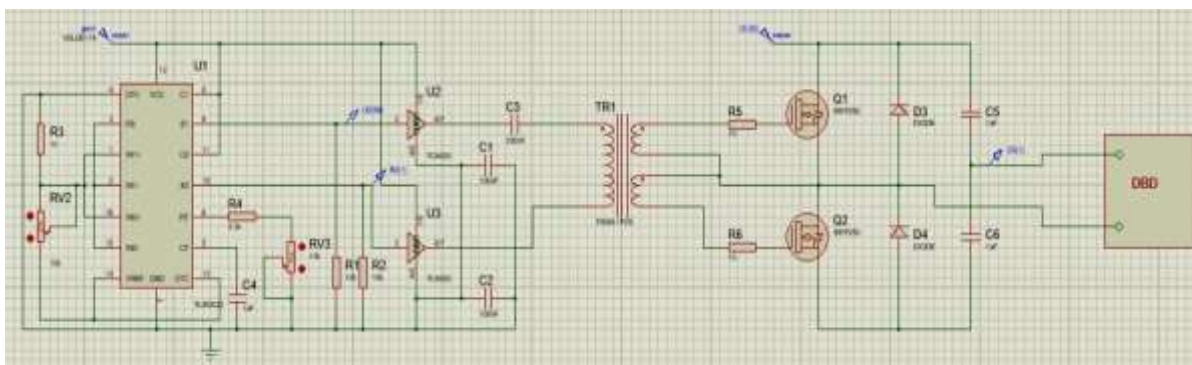


Figura 4.3. Schema completă a sursei de alimentare cu circuitul TL494,[72]

Sursa de alimentare prezentată este construită în jurul circuitului integrat TL494. Această sursă oferă o frecvență variabilă între 20 și 90 de kHz cu o variație a factorului de umplere între 0% și 50%, [72].

Lățimea impulsului este controlată în mod manual pentru testele ce au fost efectuate.

Controlul de ieșire pe pinul 13 este setat la o tensiune de referință de 5 volți pe pinul 14, ceea ce face ca cele două tranzistoare de ieșire să funcționeze în modul push-pull, care va fi utilizat pentru a conduce fiecare IC-ul lor de driver MOSFET neinversat, [72].

Pentru a regla ciclul de funcționare, s-a configurat amplificatorul de eroare ca următor de tensiune, feedback-ul de la amplificatorul operațional fiind legat de intrare, astfel tensiunea de ieșire a fost chiar sub valoarea tensiunii de intrare. Cu un potențiomtru și un rezistor se poate varia tensiunea de intrare de la 0,5 V la 4,76 V, această tensiune fiind suficientă pentru a regla ciclul de funcționare de la 0 la 43%, [72].

Rezultatele simulării pentru sursa de alimentare sunt ilustrate în Figura 4.4.

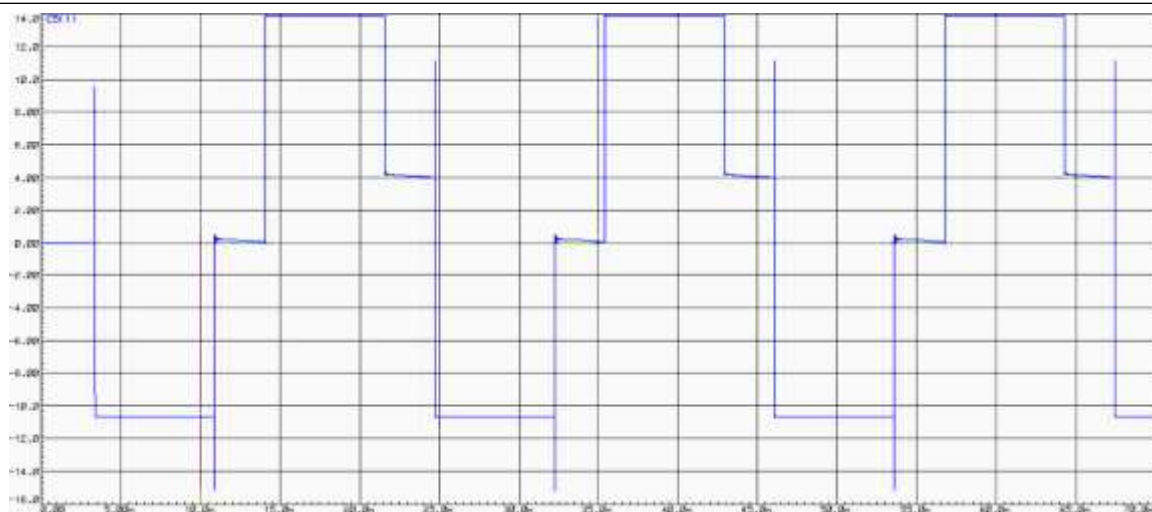


Figura 4.4. Rezultatul simulării sursei de alimentare cu circuitul TL494, [74]

Descărcările care au loc se bazează și pe oscilațiile furnizate de condensatorii C_5 respectiv C_6 și înfășurarea primară a inductorului (din interiorul blocului denumit DBD).

Acest invertor universal face posibilă ajustarea tensiunii și curentului de ieșire. Acest fapt ajută ca un driver flyback să devină mai robust decât alte drivere simple, cu doar un singur tranzistor, deoarece pune în aplicare propriul control, driver MOSFET și topologia half-bridge.

4.3. Simularea sursei de alimentare construită cu integratul SG2525

Circuitul integrat SG2525 este utilizat în conectarea standard PWM generator / oscilator unde frecvența oscilației este determinată de C_2 , R_7 și RV_2 . Potentiometrul RV_2 poate fi ajustat pentru a obține frecvențe exacte conform specificațiilor cerute ale aplicației. Schema este prezentată în Figura 4.5.

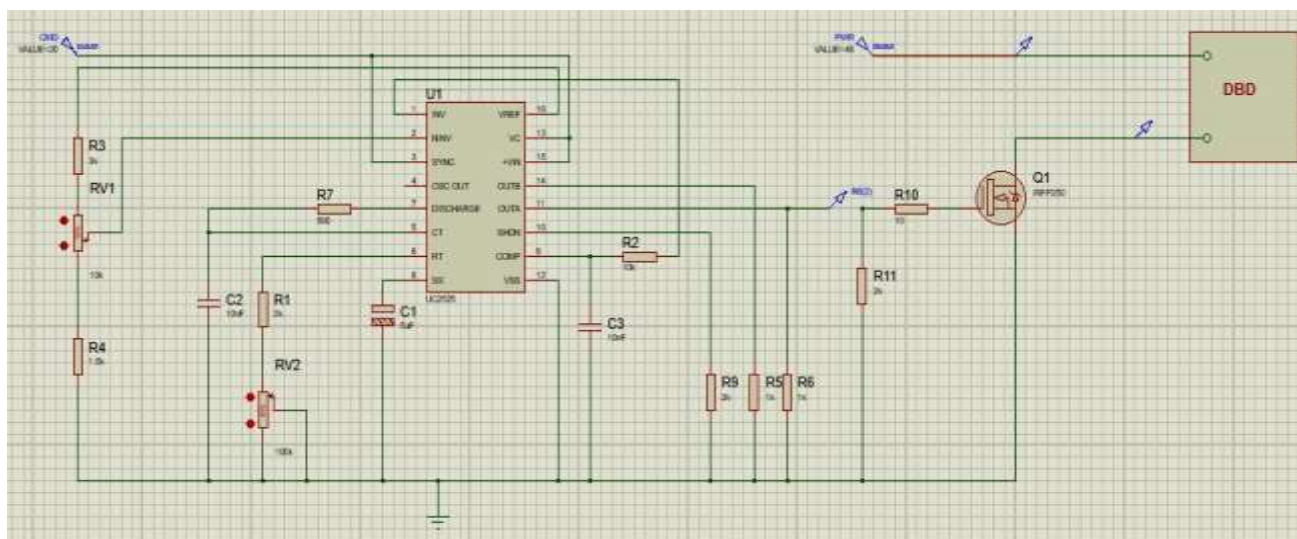


Figura 4.5. Schema completă a sursei de alimentare cu circuitul SG2525, [74]

Rezultatele simulării sursei de alimentare sunt prezentate în Figura 4.6. Vârful de tensiune sunt rezultatul inductanței înfășurării primare.

