

*„Instalatie si tehnologie pentru reciclarea deseurilor prin dezasamblarea
selectiva cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune”
Acronim ITESEDEZ*

Finațare: - bugetul de stat + cofinanțarea partenerilor P1 si P2.

Contract: 84/2014

Cod proiect: PN-II-PT-PCCA-2013-4 -1100

Rezumat

Echipele de cercetare

Rezultate preconizate

Rapoarte de activitate – stadiul și rezultatele obținute

Etapa I – 2014

Rezumat:

Tema proiectului se incadreaza in aria tematica corespunzatoare domeniului privitor la MEDIU, si se refera la „instalatie si tehnologia pentru reciclarea prin dezasamblarea selectiva cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune” a deseurilor provenite de la echipamentele electrice/electronice precum si pentru recuperarea metalelor feroase si neferoase din zgura rezultata in urma arderii reziduurilor menajere.

Metoda propusa este o electrotehnologie de avangarda și in acest moment se cunoaste doar un singur producator european de astfel de echipamente. Chiar si acest producator aplica metoda in mod exceptional la dezasamblarea selectiva a deseurilor provenite din echipamentele electrice si electronice (DEEE), instalatiile fiind destinate preferential fragmentarii selective a rocilor, cu aplicatii in industria extractiva. Motivul acestei limitari consta in primul rand in faptul ca desi, metoda este deosebit de performanta din punct de vedere tehnic, randamentul ei energetic este destul de slab, deoarece generatorul de impulsuri repetabile de inalta tensiune si mare putere, partea principala a instalatiei, este un consumator apreciabil de energie electrica.

Ideea si in acelasi timp, noutatea prezentului proiect consta in aplicarea unei metode relativ cunoscute in tehnica de incercari la inalta tensiune - principiul schemelor sintetice - la constructia generatorului de impulsuri repetabile, ca parte componenta a instalatiei propuse ca model experimental. Se va realiza astfel, un nou tip de dispozitiv de productie a impulsurilor repetabile de inalta tensiune mult mai performant si versatil din punct de vedere al parametrilor caracteristici ai impulsurilor.

Astfel, desi vom avea doua generatoare de impuls - unul de tensiune si celalalt de curent - care vor functiona sincronizat, consumul de energie specifica va fi redus cu cca 50% deoarece cantitatea de energie specifica fiecarui generator ($CU^2/2$) va fi mult mai mica.

Generatorul de impuls de tensiune are rolul de a crea canalele de descarcare disruptiva in masa materialului solid, in timp ce generatorul de impuls de curent va determina formarea plasmei si dezasamblarea materialului.

Odata realizat, modelul experimental ca si tehnologia aferenta, vor fi validate din punct de vedere al functionalitatii si utilitatii si vor fi implementate in mediul industrial autohton.

Implementarea vizeaza domeniul prioritar MEDIU, (dezasamblarea selectiva a DEEE si recuperarea metalelor din zgura rezultata in urma arderii deseurilor menajere) dar si fragmentarea selectiva a rocilor conglomerate.

Echipele de cercetare:

CO – INCDIE ICPE-CA, Bucuresti:

Dr. ing. MIHAI BADIC – director de proiect

Dr. Ing. Jana Pinteana – persoană cheie

Ing. Cristian Morari

Ing. Ionut Balan

Dr.Ing. Georgeta Alecu

Ing. Aristofan Teisanu

Ing. Iulian Iordache

Ing. Andreea Voinea

Tehn. Mihai Brezeanu

P1. – UPS PILOT ARM SRL Targoviste

1. Chereches Tudor – responsabil proiect
2. Lixandru Paul –responsabil stiintific
3. Ghizdavu Victor- cercetator senior
4. Tuca Constantin – cercetator senior
5. Dragnea Daniel – cercetator
6. Rotariu Adrian – cercetator
7. Trana Eugen – Cercetator
8. Toader Ion- cercetator
9. Toader Razvan – cercetator
10. Boboc Alina Gabriela Responsabil economic

P2 – SILVER TRADING SRL

Ing. Eduard Ilie

Ing. Branza George

Ing. Popescu Gabriel

Ing. Vass Alexandru

Ing. Badea Gabriela

Ing. Dobre Aurelian

Maistru Turbatu Gheorghe

Lacatus Alexandru Aurel

Instalator Nistor Vasile

Sudor Druga Iulian

Rezultate preconizate:

Obiectivele generale ale proiectului sunt in concordanta cu incadrarea lui tematica:

1. Elaborarea unei electrotehnologii eficiente/de succes, care sa asigure dezasamblarea selectiva a deseurilor, eliminand etapele uzate moral (maruntirea, separarea manuala a fractiilor, etc.) si susceptibile de contaminare (mediu si/sau personal).

2. Construirea unui model experimental de echipament care sa valideze si sa promoveze aceasta electrotehnologie.

Rezultate preconizate - Construirea unui generator eficient, capabil sa furnizeze impulsuri de mare putere, la inalta tensiune, care sa asigure dezvoltarea canalelor de plasma in masa materialului solid si in consecinta, fragmentarea selectiva a deseurilor.

Rapoarte de activitate – stadiul și rezultatele obținute

Etapa I – 2014

PARTENERIATE IN DOMENII PRIORITARE

Raport Stiintific si tehnic (RST)

Denumire proiect

***„Instalatie si tehnologie pentru reciclarea deseurilor prin
dezasamblarea selectiva cu ajutorul impulsurilor electrice de
inalta tensiune”***

ACRONIM ITESEDEZ

Contract nr 84/2014

Nr PN-II-PT-PCCA-2013-4-1 100

Etapă de executie 1/2014

***„Cercetari privind elaborarea unei noi solutii tehnice pentru dezamblarea selectiva a
deseurilor cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune”***

- X RST in extenso**
- X Proces verbal de avizare interna**

**Director de Proiect
Dr. Ing. Mihai Badic**

Rezumatul etapei 1/2014

Deseurile sunt parte dintr-o materie/material ce rezulta in urma unui proces tehnologic de realizare a unui produs si sunt neutilizabile in cadrul aceluiasi proces

Deseurile au fost clasificate conform fig.1 [1].