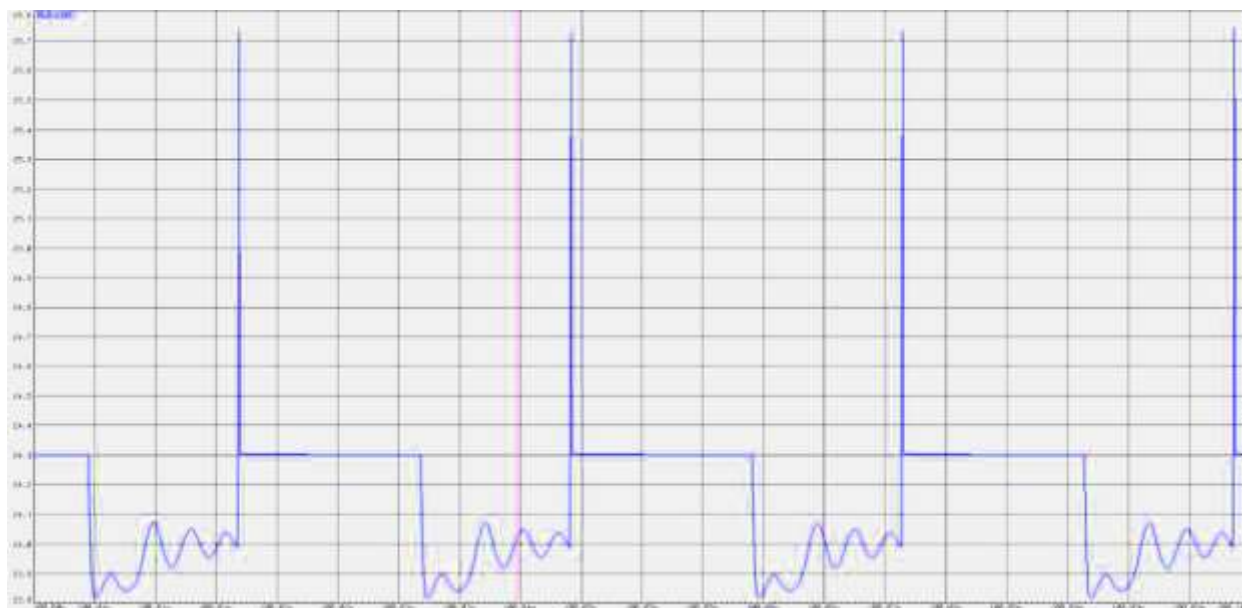


Figura 4.6. Rezultatul simulării sursei de alimentare cu circuitul SG2525, [74]

Gama de frecvență pentru această sursă este de la 6kHz la 60 kHz, între cele două ieșiri la pinul 11 și pinul 14. Cele două ieșiri oscilează alternativ în mod push (totem), conducând tranzistorul mosfet conectat în configurație flyback.

Deoarece integratul facilitează un pin-out de control PWM, acesta poate fi exploatat pentru a permite o reglare automată a ieșirii sistemului.

Pinul 2 este intrarea de detectare a erorii interne încorporate, iar în mod normal tensiunea la acest pin neinvertor nu ar trebui să crească peste valoarea de 5.1V în mod implicit, deoarece pinul inv # 1 este fixat la 5.1V prin referință internă.

Atât timp cât pinul 2 se încadrează în limita de tensiune specificată, caracteristica de corecție PWM rămâne inactivă, și, cu toate acestea, în momentul în care tensiunea la pinul 2 tinde să crească peste 5,1V, impulsurile de ieșire sunt ulterior restrânse, în încercarea de a corecta și echilibra tensiunea de ieșire în consecință.

4.4. Tipuri de reactoare DBD utilizate în partea experimentală

Descărcările de tip plasmă non-termică se regăsesc într-o serie de aplicații industriale interesante pe lângă generarea de ozon. Generarea de radiații infraroșii puternice în laserele de CO₂ și a radiațiilor incimere ultraviolete (UV) sau ultraviolete în vid (VUV) în lămpile cu excimeri sunt exemple ale dezvoltărilor mai recente ale plamei.

În Figura 4.7 prezentată mai jos se regăsesc topologiile de reactor DBD dintre care se observă că 3 sunt planare și una circulară.

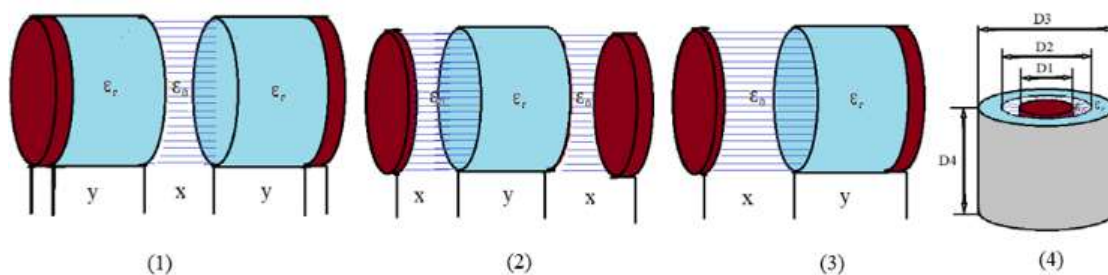


Figura 4.7. Configurații tipice de electrozi de descărcare barieră dielectrică

Pentru aceste experimente nu s-a utilizat gaz de suflaj, nici incintă specială cu alt gaz, s-a folosit aer la temperatura ambiantă (aproximativ 25 °C) .

Considerând că tipul sticlei folosite este BBS pentru reactoarele cu topologie plană și LBSCA pentru topologia cilindrică, care au valori permitivității relative.

Utilizând aceste date se vor prezenta în continuare calculele obținute.

4.4.1. Reactor dielectric – aer – dielectric considerat drept condensator plan (Reactor 1)

Pentru topologia prezentată în Figura 4.8, este necesar să se considere 3 condensatori echivalenți calculați în funcție de dimensiunile stratului izolator de sticlă respectiv al aerului.

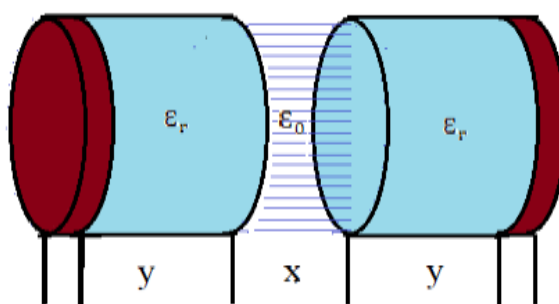


Figura 4.8. Schemă echivalentă utilizată în calculul capacității echivalente pentru reactor DBD dielectric – aer – dielectric

Dimensiunile prezentate în Figura 4.8 sunt $y = 1.5 \text{ mm}$ și $x = 1 \text{ mm}$. Pentru calculul capacității echivalente se ține cont de faptul că există 3 capacități echivalente grupate în serie pentru fiecare zonă delimitată de dielectric. Astfel capacitatea echivalentă este:

$$C = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_1 C_3} \quad (4.1)$$

Suprafața electrodului de împământare = 551,54 mm², spațiul de descărcare = 1 mm, grosimea dielectricului superior (sticlă) = 1,5 mm, grosimea dielectricului inferior (sticlă) = 1,5 mm, suprafața electrodului de înaltă tensiune = 47,78 mm².

Rezultatul obținut pentru capacitatea statică a reactorului dielectric - aer – dielectric este $C = 1,947 \text{ pF}$.

4.4.2. Reactor aer – dielectric – aer considerat drept condensator plan (Reactor 2)

Pentru topologia prezentată în Figura 4.9, este necesar să se considere 3 condensatori echivalenți calculați în funcție de dimensiunile stratului izolator de sticlă respectiv al aerului. Dimensiunile sunt prezentate mai jos.

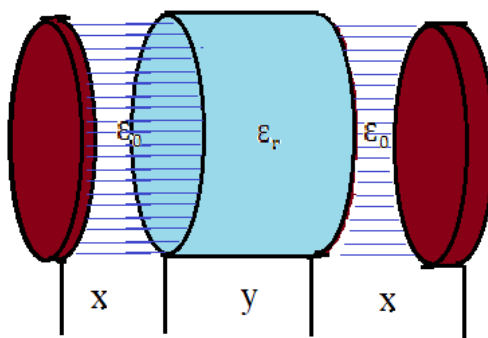


Figura 4.9. Reactor echivalent utilizat în calculul capacității echivalente pentru reactor DBD aer – dielectric – aer,

Dimensiunile prezentate în Figura 4.9 sunt $y = 1.5 \text{ mm}$ și $x = 1 \text{ mm}$. Pentru calculul capacității echivalente se ține cont de faptul că există 3 capacități echivalente pentru fiecare zonă delimitată de dielectric. Astfel capacitatea echivalentă este:

$$C = \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_2 + C_2 C_3 + C_1 C_3} \quad (4.2)$$

Suprafața electrodului de împământare = $551,54 \text{ mm}^2$, spațiul de descărcare = 1 mm , grosimea dielectricului = $1,5 \text{ mm}$, suprafața electrodului de înaltă tensiune = $47,78 \text{ mm}^2$.

Rezultatul obținut pentru capacitatea statică a reactorului dielectric - aer – dielectric este $C = 0,384 \text{ pF}$.

4.4.3. Reactor aer – dielectric considerat drept condensator plan (Reactor 3)

Pentru calcul echivalent trebuie luat în calcul capacitatea echivalentă cu două condensatoare plane conectate în serie. În funcție de permitivitatea aleasă calculele sunt prezentate mai jos.

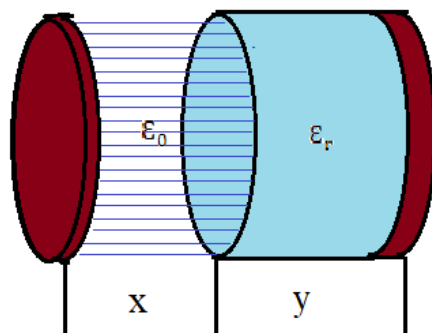


Figura 4.10. Schemă echivalentă utilizată în calculul capacității echivalente pentru reactor DBD aer - dielectric

Dimensiunile prezentate în Figura 4.10 sunt $y = 1.2 \text{ mm}$ și $x = 2.3 \text{ mm}$. Pentru calculul capacității echivalente se ține cont de faptul că există două capacități echivalente pentru fiecare zonă delimitată de dielectric. Astfel capacitatea echivalentă este:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (4.3)$$

Suprafața electrodului de împământare = $551,54 \text{ mm}^2$, spațiul de descărcare = 2 mm , grosimea dielectricului = $1,5 \text{ mm}$, suprafața electrodului de înaltă tensiune = $47,78 \text{ mm}^2$.

Rezultatul obținut pentru capacitatea statică a reactorului dielectric - aer - dielectric este $C = 0,19 \text{ pF}$.

4.4.4. Reactor cilindric considerat drept condensator cilindric (Reactor 4)

Ultimul reactor prezentat este cel în configurație cilindrică. Dimensiunile pentru acest reactor sunt diametrul interior al electrodului de masă = 7 mm , diametrul exterior al electrodului de masă = 9 mm , spațiul descărcării (D_2) = 1.5 mm , grosimea dielectricului (D_3) = 1.5 mm , diametrul electrodului de HV (D_1) = 1.7 mm .

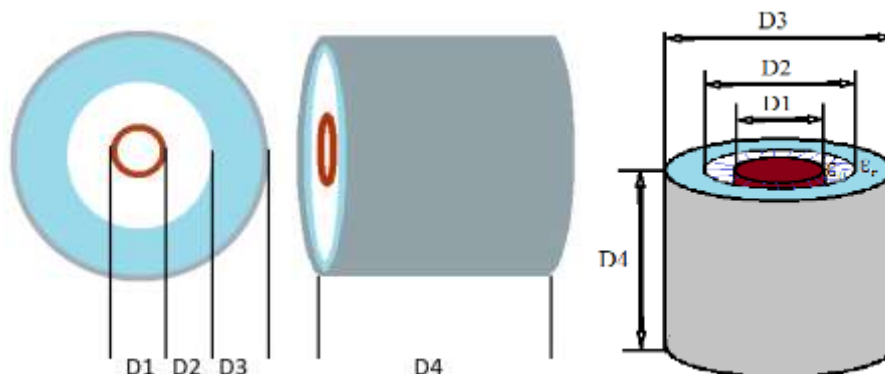


Figura 4.11. Reprezentarea montajului experimental pentru reactor DBD circular, [74]

Pentru calculul capacității cilindrice se utilizează formula:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r l}{\ln \frac{R_e}{R_i}} \quad (4.4)$$

Unde l – este înălțimea cilindrului, R_e – este diametrul exterior, R_i – diametrul interior.

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_0 D_4}{\ln \frac{D_2}{D_1}} \quad (4.5)$$

$$C_2 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r D_4}{\ln \frac{D_2}{D_1}} \quad (4.6)$$

Suprafața electrodului de împământare = 494,8 mm², spațiul de descărcare 1,7 mm, grosimea dielectricului (sticla) = 1,5 mm, suprafața electrodului de înaltă tensiune = 350,35 mm².

Rezultatul obținut pentru capacitatea statică a reactorului cilindric este $C = 4,36$ pF.

4.4.5. Ansamblul experimental al reactoarelor DBD utilizate

Pentru utilizarea experimentală s-a utilizat configurația prezentată în schema bloc din Figura 4.12. Aici este prezentat modul de conectare a surselor de alimentare (cu partea de forță respectiv partea de comandă), înfășurările primare (care pot fi 10, 18 sau 22) înseriate cu un rezistor ceramic pelicular de putere cu valoarea de 4 Ω și conectarea sondelor la osciloscop (sonda care colectează tensiunea de pe rezistență pentru calculul curentului pe primar / sonda TESTEC HVP 40 cu ajutorul căreia se colectează semnalul de pe reactor).

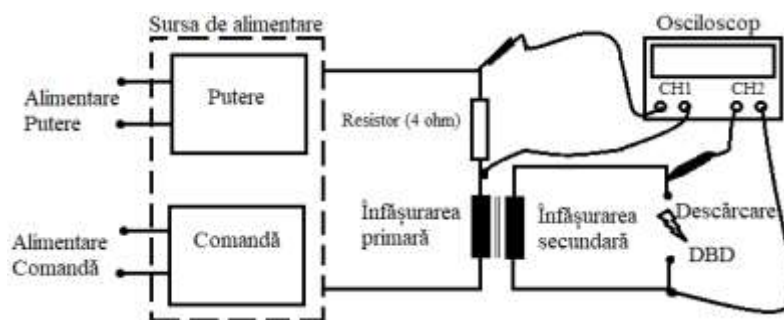


Figura 4.12. Schema bloc a montajului experimental pentru conectarea reactoarelor DBD, [74]

Cu ajutorul acestor reactoare s-au realizat o serie de experimente cu diferiți parametri pentru determinarea capacității dinamice și pentru a scoate în evidență aportul și eficiența fiecărei surse testate cu aceste configurații.

Capitolul 5. Rezultate experimentale cu privire la parametrii electrici ai descărcărilor

Experimentele efectuate cu cele două surse de alimentare realizate au considerat toate cele 4 geometrii posibile de reactoare de tip DBD. Pentru producerea înaltei tensiuni s-a folosit un transformator cu 2500 de înfășurare pentru bobina secundară și 10, 18 respectiv 22 înfășurări pentru cea primară. Pentru a limita curentul, înfășurarea primară a fost conectată în serie cu un rezistor de putere de 4 ohmi. Datele au fost colectate folosind o sondă de înaltă tensiune compensată 1000: 1 TT-HVP 40 de la TESTEC.