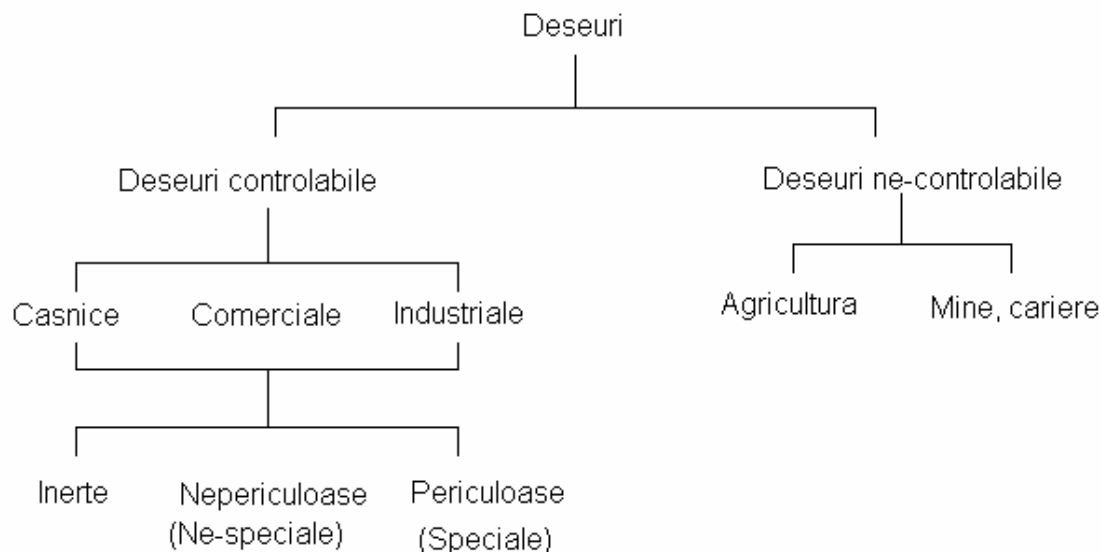


Fig. 1 Clasificarea deșeurilor

Toate tipurile de deșeuri, pun probleme de depozitare sau de estetica, dar, sunt și o sursă de poluare ce amenință sănătatea oamenilor și a mediului înconjurător. Toate deșeurile degradează mediul înconjurător, contaminând apele subterane. Dezvoltarea industriei, de orice fel, a dus la creșterea cantității de deșeuri, precum și la varietatea acestora.

Un exemplu care poate ilustra atât cantitatea de deșeuri, cât și varietatea acestora este cel al SUA, unde, anual iau drumul gunoierului 7 miliarde de cutii de conserve, 38 milioane de cauciucuri uzate, 7 milioane televizoare scoase din uz, 7 milioane automobile uzate, 35 milioane de tone de hârtie. Iar dintre aceste deșeuri doar hârtia este biodegradabilă, celelalte deșeuri fiind nedegradabile.

Pentru menținerea unui mediu de viață sănătos, deșeurile trebuie eliminate prin diferite metode sau reciclate. Pe plan mondial și național se utilizează din ce în ce mai mult depozitarea deșeurilor în gropi ecologice realizate în afara marilor orașe. Prin diferite mijloace speciale se izolează stratul de gunoier de sol pentru a evita contaminarea acestuia. Gropile de gunoier se acoperă apoi cu pământ, ceea ce ușurează și accelerează activitatea de descompunere. După un număr de ani, gropile ecologice devin terenuri apte de a fi transformate în parcuri, grădini, etc.

Arderea deșeurilor este o soluție definitivă de înlăturare a acestora. Transformarea deșeurilor biodegradabile în compost este o altă metodă prin care aceste deșeuri devin îngrășământ natural.

Deseurile menajere sunt reziduuri solide, colectate din locuințele populației și sunt constituite în general din hârtie, plastic, materiale textile, ceramică, metale, sticlă, ambalaje, baterii, anvelope, uleiuri și nu în ultimul rând resturi alimentare.

Majoritatea acestora sunt biodegradabile, dar recipientele de metal, aluminiu, plasticul, si sticla acestea nu se degradeaza deloc sau dupa un interval de timp foarte mare.

De aceea, se impune ca aceste deseuri sa fie colectate, recuperate, reciclate si prelucrate pentru a face posibila refolosirea lor. Tinand cont de caracterul limitat al resurselor naturale, reciclarea deseurilor prezinta atat avantaje ecologice (inlaturarea poluarea mediului) cat si economice (economisirea de materii prime si energie).

Deseurile care se valorifica partial sau integral sunt metalele feroase, neferoase si pretioase, deseurile chimice (deseurile din cauciuc), deseurile din hartie, textile, sticla.

De exemplu, numai prin reintroducerea in procesul de fabricatie a cioburilor de sticla se pot obtine 20% reduceri la consumul de energie, 10% reduceri de combustibil, 50% reducerea costului de materii prime (nisip de cuar, piatra de var, carbonat de sodiu si alte materiale auxiliare).

In clasa procedeelor noi pentru dezasamblarea ecologica a deseurilor, putem include cel putin trei metode care pot fi folosite distinct sau combinat:

- separarea electrostatica- efect corona;
- separarea cu ajutorul microundelor;
- fragmentarea selectiva cu impulsuri repetitive de inalta tensiune.

Metodele noi s-au afirmat in ultimul timp datorita faptului ca cele clasice prezinta inconveniente: fie sunt mari consumatoare de energie, fie au un impact asupra mediului prin emisii toxice (lichide, gaze). Totusi nu este exclus ca procedeele noi sa lucreze in tandem cu procedeele clasice pentru marirea productivitatii/rendamentului.

Metoda de fragmentarea selectiva cu impulsuri repetitive de inalta tensiune, necesita caracteristici speciale ale impulsului in special in ceea ce priveste timpul de crestere (rise time). Astfel, asa cum se observa din figura de mai jos (figura 2) pentru ca descarcarea sa se produca preponderent prin solid si nu prin mediul dielectric (apa sau ulei), este necesar ca timpul de crestere sa fie mai mic de 500ns. Valoarea tensiunii maxime a impulsurilor repetitive se gaseste in intervalul 150-500kV. Peste aceasta tensiune incep sa apara probleme restrictive privind izolatia.

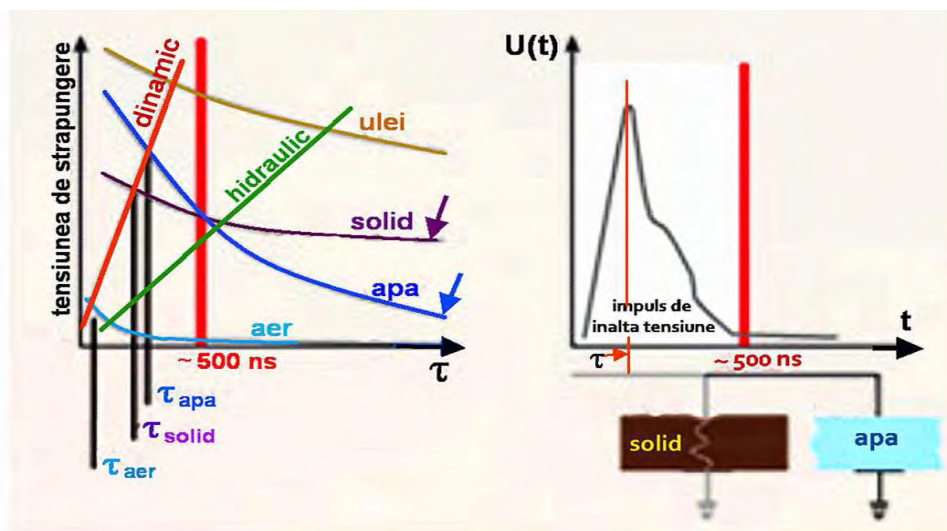


Fig. 2. Fenomenologia fragmentarii selective cu impulsuri de inalta tensiune. Rezistenta la strangere pentru diferite materiale functie de timpul de crestere al impulsului.

Schema bloc a instalatiei se poate urmări în figura 3. Ea cuprinde sursa de înaltă tensiune și relativ mare putere care asigură încărcarea condensatorilor, generatorul de impulsuri repetitive cu timp de creștere corespunzător și recipientul de procesare în care se află mediul dielectric (apa, ulei, etc.) respectiv materialul de procesat.

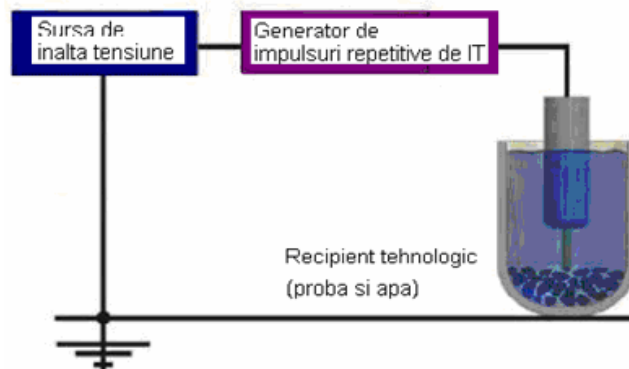


Fig. 3. Reprezentarea principiului de fragmentare selectivă, cu ajutorul impulsurilor repetabile de înaltă tensiune

În timpul procesului de faramitare a PCB prin impulsuri HV, impulsurile sunt aplicate printr-un electrod de lucru, pentru a forma un câmp electric între acești doi electrozi, conform fig. 4.

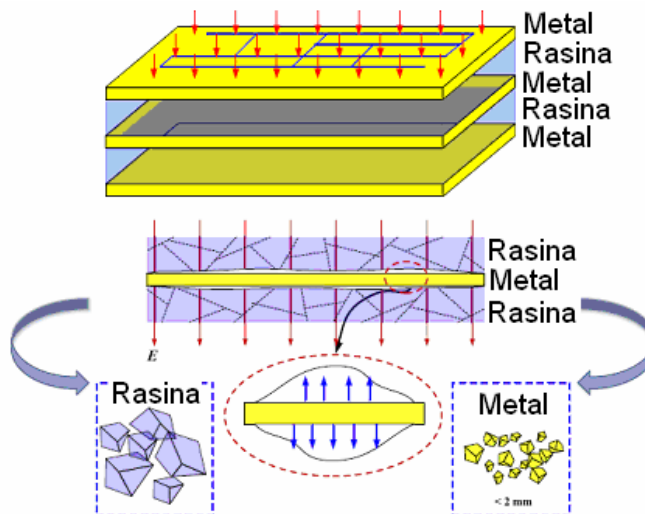


Fig. 4. Formarea și mărirea canalului de descărcare [9].