Descărcările electrice de tip DBD, datorită multiplelor canale de plasmă și faptului că descărcarea se stinge rapid, necesită o frecvență ridicată pentru întreținerea lor. Pe durata părții experimentale, frecvența a trebuit să fie limitată din cauza saturației miezului de ferită și a limitărilor prezente în tranzistoarele MOSFET utilizate.

Având în vedere că ambele surse de alimentare funcționează la frecvențe apropiate și același factor de modulație PWM, diferența de amplitudine se datorează diferenței dintre topologia half bridge și topologia flyback și faptului că fiecare sursă funcționează la tensiuni de alimentare diferite pentru secțiunea de putere.

În această etapă parametrii de intrare ai surselor care au fost variabili (reglați) sunt:

-Frecvența impulsurilor de comandă – prin intermediul unor potențiometre conectate pe intrările specifice circuitelor integrate de comandă, frecvențele utilizate pentru baza experimentală sunt 30 respectiv 60 kHz;

-Factorul de umplere (duty cycle) – prin intermediul unor potențiometre conectate pe intrările specifice circuitelor integrate de comandă, care în acest caz sunt 20% respectiv 50%;

-Nivelul de înaltă tensiune aplicat pe reactoarele DBD prin intermediul alegerii unui anumit număr de spire din primarul bobinei de înaltă tensiune. Pentru această lucrare s-au utilizat 10, 18 respectiv 22, lucru care a permis modificarea raportului de transformare și obținerea a diferite valori de tensiune în secundarul bobinei.

Reglarea acestor parametri de intrare a avut în vedere în primul rând obținerea unei descărcări electrice cât mai stabile și mai omogene pe fiecare din configurațiile de reactor folosite. Totodată s-a urmărit reducerea solicitărilor componentelor electronice în comutație pe durata funcționării.

În plus față de parametri amintiți mai sus, alți parametri la fel de importanți, luați în considerare în analiza prezentată, sunt valorile capacității dinamice specifice topologiei reactoarelor.

În literatura de specialitate această capacitate a fost măsurată experimental cu ajutorul unui divizor capacitiv conectat la un osciloscop. Pentru determinarea acestor parametri în diferite cazuri au fost utilizate figuri Lissajous care oferă un grafic de tip sarcină (Q) în funcție de tensiune (U). Din aceste grafice se poate extrage valoarea capacității reactorului DBD.

În această lucrare s-a mers pe o altă abordare simplificată pentru determinarea capacității, s-a urmărit variația frecvenței obținută în urma descărcării și s-a calculat valoarea capacității dinamice din formula:

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} \quad (5.1)$$

Pentru acest calcul s-a ținut cont de valoarea măsurată a inductanței secundarului bobinei de 65 uH, măsurată cu PeakTech 2170 și totodată s-a ținut cont de valoarea permitivității relative a sticlei utilizate.

5.1. Rezultatele experimentale obținute folosind sursa de alimentare cu TL494

Ținând cont de parametrii considerați pentru partea experimentală a ambelor surse, acest subcapitol se va concentra pe particularitățile sursei cu TL494. Parametrii electrici de alimentare ai sursei sunt: tensiune de alimentare comandă 15V și tensiune de alimentare a circuitului de putere 96V, ambele de curent continuu.

5.1.1. Parametrii electrici măsurați pentru sursa de alimentare cu TL494

Parametrii măsurați utilizând osciloscopul și anume curentul pe primarul transformatorului respectiv tensiunea de ieșire în funcție de topologia de reactor utilizată, în cazul primarului cu 10 înfășurări se regăsesc în Tabelele 5.1 respectiv 5.2.

Tabelul 5.1. Valorile curentului din primar în cazul transformatorului cu 10 înfășurări primare

Reactor \ Parametrii	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
	PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	9,64 [A]	8,43 [A]	6,75 [A]	6,71 [A]
Reactor 2	9,57 [A]	7,37 [A]	7,00 [A]	6,44 [A]
Reactor 3	9,74 [A]	8,14 [A]	6,71 [A]	6,69 [A]
Reactor 4	8,65 [A]	8,02 [A]	6,75 [A]	6,33 [A]

În tabelul 5.1 se observă că valorile cele mai mari s-au obținut pentru reactoarele 1,2 și 3 la frecvența de 30 kHz și factor de umplere 20% în timp ce valorile minime s-au obținut pentru toate reactoarele la frecvența de 60 kHz utilizând un factor de umplere de 50%. Aceste valori sunt datorate saturației miezului de ferită al transformatorului de înaltă tensiune, care ajunge la saturație datorită frecvenței mai mari la care s-au efectuat aceste experimente.

Pentru valorile de tensiune de ieșire (înaltă tensiune) datele culese sunt prezentate în Tabelul 5.2. Descărcările de tip DBD depind de tensiunea aplicată și de limitarea curentului. Astfel valorile obținute sunt de ordinul 4 kV pentru reactoarele 1,2 și 3 la frecvența de 30 kHz și factor de umplere 20% și de până la 2 kV pentru toate reactoarele la frecvența de 60 kHz și factor de umplere 50%, ceea ce este de așteptat ținând cont de transferul de putere.

Tabelul 5.2. Valorile tensiunii de ieșire în cazul transformatorului cu 10 înfășurări primare

Reactor \ Parametrii	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
	PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	3647,60 [V]	3150,76 [V]	1792,99 [V]	1793,88 [V]
Reactor 2	3643,23 [V]	4318,64 [V]	2043,89 [V]	1880,89 [V]
Reactor 3	4884,39 [V]	4062,43 [V]	2357,49 [V]	2446,50 [V]
Reactor 4	4249,67 [V]	3086,45 [V]	1956,96 [V]	1845,16 [V]

Din aceste valori se observă că este respectat transferul de energie și anume curentul pe primar proporțional cu tensiunea pe secundar. Valorile sunt proporționale cu numărul de înfășurări primare și implicit cu raportul de transformare.

În continuare s-a analizat cazul înfășurării primare formate din 18 spire, datele colectate fiind prezentate în Tabelele 5.3 și 5.4.

Ținând cont de raportul înfășurărilor și de valoare impedanței, care în cazul de față a crescut, se observă o scădere a curentului pe primar, iar aceste valori sunt prezentate în Tabelul 5.3.

Tabelul 5.3. Valorile curentului din primar în cazul transformatorului cu 18 înfășurări primare

Reactor \ Parametrii	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
	PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	4,07 [A]	4,08 [A]	2,38 [A]	2,40 [A]
Reactor 2	4,24 [A]	4,17 [A]	7,00 [A]	7,00 [A]
Reactor 3	4,12 [A]	4,13 [A]	2,70 [A]	2,79 [A]
Reactor 4	3,81 [A]	3,84 [A]	2,44 [A]	2,42 [A]

Valorile curenților pentru acest caz sunt semnificativ mai mici față de cazul precedent (10 înfășurări primare), și corespund unor valori ale tensiunii de ieșire apropiate pentru reactoarele 1 și 3, unde sunt obținute și în acest caz valorile maxime la frecvența de 30 kHz și factor de umplere 20%.

Pentru reactorul 2, la aceeași parametri, valoarea tensiunii diferă mai mult față de cazul precedent, fapt ce se datorează arhitecturii reactorului care prezintă un strat dielectric mai gros comparativ cu alte topologii. În cazul utilizării frecvenței de 60 kHz se observă o scădere similară a valorilor doar că în cazul acesta valorile sunt mai mici.

Tabelul 5.4. Valorile tensiunii de ieșire în cazul transformatorului cu 18 înfășurări primare

Reactor \ Parametrii	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
	PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	2717,57 [V]	2727,58 [V]	1162,28 [V]	1159,38 [V]
Reactor 2	2960,31 [V]	3001,96 [V]	1424,68 [V]	1424,68 [V]
Reactor 3	3858,57 [V]	4062,65 [V]	2070,7 [V]	2073,49 [V]
Reactor 4	2712,47 [V]	2720,6 [V]	1255,39 [V]	1308,8 [V]

Al treilea caz analizat este cazul înfășurării primare formate din 22 spire. După cum se observă din tabelele 5.5 și 5.6 atât valorile tensiunii de ieșire cât și valoarea curentului măsurat în primar scade. Ținând cont că ieșirea este formată practic dintr-un divizor de tensiune și că valoarea reactanței se modifică în funcție de inductanța primarului (implicit al numărului de spire), raportul de transformare scade, dar totodată trebuie ținut cont și de căderea de tensiune pe înfășurarea primară, care datorită valorii reactanței inductive este mai mare.