Sub acțiunea câmpului electric aplicat " E ", foaia de cupru produce suficiente sarcini de polarizare; rezultatul este o creștere a numărului de sarcini electrice pozitive și negative ce se acumulează pe cele două fețe ale cuprului: superioară și inferioară. Rasina epoxi și fibrele de sticlă, de asemenea prezintă fenomenul de polarizare sub influența câmpului electric; prin distorsionarea câmpului electric la interfața diferitelor materiale, în cazul nostru fie dintre cupru și rasina epoxi, fie dintre rasina epoxi și fibra de sticlă, intensitatea câmpului electric crește, probabil mai mult la interfața dintre cupru și rasina epoxi.

Distrugerea materialelor solide prin descarcari electrice in impulsuri numita uneori *"fragmentare electrodinamica"* a fost investigata pentru prima data la inceputul anilor '60 in fosta URSS, la Universitatea Politehnica din Tomsk [14]. In principal, s-a urmarit aplicarea acestei tehnologii la dezintegrarea rocilor pentru obtinerea unei productii mai mari de minerale si cristale pretioase, pastrand forma si dimensiunile originale. Tot la Universitatea Politehnica din Tomsk, *s-a descoperit pentru prima data efectul de crestere a rezistentei de strapungere a apei fata de cea a materialului solid imersat in apa in cazul aplicarii unor impulsuri cu timpi de crestere mici* [15]. La AWE (Atomic Weapons Establishment) din Aldermaston, Anglia, acest efect a fost folosit la proiectarea liniilor de formare a impulsurilor de mare putere, la impedanta mica, cu apa drept dielectric [16].

In 1995, Centrul German de Cercetari Karlsruhe (Forschungszentrum Karlsruhe, FZK) s-a angajat intr-un program de cercetare & dezvoltare de anvergura pentru a explora posibilele aplicatii industriale ale fragmentarii selective. De atunci FZK a construit cateva instalatii pilot special (FRANKA 0, FRANKA 1, FRANKA 2 numit si FRANKA-Stein) si a investigat fragmentarea multor materiale din domeniul mineralogiei, materiilor prime si compozitelor. FZK a demonstrat avantajele in comparatie cu fragmentarea mecanica si potentialul de comercializare al acestei tehnologii. [15, 17] Acum, grupul Ammann (Ammann-Group) din Elvetia produce, sub licenta globala a FZK, aceasta tehnologie patentata, disponibila in comert. Echipamentele realizate de Ammann-Group sunt cunoscute sub denumirea de Selfrag Lab si au urmatoarele domenii de aplicatie: Cercetare academica in domeniul geostiintei; explorarea asezarilor miniere; analiza compozitiei materiilor prime; analiza si recuperarea metalelor din deseuri ca materii prime secundare.

Tinand seama de articolele si documentatiile emergente din cele trei surse mentionate se pot comunica parametrii de baza ai unei astfel de instalatii (tabel 1).

Tabel 1. Parametrii de baza ai unei instalatii de fragmentare selectiva cu ajutorul impulsurilor de inalta tensiune

Nr.	Parametru	Valoare	Observatie
1.	Tensiunea maxima (de varf) a impulsurilor	150-500kV	Tipic 200kV; peste 500kV costurile cu izolatia devin prohibitive
2.	Frecventa de repetitie a impulsurilor	1-45Hz	Tipic 5-10Hz
3.	Durata unui impuls	$< 5\mu s$	-
4.	Energia unui impuls	0.8-20kJ	Tipic 5kJ (exemplu 7-19kJ pentru procesarea betonului)
5.	Puterea instalatiei	3-15kVA	Tipic 12kVA (<i>selfrag</i>)
6.	Timp de creste al impulsului	$< 500ns$	Tipic 300ns
7.	Valoarea condensatorului de stocare a energiei	1-100nF	Tipic 20nF
8.	Distanta dintre electrod si obiect	1-120mm	Tipic 5mm
9.	Volumul tancului de procesare	2-5dm ³	Tipic 3dm ³
10.	Volumul materialului de procesat.	cca 1dm ³	-

În privința vasului/tancului de procesare, el este umplut cu un mediu lichid care poate fi apă, apă deionizată, ulei sau alt lichid dielectric. Procesul are loc în regim închis, deschis sau etans funcție de aplicație.

Pentru producerea impulsurilor repetitive de înaltă tensiune/mare putere se folosesc mai multe soluții constructive, fiecare având caracteristici tehnice ce prezintă avantaje/dezavantaje în raport cu scopul propus:

- soluții constructive derivate din schema clasică a generatoarelor de impuls de tensiune – generatoare de tip Marx;
- soluții constructive derivate din schema clasică a generatorului de impuls de curent;
- scheme de producere a impulsurilor cu transformator și element de comutație de tip tiristor/tiratron;
- montaje electronice având la bază elemente de amplificare/comutație moderne (IGCT – *Integrated Gate-Comutated Thyristor*, IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor*)

În cadrul acestei etape s-a efectuat o prezentare critică a principiilor de funcționare ale unor generatoare de impuls, așa cum apar ele în literatura de specialitate, relativ la aplicația specificată, în vederea stabilirii soluției/soluțiilor constructive adoptate.

- **Generatorul de tip Marx.** În schema echivalentă din fig.5, C_i reprezintă condensatorul de stocare care se încarcă prin rezistența R_c până la tensiunea de străpungere a eclatorului SG, adică V_0 . La născut astfel, tensiunea de impuls V_i , pe care o regăsim la bornele condensatorului de sarcină C_l . Acest condensator este încărcat prin rezistența de front R_f care determină frontul impulsului. În același timp condensatorul C_i se descarcă și prin rezistența de spate R_t , care determină astfel spatele/coada unde.