Valorile curentului pe primarul transformatorului sunt prezentate în tabelul 5.5, unde se observă efectul creșterii reactanței inductive pe primar, anume scăderea curentului.

Tabelul 5.5. Valorile curentului din primar în cazul transformatorului cu 22 înfășurări primare

Reactor	Parametrii	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
		PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1		3,29 [A]	3,29 [A]	2,02 [A]	1,98 [A]
Reactor 2		3,43 [A]	3,39 [A]	2,02 [A]	2,01 [A]
Reactor 3		3,35 [A]	3,35 [A]	2,22 [A]	2,23 [A]
Reactor 4		3,21 [A]	3,19 [A]	2,14 [A]	2,33 [A]

Pentru valorile tensiunii de ieșire, în cazul prezentat (22 de înfășurări primare) se observă în tabelul 5.6 o scădere proporțională cu creșterea numărului de spire, fapt datorat modificării raportului de transformare.

Tabelul 5.6. Valorile tensiunii de ieșire în cazul transformatorului cu 22 înfășurări primare

Reactor	Parametrii	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
		PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1		2717,56 [V]	2553,10 [V]	1252,26 [V]	1249,34 [V]
Reactor 2		2789,77 [V]	2681,95 [V]	1272,36 [V]	1263,25 [V]
Reactor 3		3619,06 [V]	3619,06 [V]	1859,67 [V]	1856,23 [V]
Reactor 4		2726,04 [V]	2795,67 [V]	1402,72 [V]	1672,35 [V]

Variațiile prezentate mai sus în celelalte două cazuri (10 respectiv 18 înfășurări primare) sunt proporționale cu cele din acest caz, singura diferență este valoarea care, deși apropiată, este mai mică.

5.1.2. Calculul capacității dinamice pentru sursa de alimentare cu TL494

Majoritatea descărcărilor DBD sunt simetrice, iar tensiunea oscilează cu aceeași frecvență atât în semialternanța pozitivă cât și în cea negativă. Din baza experimentală s-au extras valorile frecvenței cu ajutorul cărora s-au calculat valorile capacității dinamice.

Valorile obținute pentru capacitatea dinamică obținută în urma măsurării frecvenței sunt prezentate centralizat în tabelul 5.7.

Tabelul 5.7. Valorile capacității dinamice pentru experimentele efectuate cu sursa TL494

Parametrii		Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
		PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	10 înf.	0,67 pF	0,97 pF	0,43 pF	0,97 pF
	18 înf.	1,32 pF	1,73 pF	0,97 pF	0,97 pF
	22 înf.	0,43 pF	0,67 pF	0,67 pF	1,32 pF
Reactor 2	10 înf.	0,97 pF	0,43 pF	0,67 pF	0,67 pF
	18 înf.	0,97 pF	0,97 pF	1,32 pF	0,97 pF
	22 înf.	0,97 pF	0,97 pF	0,97 pF	0,43 pF
Reactor 3	10 înf.	0,43 pF	0,67 pF	0,24 pF	0,67 pF
	18 înf.	1,32 pF	1,32 pF	0,97 pF	0,97 pF
	22 înf.	0,97 pF	0,43 pF	0,97 pF	0,43 pF
Reactor 4	10 înf.	0,43 pF	0,67 pF	0,24 pF	0,97 pF
	18 înf.	1,32 pF	0,97 pF	0,97 pF	0,97 pF
	22 înf.	0,67 pF	0,97 pF	0,97 pF	0,67 pF

Valorile frecvențelor pentru descărcare sunt între 20 și 30 MHz ceea ce rezultă că valorile capacității dinamice sunt între valorile 0,43 și 0,97 pF.

5.2. Rezultatele experimentale obținute folosind sursa de alimentare cu SG2525

Parametrii electrici de alimentare ai sursei construite cu circuitul SG2525 sunt: tensiune de alimentare pentru partea de comandă 20V și tensiune de alimentare a circuitului de putere este de 48V, ambele în c.c. Totodată trebuie considerat că în acest caz faptul că tensiunea are doar polaritate pozitivă.

5.2.1. Parametrii electrici măsurați pentru sursa de alimentare cu SG2525

În Tabelele 5.8 și 5.9 sunt prezentați parametrii de curent primar respectiv tensiune de ieșire în cazul înfășurării primare formate din 10 spire.

Valorile curenților prezentați în tabelul 5.8 variază între valorile 0,8 și 6,64 A. Valoarea minimă a curentului a fost înregistrată pentru reactorul 3 la frecvența de 30 kHz și factor de umplere 20% iar curentul maxim a fost obținut pentru reactorul 1 la frecvența de 30kHz și factor de umplere 50%.

Tabelul 5.8. Valorile curentului din primar în cazul transformatorului cu 10 înfășurări primare

Parametrii		Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
		PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1		3,12 [A]	6,64 [A]	4,42 [A]	3,41 [A]
Reactor 2		3,12 [A]	5,85 [A]	2,15 [A]	3,53 [A]
Reactor 3		0,79 [A]	5,57 [A]	2,70 [A]	5,21 [A]
Reactor 4		4,08 [A]	3,39 [A]	4,97 [A]	2,47 [A]

În acest caz valorile maxime ale tensiunii nu corespund cu valorile maxime ale curenților, ca în cazul valorilor extrase cu sursa construită cu integratul TL494. Astfel pentru reactorul 2 la frecvența de 30kHz și factor de umplere 20% valoarea curentului este de 3,12 A, acestei valori îi corespunde o valoare a tensiunii de 9541,7 V. Pentru același reactor la aceeași frecvență, dar cu factor de umplere 50%, valorile sunt 5,85A și tensiunea de 4702,2V.

Tabelul 5.9. Valorile tensiunii de ieșire în cazul transformatorului cu 10 înfășurări primare

Reactor	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
	PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	5820,54 [V]	3838,12 [V]	1033,74 [V]	1962,04 [V]
Reactor 2	9541,74 [V]	4702,2 [V]	1899,44 [V]	1987,82 [V]
Reactor 3	4761,28 [V]	5120,26 [V]	1768,74 [V]	2461,24 [V]
Reactor 4	4761,28 [V]	4483,18 [V]	715,24 [V]	1524,65 [V]

În Tabelele 5.10 și 5.11 se pot observa curentul primar respectiv tensiunea de ieșire la utilizarea sursei de alimentare cu SG2525 în cazul înfășurării primare formate din 18 spire.

Tabelul 5.10. Valorile curentului din primar în cazul transformatorului cu 18 înfășurări primare

Reactor	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
	PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	2,91 [A]	4,46 [A]	3,78 [A]	4,20 [A]
Reactor 2	4,29 [A]	5,65 [A]	1,67 [A]	4,08 [A]
Reactor 3	4,04 [A]	5,07	2,38 [A]	4,70 [A]
Reactor 4	1,50 [A]	2,34 [A]	2,34 [A]	5,30 [A]

Tabelul 5.11. Valorile tensiunii de ieșire în cazul transformatorului cu 18 înfășurări primare

Reactor	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
	PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	4553,10 [V]	4489,28 [V]	3207,94 [V]	7536,67 [V]
Reactor 2	4416,59 [V]	3500,72 [V]	2074,97 [V]	6745,25 [V]
Reactor 3	4429,29 [V]	4178,01 [V]	3407 [V]	7511,22 [V]
Reactor 4	3489,60 [V]	4942,12 [V]	4942,12 [V]	5466,65 [V]

Tabelele 5.12 și 5.13 prezintă parametrii de ieșire pentru utilizarea sursei de alimentare cu SG2525 în cazul înfășurării primare formate din 22 spire.