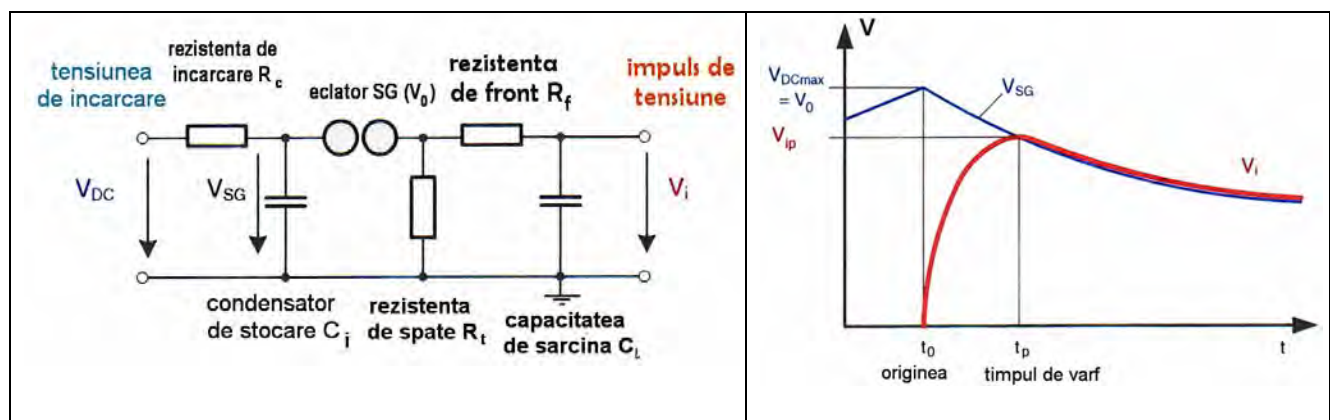


Fig. 5. Schema echivalentă a celulei elementare a generatorului de impuls de tensiune și graficul tensiunilor corespunzătoare [18].

Superpoziția acestor două procese formează varful tensiunii V_{ip} care este inferior tensiunii de străpungere V_0 . Relația dintre cele două tensiuni definește factorul de eficiență a unui generator de impuls elementar (cu un singur etaj):

$$\eta = \frac{V_p}{V_0} < 1; \quad \eta = \eta_s \cdot \eta_c \quad (1)$$

Factorul de eficienta poate fi definit ca produsul dintre η_s (eficienta care depinde de forma impulsului) si eficienta η_c (care depinde de parametrii circuitului) [19]:

- η_s creste cu relatia dintre timpul de spate si timpul de front (pentru unda 1,2/50 μ s aceasata relatie este cca 40, in timp ce pentru unda 250/2500, valoarea este de 10).
- η_c depinde in principal de relatia dintre condensatorul de stocare C_i si condensatorul de sarcina C_l . (cu cat este mai mare C_i in raport cu C_l , cu atat creste η_c).

Trebuie mentionat ca pentru impulsul LI factorul de eficienta este relativ ridicat ($\eta \approx 0.85 \dots 0.95$) in timp ce pentru impulsul SI, acest factor este destul de scazut ($\eta \approx 0.7 \dots 0.8$).

De asemenea, trebuie mentionat ca exista si o alta schema echivalenta care are rezistenta de spate situata dupa rezistente de front, dar acest circuit are un factor de eficienta mai scazut.

Frontul impulsului este determinat in principal de constanta de timp τ_f respectiv spatele de constanta de spate τ_t .

$$\tau_f = R_f C_i; \quad \tau_t = R_t C_l$$

Astfel, pentru un generator cu valori fixe pentru C_i si C_l , timpul de front poate fi modificat prin R_f , respectiv timpul de semiamplitudine prin R_t .

Evident, energia generatorului este data de relatia :

$$W_i = \frac{1}{2} C_i V_{0 \max}^2 \quad (2)$$

O **conditie necesara** pentru generatorul de impuls este $C_i \gg C_l$,

Pentru generarea de impulsuri cu tensiuni mai mari decat 200kV se folosesc generatoare de tip Marx (1923) cu circuite de multiplicare.

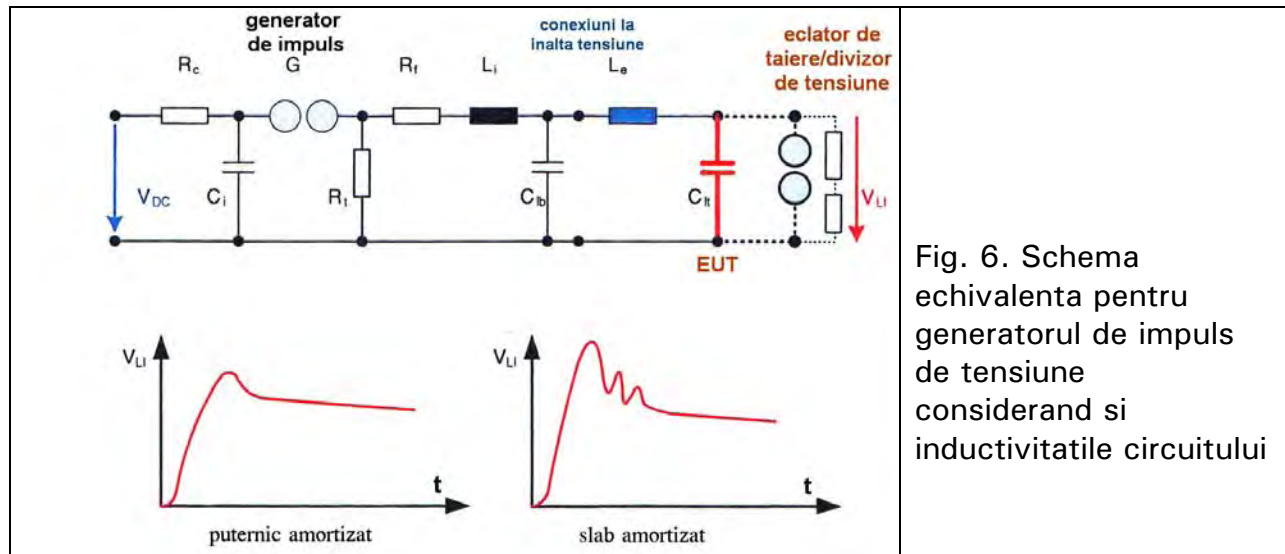
Condensatoarele de stocare C_i pentru n etaje, sunt incarcate prin rezistentele de incarcare R_c , care sunt conectate in serie intr-o coloana. Un generator de impuls cu n etaje care se incarca cu tensiunea continua V_0 va avea factorul de eficienta conform cu: $V_{in} = n\eta V_0$