Tabelul 5.12. Valorile curentului din primar în cazul transformatorului cu 22 înfășurări primare

Reactor	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
	PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	9,81 [A]	2,01 [A]	3,35 [A]	3,79 [A]
Reactor 2	3,88 [A]	2,85 [A]	3,31 [A]	4,84 [A]
Reactor 3	2,95 [A]	2,27 [V]	2,17 [A]	4,22 [A]
Reactor 4	1,42 [A]	1,88 [V]	3,91 [A]	3,79 [A]

Tabelul 5.13. Valorile tensiunii de ieșire în cazul transformatorului cu 22 înfășurări primare

Reactor	Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
	PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	5585,88 [V]	4481,68 [V]	5752,63 [V]	6765,54 [V]
Reactor 2	4855,16 [V]	4000,48 [V]	2113,89 [V]	4550,01 [V]
Reactor 3	4260,93 [V]	5089,36 [V]	2642,21 [V]	7955,38 [V]
Reactor 4	3764,24 [V]	4626,25 [V]	5091,55 [V]	981,35 [V]

5.2.2. Calculul capacității dinamice pentru sursa de alimentare cu SG2525

Pentru sursa cu SG2525, descărcările DBD sunt nesimetrice. Baza experimentală, în acest caz, prezintă valori ale frecvenței pentru unele cazuri, în unele cazuri nu s-au produs descărcări. Cu ajutorul frecvențelor descărcării s-au calculat valorile capacității dinamice.

Valorile obținute pentru capacitatea dinamică obținută în urma măsurării frecvenței sunt prezentate centralizat în Tabelul 5.14.

Tabelul 5.14. Valorile capacității dinamice pentru experimentele efectuate cu sursa SG2525

Parametrii		Frecvență 30 kHz		Frecvență 60 kHz	
		PWM 20%	PWM 50%	PWM 20%	PWM 50%
Reactor 1	10 înf.	21,21 pF	-	-	0,43 pF
	18 înf.	3,89 pF	-	-	0,24 pF
	22 înf.	-	-	-	-
Reactor 2	10 înf.	15,58 pF	15,58 pF	-	0,24 pF
	18 înf.	15,58 pF	27,71 pF	-	0,67 pF
	22 înf.	15,58 pF	21,21 pF	-	0,43 pF
Reactor 3	10 înf.	15,58 pF	21,21 pF	-	0,43 pF
	18 înf.	21,21 pF	15,58 pF	-	0,24 pF
	22 înf.	6,92 pF	15,58 pF	0,43 pF	0,24 pF
Reactor 4	10 înf.	21,21 pF	21,21 pF	-	-
	18 înf.	27,71 pF	21,21 pF	0,43 pF	0,43 pF
	22 înf.	15,58 pF	10,82 pF	0,67 pF	0,43 pF

Valorile frecvențelor pentru descărcare sunt între 5 și 30 MHz ceea ce rezultă că valorile capacității dinamice sunt între valorile 0,43 și 15,59 pF.

Concluzii

Prezenta teză de doctorat se încheie cu următoarele concluzii:

- plasma rece, poate fi produsă de diferite tipuri de descărcări electrice de laborator, cum sunt GlidArcul și descărcările de tip barieră dielectrică (DBD).
- Limitarea curentului la valori sub 1A nu permite evoluția descărcării electrice spre arc electric, care ar însemna creșterea substanțială a temperaturii particulelor din plasmă.
- Pentru producerea plasmă reci se pot utiliza surse de alimentare de curent continuu, de curent alternativ de joasă, medie sau înaltă frecvență sau în impulsuri.
- Un rol foarte important în creșterea randamentului pentru descărcări de tip plasmă rece, pe lângă construcția reactorului, îl au și sursele de alimentare. Utilizarea acestor surse este utilă în special pentru descărcări de tip DBD, care datorită canalelor multiple de plasmă și a faptului că descărcarea se stinge repede prin dispariția speciilor active produse, necesită o frecvență ridicată pentru menținerea lor și implicit a descărcărilor.
- Pentru realizarea părții experimentale s-au proiectat două surse de alimentare cu ajutorul cărora să se poată modela descărcări electrice de tip DBD.
- Pentru cele 4 topologii de reactor DBD considerate s-a calculat capacitatea statică, care exprimă valoarea în funcție de distanța dintre electrozi și dielectricul folosit. Este un parametru care definește descărcarea DBD și afectează parametrii electrici ai descărcării.
- O problemă importantă referitoare la descărcările DBD este capacitatea care apare în reactor. Având în vedere cele 4 topologii prezentate în această lucrare s-au extras datele necesare pentru calcularea valorilor dinamice ale capacității.
- Frecvența pentru ambele surse de alimentare este de 30 și 60 kHz, frecvența de descărcare măsurată este cuprinsă între 15 MHz și 40 MHz pentru alimentarea TL494 și între 5 MHz și 40 MHz pentru alimentarea SG2525. Determinarea capacității dinamice, în acest studiu, se bazează pe măsurarea tensiunii vârfului de descărcare a frecvenței sale și cunoașterea valorii inductanței înfășurării secundare.
- Cea mai bună descărcare DBD, din punct de vedere al condițiilor de apariție și parametrilor necesari amorsării și menținerii, a avut loc în reactorul tubular, în principal datorită utilizării electrodului intern din cupru și a electrodului exterior din aluminiu care a asigurat o bună emisivitate a electronilor.

Bibliografie

- [1] S. D. Anghel, *Fizica plasmei și aplicații*. Cluj-Napoca: Universitatea „Babeș-Bolyai” Cluj-Napoca.
- [2] I. I. Popescu, I. Iova, and E. Toader, *Fizica plasmei și aplicații*. București: Editura Științifică și Enciclopedică, 1981.
- [3] G. POPA and L. SIRGHI, *Bazele Fizicii Plasmei*. Iași: Facultatea de Fizică, Universitatea “Al. I. Cuza,” 2000.
- [4] I. I. Popescu and D. St. Ciobotaru, *Bazele fizicii plasmei*. Editura Tehnică, 1987.
- [5] S. Dan ANGHEL SIMON Alpár, “PLASMA DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ,” 2002.
- [6] R. Fitzpatrick, “Introduction to Plasma Physics: A graduate level course,” *Univ. Texas Austin, Austin, TX*, p. 242, 2006.
- [7] Hnatiuc Eugen, *PROCEDES ELECTRIQUES DE MESURE ET DE TRAITEMENT DES POLLUANTS*. Franța: Tec & Doc Lavoisier, 2002.
- [8] B. Hnatiuc, E. Hnatiuc, S. Pellerin, and J. Chapelle, “Experimental analysis of a double-spark ignition system,” *Czechoslov. J. Phys.*, vol. 56, no. 8, pp. 851–867, 2006, doi: 10.1007/s10582-006-0135-1.
- [9] U. Kogelschatz, “Fundamentals and applications of dielectric-barrier discharges FUNDAMENTALS AND APPLICATIONS OF DIELECTRIC-BARRIER DISCHARGES,” no. May, 2000.
- [10] E. Hnatiuc and B. Hnatiuc, *Aparate electrice*. Constanța: Editura Tehnopress, 2011.
- [11] G. Hortopan, G. Cosmin, and V. Panaite, *Aparate electrice de joasă tensiune*. București: Editura Tehnică, 1969.
- [12] Hnatiuc Bogdan, *APARATE ELECTRICE. Îndrumar de aplicații*. Constanța: Nautica, 2016.
- [13] B. HNATIUC, A. SABĂU, S. GHIȚĂ, M. HNATIUC, C. L. DUMITRACHE, S. ZĂGAN, “TRATAMENTE CU PLASMĂ NON-TERMICĂ PENTRU APLICAȚII DIN DOMENIUL NAVAL,” no. 4, 2014.
- [14] A. Sabău, B. Hnatiuc, S. GHIȚĂ, and M. HNATIUC, “MĂSURAREA PUTERII UTILE LA TRATAMENTUL CU PLASMĂ NON-TERMICĂ,” *Bul. AGIR, Supl. 3/2016*, vol. 2, pp. 108–112, 2016.
- [15] I. C. Felea, *STUDIUL POSIBILITĂȚILOR DE UTILIZARE A REACTORULUI DE TIP GLIDARC PENTRU BIODECONTAMINARE ÎN INSTALAȚII DE CONDIȚIONARE A AERULUI*. Iași: UNIVERSITATEA TEHNICĂ „GHEORGHE ASACHI” DIN IAȘI FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ, ENERGETICĂ ȘI INFORMATICĂ APLICATĂ, 2019.
- [16] Y. P. Raizer, *Gas discharge Physics*. Moscova, 1991.
- [17] C.-V. LUNGU and Bogdan HNATIUC, “STUDIUL COMPARATIV AL UNOR SURSE DE ALIMENTARE FOLOSITE PENTRU PRODUCEREA DESCĂRCĂRILOR ELECTRICE DE TIP PLASMĂ RECE,” *Bul. AGIR nr. 4/2017 octombrie-decembrie*, vol. 4, 2017.
- [18] Dragos-george Astanei and Hnatiuc Bogdan, “Surse de alimentare în impulsuri folosite pentru descărcări electrice de tip plasma rece,” 2000.
- [19] E. Hnatiuc, J. Brisset, B. Hnatiuc, R. Burlica, and C. Roman, “About electrochemical reactors with cold plasma discharges engineering,” in *European Research in Cold Plasma Applications Conference, Iasi*, 2007, pp. 99–126.
- [20] J. L. Brisset *et al.*, “Chemical Reactivity of Discharges and Temporal Post-Discharges in Plasma Treatment of Aqueous Media: Examples of Gliding Discharge Treated

- Solutions,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 47, no. 16, pp. 5761–5781, 2008, doi: 10.1021/ie701759y.
- [21] F. Peeters and T. Butterworth, “Electrical Diagnostics of Dielectric Barrier Discharges,” in *Atmospheric Pressure Plasma - from Diagnostics to Applications*, no. tourism, IntechOpen, 2019, p. 13.
- [22] C. dr ing Bogdan HNATIUC, ȘI dr ing Adrian SABĂU, L. dr Simona GHIȚĂ, C. dr ing Mihaela HNATIUC, D. ing Remus ZĂGAN, and C. dr Eugen DUMITRU, “PRODUCEREA APEI ACTIVATE CU PLASMĂ PENTRU APLICAȚII DE DECONTAMINARE,” *Bul. AGIR nr. 4/2015 • octombrie-decembrie*.
- [23] D. G Astanei and B. Hnatiuc, “Surse de alimentare in impulsuri folosite pentru descarcari electrice de tip plasma rece,” 2000.
- [24] “Descărcare barieră dielectrică (DBD) | Institutul de Inginerie a Proceselor Interfaciale și Tehnologia Plasmei Universitatea din Stuttgart.” <https://www.igvp.uni-stuttgart.de/en/research/plasma-technology/sources/barrier/> (accessed Aug. 31, 2021).
- [25] M. Cojan, A. Simion, and L. M. Livadaru, “PROCEDEU DE OBȚINERE A PLASMEI RECI, TIP ARC GLISANT,” 95-01767A, 1997.
- [26] B. Hnatiuc, A. Sabau, C. Petrescu, and M. Wartel, “Characterization of different types of gliding discharges: Electrical parameters and breakdown simulation,” *Proc. 2016 Int. Conf. Expo. Electr. Power Eng. EPE 2016*, pp. 102–105, 2016, doi: 10.1109/ICEPE.2016.7781312.
- [27] C. Ferrand, *Caractérisation de sources plasmas dédiées à la simulation de rentrées atmosphériques et au traitement de polluants : arc soufflé basse pression et décharge glissante atmosphérique*. 2004.
- [28] J. L. Brisset and E. Hnatiuc, “Peroxynitrite: A re-examination of the chemical properties of non-thermal discharges burning in air over aqueous solutions,” *Plasma Chem. Plasma Process.*, vol. 32, no. 4, pp. 655–674, Aug. 2012, doi: 10.1007/s11090-012-9384-x.
- [29] S. P. S. Ghiță, J.-M. Herryb, B. Hnatiuca, M. Guilbaudb, M. Hnatiuca, A. Sabăua, F. Faubertc, M. Wartelc, “Influence of the Non-Thermal Plasma Treatment Concerning the Growth of Microorganisms on a Naval Steel Surface,” *Biofouling*, pp. 1–17, 2006.
- [30] H. D. Stryczewska, “Supply systems of non-thermal plasma reactors. Construction review with examples of applications,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 10, no. 9. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, p. 3242, May 07, 2020, doi: 10.3390/app10093242.
- [31] R. Burlica, B. Hnatiuc, E. Hnatiuc, and M. Ursachi, “Effect of electrical current on H₂/H₂O₂ generation in non-thermal plasma gliding arc reactors,” *Environ. Eng. Manag. J.*, vol. 10, no. 4, pp. 579–585, 2011, doi: 10.30638/eemj.2011.080.
- [32] M. Moreau *et al.*, “Gliding Arc Discharge in the Potato Pathogen *Erwinia carotovora* subsp. *atroseptica* : Mechanism of Lethal Action and Effect on Membrane-Associated Molecules,” *Appl. Environ. Microbiol.*, vol. 73, no. 18, pp. 5904–5910, Sep. 2007, doi: 10.1128/AEM.00662-07.
- [33] E. Hnatiuc and B. Hnatiuc, “Sistem multielectrod pentru realizarea reactoarelor electrochimice cu plasmă rece și circuit pentru comanda și reglarea funcționării acestuia,” 112225B, 1996.
- [34] A. Czernichowski, B. Hnatiuc, P. Pastva, and A. Ranaivosoloarimanana, “Générateurs et circuits électriques pour alimenter des décharges instables de haute tension,” FR2817444A1 în Franța, US2002093294 în S.U.A, 2000.
- [35] R. Burlica, E. Hnatiuc, B. Hnatiuc, and M. I. URSACHE, “DISPOZITIV CU PLASMĂ RECE ȘI ELECTROZI NESIMETRICI DESTINAT REFORMĂRII COMPUȘILOR ORGANICI ÎN VEDEREA OBȚINERII HIDROGENULUI,” RO