Termenul $V_{0n\max} = nV_{0\max}$ este numit tensiunea de incarcare cumulativa a generatorului si $V_{0n\max} \gg V_{in\max}$. Pentru calculul elementelor circuitului cu n etaje (R_f , R_t , C_i , C_l) acestea se transforma in parametri echivalenti:

$$\begin{aligned} R_f^* &= nR_f \\ R_t^* &= nR_t \\ C_i^* &= C_i/n \\ C_l^* &= C_l \end{aligned}$$

Marele avantaj al generatorului Marx este ca, fiind alcatuit din module/etaje indentice, el poate fi folosit la tensiuni mai mari sau mai mici cupland mai multe sau mai putine etaje (cu ajutorul barelor de scurtcircuitare SCB).

O descriere mai completa a generatorului de impuls de tensiune se poate face luand in considerare si inductivitatile circuitului. Aceste inductivitati formeaza, impreuna cu capacitatile din schema, circuite oscilante si determina oscilatii amortizate care se inscriu pe forma aperiodica a impulsului (fig. 6).



Amortizarea depinde de rezistenta de front. Astfel pentru impulsul SI, aceasta rezistenta este de aprox 100Ω , valoare care supreseaza complet oscilatiile. Pentru imulsul LI, amortizarea este mai dificila (rezistenta de front fiind in acest caz de ordinul zecilor de Ω). Inductivitatea care trebuie luata in considerare de compune din:

- inductivitati interne (ale generatorului);
- inductivitati externe ale obiectului de testat;
- inductivitati externe ale conexiunilor.

Cateva valori aproximative ale inductivitailor legaturilor/conexiunilor sunt date in tabelul de mai jos [18]:

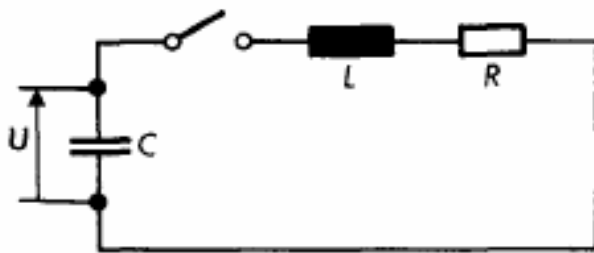
Tabel. 2.

Lungimea conexiunilor [m]	Un singur fir $D = 2\text{mm}$, [μH]	Banda metalica $L = 10\text{cm}$ [μH]	Teava metalica $D = 10\text{cm}$ [μH]
1	1,37	0,70	0,59
10	1,83	1,26	0,96

In privinta inductivitailor interne ale generatorului, o pondere importanta o are inductivitatea condensatorului. La nivelul realizarilor tehnice actuale, un condensator de cca. $100\text{nF}/100\text{kV}$, poate avea o inductivitate foarte mica, de cca. 10 nH . Compensarea referitoare la regimul amortizat (compensarea *over-shoot*-ului) se poate realiza prin filtre trece jos L, R, C in configuratie serie sau paralel [18] .

• **Generatorul de impuls de current.** Așa cum am aratat, schema echivalenta pentru generatorul de impuls de tensiune (în speta generatorul de tip Marx) este în esența schema de descarcare a unui condensator, într-un circuit RC/RLC, în diferite configuratii. Din acest punct de vedere, schema echivalenta a generatorului de impuls de current este în esența aceeași, cu observația că, în acest caz, se considera descarcarea condensatorului într-un circuit RL. Diferența de concepție este justificată prin faptul că inductivitatea circuitului joacă un rol determinant în stabilirea pantei (*rise time*) impulsului de current, în timp ce capacitatea circuitului de descarcare este nesemnificativă (impedanța capacitivă este mult mai mare în raport cu rezistența de sarcină).

Schema principală tipică a generatoarelor de impuls de curent este de tipul RLC serie (fig. 7), având următoarele ecuații de funcționare:



Pentru rezistența liniară:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = U \quad (5)$$

pentru rezistența neliniară:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt + ki^\alpha = U \quad (6)$$

Fig. 7 – Principiul generatorului. de impuls de curent

În ultima ecuație $U_r = ki^\alpha$ este căderea de tensiune pe rezistența neliniară, ecuația (6) reprezentând aplicația specifică a generatorului de impuls de curent pentru testarea varistoarelor/descarcatoarelor cu oxizi metalici (ZnO).

Din (5), după diferențiere și rearanjare, obținem ecuația omogenă:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0 \quad (7)$$

Această ecuație are 3 tipuri de soluții care corespund celor 3 condiții principale ale descărcării în impuls, determinate de valoarea termenului $R^2 - 4L/C$. Dacă valoarea rezistenței R este aleasă astfel încât termenul respectiv să se anuleze ($R^2 = 4L/C$), atunci impulsul/oscilația este amortizată critic (*damped*). Pentru o valoare mai mare a rezistenței, termenul devine pozitiv și oscilația este supraamortizată (*overdamped*), în timp ce pentru o valoare mai mică a rezistenței, termenul este negativ și oscilația este subamortizată (*underdamped*).

În practică, regimul amortizat critic este exclus, deoarece nu vom putea avea o egalitate perfectă $R^2 = 4L/C$. În consecință, vom avea următoarele echivalențe:

- **regim supraamortizat = regim aperiodic** $R^2 - 4L/C > 0$;
- **regim subamortizat = regim armonic amortizat** $R^2 - 4L/C < 0$.

- **Generatoare de impuls cu transformator si element de comutatie de tip tiristor/tiratron.** Schema de principiu a unui astfel de generator este prezentata in fig. 8 [20].

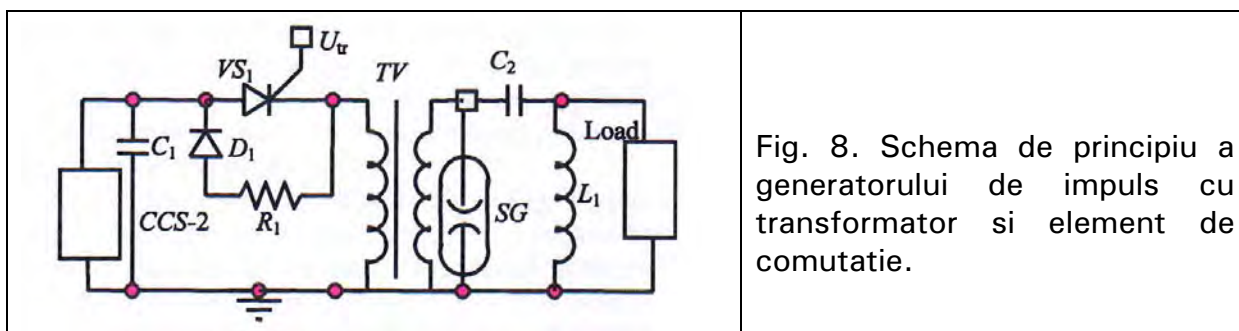


Fig. 8. Schema de principiu a generatorului de impuls cu transformator si element de comutatie.

Echipamentul este format din mai multe blocuri functionale:

1. modulul de joasa tensiune;
2. modulul de inalta tensiune;
3. linia coaxiala;
4. camera de procesare;
5. sistemul de control;

1. Modulul de joasa tensiune cuprinde un capacitor C_1 de $300\mu\text{F}$ (12 condensatori conectati in paralel) si un element de comutatie (tiristor). Tensiunea maxima de incarcare este de 2kV , energia stocata putand atinge 600 J . Sursa de cc ($2\text{kV}/8\text{kJ/s}$) asigura incarcarea condensatorului C_1 in cca 80 s .
2. Modulul de inalta tensiune cuprinde in principal transformatorul de impuls de inalta tensiune TV , condensatorul de stocare C_2 (asamblat din 384 condensatoare ceramice de $1,7\text{ nF}/50\text{kV}$) cu valoarea de cca $10\text{nF}/300\text{kV}$. Acest bloc este caracterizat de o energie stocata de cca 500 J , tensiunea de iesire maxima de 300kV si *rise time* $\approx 50\text{ns}$. Amplitudinea curentului pe o sarcina de 40Ω este de cca 6kA , respectiv 20kA in regim tipic de functionare. VS este un tiristor rapid (TB-353-1000A-1800V), iar dioda D_1 (DCH-353-800A-3600V) impreuna cu $R_1 = 0,08\Omega$ asigura supresarea alternantei inverse.

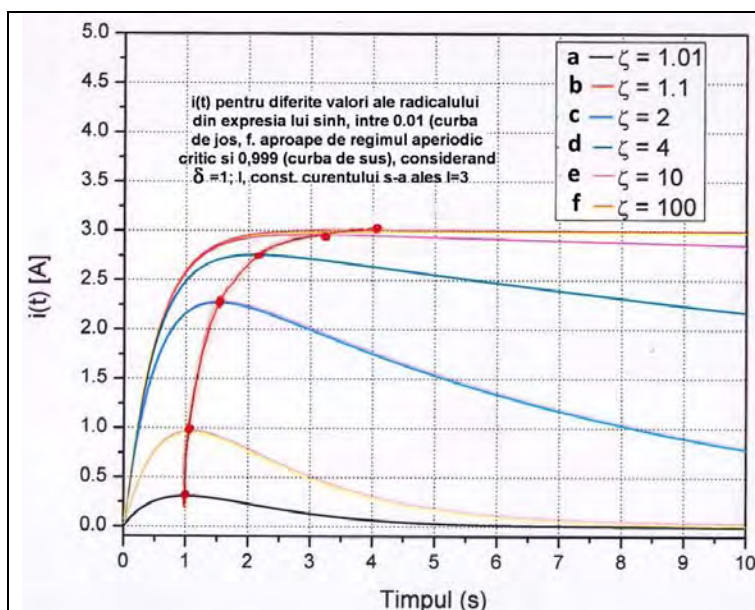
Modul de functionare al generatorului prezentat mai sus, presupune triggerarea tiristorului, respectiv descarcarea condensatorului C_1 , in primarul transformatorului de impuls TV , adica transferul energiei electrice de pe C_1 pe C_2 , care se va incarca la aproximativ 300kV in cca $80\mu\text{s}$. Amplitudinea impulsului de curent (JT) este de aproximativ 11kA , cu o durata de cca. $85\mu\text{s}$. Cand tensiunea la bornele lui C_2 atinge valoarea tensiunii disruptive a eclatorului SG , acest condensator (C_2) se va descarca in circuitul respectiv si va da nastere impulsului util, cu parametrii precizati mai sus.