- 128078 B1, 2017.
- [36] E. Hnatiuc, J. L. Brisset, and B. Hnatiuc, "The ignition and control condition for the useful discharge in a glidarc reactor with plane geometry and auxiliary electrodes," *Proc. Int. Conf. Optim. Electr. Electron. Equipment, OPTIM*, pp. 1349–1354, 2010, doi: 10.1109/OPTIM.2010.5510550.
- [37] A. Czernichowski, "Plasmas pour la destruction de l'H₂S et des mercaptans," *Oil Gas Sci. Technol.*, vol. 54, no. 3, pp. 337–355, May 1999, doi: 10.2516/OGST:1999031.
- [38] L. Jaroszyński, "Computer simulation of the supply systems of the gliding arc plasma reactors," *4 th Int. Conf. ELMECO*, no. September 2003, pp. 109–114, 2003.
- [39] L. Jaroszyński and H. D. Stryczewska, "Numerical Analysis of the Integrated Supply System of Glidarc Plasma Reactor," no. June, 1990, doi: 10.13140/2.1.1794.9124.
- [40] R. Burlica and B. R. Locke, "Pulsed plasma gliding-arc discharges with water spray," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 44, no. 2, pp. 482–489, 2008, doi: 10.1109/TIA.2008.916603.
- [41] I. D. Dirlau, R. Burlica, and D. Ș. Astanei, "EFFECT OF NON-THERMAL PLASMA ON MOLECULAR SPECIES FORMED IN WATER BASED SOLUTION," *Bul. INSTITUTULUI Politeh. DIN IAȘI*, vol. 63, no. 67, pp. 10–20, 2017.
- [42] B. Hnatiuc, M. Hnatiuc, C. Petrescu, and D. Astanei, "Ignition modelling of a double sparking plug for internal combustion engines," *EPE 2014 - Proc. 2014 Int. Conf. Expo. Electr. Power Eng.*, pp. 226–230, 2014, doi: 10.1109/ICEPE.2014.6969902.
- [43] "Cum se fabrica bujiile cu scânteie? - Denso." <https://www.denso.ro/noutăți/știri-corporate/2016/cum-se-fabrica-bujiile-cu-scanteie/> (accessed Aug. 31, 2021).
- [44] B. Hnatiuc, A. Sabau, and D. Astanei, "Classic spark simulation using COMSOL software," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 591, no. 1, Aug. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/591/1/012050.
- [45] S. K. Sharma and A. Shyam, "Design and testing of 45 kV, 50 kHz pulse power supply for dielectric barrier discharges," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 87, no. 10, 2016, doi: 10.1063/1.4964507.
- [46] "MOSFET 48N50 ." <https://www.digchip.com/datasheets/parts/datasheet/244/48N50-pdf.php> (accessed Sep. 01, 2021).
- [47] H. T. Truong, M. Hayashi, Y. Uesugi, Y. Tanaka, and T. Ishijima, "Novel design of high voltage pulse source for efficient dielectric barrier discharge generation by using silicon diodes for alternating current," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 88, no. 6, 2017, doi: 10.1063/1.4984947.
- [48] "Agilent Technologies InfiniiVision 6000L Series Low-Profile Oscilloscopes The most space efficient , and affordable LXI C compliant oscilloscopes Four channels in only 1U space." <http://www.distek.ro/en/Product/Agilent-DSO6054L-Modular-Oscilloscope-4-x-500-MHz-380>.
- [49] S. Kalisiak, T. Jakubowski, and M. Balcerak, "Power Electronic Supply Systems For Non-Thermal Plasma Sources Outline :," pp. 6–10, 2010.
- [50] "Modul în care circuitul de conversie a convertorului pfc îmbunătățește calitatea alimentării - Știri 2021." <https://ro.answersexpress.com/how-boost-pfc-converter-circuit-improves-power-quality-55256> (accessed Aug. 31, 2021).
- [51] D. STAIKU, *SISTEME CRISTALE LICHIDE-POLIMERI. METODE FIZICE DE ANALIZĂ - Teză de doctorat*. București: UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI Facultatea de Fizică Școala Doctorală de Fizică, 2018.
- [52] S. Gaur, G. Vergason, V. Technology, and V. Etten, "Plasma Polymerization: Theory and Practice," *Soc. Vac. Coaters 43rd Annu. Tech. Conf. Proc.*, pp. 267–271, 2000.
- [53] S. D. ANGHEL and S. Alpár, *PLASMA DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ*. Cluj-Napoca: NapocaStar, 2002.

- [54] M. Asandulesa, I. Topala, V. Pohoata, and N. Dumitrascu, "Influence of operational parameters on plasma polymerization process at atmospheric pressure," *J. Appl. Phys.*, vol. 108, no. 9, Nov. 2010, doi: 10.1063/1.3506528.
- [55] "Tabor Electronics WW5064 ." <https://www.taborelec.com/ww5064> (accessed Aug. 31, 2021).
- [56] "Trek PD07016 | Amplificatoare de înaltă tensiune | Energie avansată." <https://www.advancedenergy.com/products/high-voltage-products/high-voltage-amplifiers/standard-high-speed-amplifiers/trek-PD07016/> (accessed Sep. 01, 2021).
- [57] O. Levasseur *et al.*, "Deposition of Hydrophobic Functional Groups on Wood Surfaces Using Atmospheric-Pressure Dielectric Barrier Discharge in Helium-Hexamethyldisiloxane Gas Mixtures," *Plasma Process. Polym.*, vol. 9, no. 11–12, pp. 1168–1175, Dec. 2012, doi: 10.1002/PPAP.201100222.
- [58] D. Merche, N. Vandencastele, and F. Reniers, "Atmospheric plasmas for thin film deposition: A critical review," *Thin Solid Films*, vol. 520, no. 13. pp. 4219–4236, Apr. 30, 2012, doi: 10.1016/j.tsf.2012.01.026.
- [59] O. Levasseur *et al.*, "Deposition of hydrophobic functional groups on wood surfaces using atmospheric-pressure dielectric barrier discharge in helium-hexamethyldisiloxane gas mixtures," *Plasma Process. Polym.*, vol. 9, no. 11–12, pp. 1168–1175, 2012, doi: 10.1002/ppap.201100222.
- [60] T. Kelley, "Agilent 33120A Signal Generator UTA Quick Guide." https://cdn.web.uta.edu/-/media/project/website/engineering/electrical-department/_documents/agilent_33120a_signal_generator_guide_ver_1_00.ashx?revision=4d711a43-d110-4fd3-abdf-ea7f1ba087cd (accessed Aug. 31, 2021).
- [61] N. Naudé, J.-P. Cambronne, N. Gherardi, and F. Massines, "Electrical model and analysis of the transition from an atmospheric pressure Townsend discharge to a filamentary discharge," *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 38, no. 4, p. 530, Feb. 2005, doi: 10.1088/0022-3727/38/4/004.
- [62] M.-V. Teodorescu, *Surse de plasmă de radiofrecvență cu barieră de dielectric - REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT*. UNIVERSITATEA DIN BUCUREȘTI Școala Doctorală de Fizică, 2012.
- [63] D. C. TUDORAN, M. C. TUDORAN, and V. SURDUCAN, "REACTOR CU PLASMĂ RECE PENTRU OBTINEREA COMBUSTIBILULUI BIODIESEL," RO 131043 B1, 2021.
- [64] G. Anastopoulos, Y. Zannikou, S. Stournas, and S. Kalligeros, "Transesterification of Vegetable Oils with Ethanol and Characterization of the Key Fuel Properties of Ethyl Esters," vol. 2, pp. 362–376, 2009, doi: 10.3390/en20200362.
- [65] "AT89S52 ." <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/82390/ATMEL/AT89S52.html> (accessed Sep. 02, 2021).
- [66] "βAA145 – Circuit de comanda in faza – Tehnium.org." <http://www.tehnium.org/2020/06/14/βaa145-circuit-de-comanda-in-faza/> (accessed Sep. 02, 2021).
- [67] C. V Lungu and B. Hnatiuc, "Influence of the electric discharge and the power supply on the aqueous solution interface parameters," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 591, no. 1, doi: 10.1088/1757-899X/591/1/012054.
- [68] "Bobina inductie pentru olcit." https://www.autopieseonline24.ro/citroen/olcit/8295/10250/bobina_inductie (accessed Sep. 02, 2021).
- [69] "Schema internă a transformatorului utilizat împreună cu sursa construită pe baza microcontroller-ului AT89S52."

- <https://www.hrdiemen.com/reparation/flyback/scheme/7255> (accessed Sep. 02, 2021).
- [70] L. C. Victor and H. Bogdan, "Cold Plasma Treatment Influence on Aqueous Solution Related to the Electrical Parameters of the Power Supply," in *2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems, SIELMEN 2019 - Proceedings*, Oct. 2019, pp. 1–6, doi: 10.1109/SIELMEN.2019.8905791.
- [71] M. J. Pavlovich *et al.*, "Air spark-like plasma source for antimicrobial NOx generation," *J. Phys. D. Appl. Phys.*, vol. 47, no. 50, 2014, doi: 10.1088/0022-3727/47/50/505202.
- [72] C. V. Lungu and B. Hnatiuc, "Simulation of power supplies used for nonlinear electrical discharges," *Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*, vol. 2, no. 1. pp. 79–84, 2020, doi: 10.47577/technium.v2i1.45.
- [73] C. Victor and B. Hnatiuc, "Electrical simulation of discharges producing non-thermal plasma," *Sci. Conf. Dr. Sch. SCDS-UDJG*, no. June, p. 2019, 2019.
- [74] C. V Lungu and B. Hnatiuc, "DIELECTRIC BARRIER DISCHARGE ANALYSIS FROM THE POINT OF VIEW OF SUPPLY VOLTAGE AND REACTOR TOPOLOGY," *Mod. Technol. Ind. Eng.*
- [75] B. R. Priya Rani and M. T. Sebastian, "The effect of glass addition on the dielectric properties of barium strontium titanate," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 19, no. 1, pp. 39–44, Jan. 2008, doi: 10.1007/S10854-007-9224-6.
- [76] L. C. Victor, "Experimental determination of Dielectric Barrier Discharge (DBD) type reactors capacity," pp. 0–3.