Pentru demonstrarea atingerii parametrilor electrici impuși (timpi de creștere/timp de vârf, respectiv durata impulsului/timpul de semiamplitudine) sau folosit numai programe de trasat grafice, relativ la ecuațiile de generare ale generatorului (tabel 3).

Tabel 3.

Marimea	Regim aperiodic critic	Regim aperiodic (supraamortizat)	Regim armonic amortizat (subamortizat)
Criteriul de amortizare $\delta = R/2L$	$R = R_0 = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ $\ddot{a} = (1/LC)^{1/2}$	$\delta^2 > 1/LC$	$\delta^2 < 1/LC$
Ecuatia curentului	$i(t) = \frac{U}{L}te^{-\delta t}$	$i(t) = 2Ie^{-\delta t} \sinh\left(t\sqrt{\delta^2 - \frac{1}{LC}}\right)$ $i(t) = \frac{U}{Z}\left(e^{-\frac{R-Z}{2L}t} - e^{-\frac{R+Z}{2L}t}\right)$	$i(t) = Ie^{-\delta t} \sin \omega t$ $i(t) = \frac{2U}{Z}e^{-\delta t} \sin \omega t$
Constanta curentului	$I = \frac{U}{L}t$	$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 - 4\frac{L}{C}}}$	$I = \frac{U}{\omega L}$
Timpul de varf al curentului	$t_v = 2L/R$	$t_v = \frac{\ln\left(\sqrt{LC\delta^2 - 1} + \delta\sqrt{LC}\right)}{\sqrt{\delta^2 - \frac{1}{LC}}}$ $t_v = \frac{L}{Z} \ln\left(\frac{R+Z}{R-Z}\right)$	$t_v = \frac{1}{\omega} \arctg \frac{\omega}{\delta}$ (primul varf) $t_v = \frac{2}{\omega} \arctg \frac{\sqrt{R^2 + (2\omega L)^2} - R}{2\omega L}$
Curentul maxim (amplitudinea curentului)	$I_{\max} = \frac{2U}{eR}$	$I_{\max} = \frac{U}{Z}\left(e^{-\frac{R-Z}{2L}t_v} - e^{-\frac{R+Z}{2L}t_v}\right)$	$I_{\max} = \frac{2U}{Z}e^{-\delta t_v} \sin \omega t_v$
Frecventa oscilatiei	-	-	$\omega = \frac{Z}{2L} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \delta^2}$
Timpul pana la primul varf de polaritate inversa	-	-	$I_{\min} = -I_{\max}e^{-\pi \frac{R}{Z}}$

In fig. 9 se dau curbele $i(t)$ calculate cu relatia corespunzatoare din tabelul 3, pentru cateva valori ale coeficientului/factorului de amortizare, pastrand $\delta = 1$.

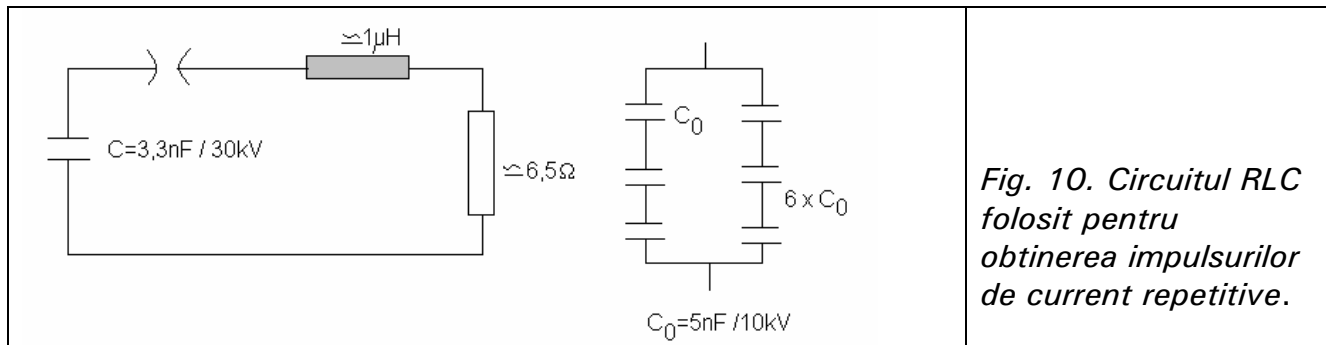


In tabelul 4 sunt date rezultatele corespunzatoare timpilor de varf calculati cu relatia corespunzatoare din tabelul 3, pentru cateva valori considerate uzuale ale parametrilor RLC. S-a specificat si regimul descarcarii caracteristic fiecarui set de valori.

Tabel 4. Timpul de varf al curentului (t_v).

L [uH]	R [Ω]	C [nF]	t_v [ns]	$\delta \ddot{a}$	$1/LC$	Obs.
10	1	3.3	283.711	2.5×10^9	3.03×10^{13}	Regim armonic amortizat (subamortizat)
10	2	3.3	282.096	1×10^{10}	3.03×10^{13}	
10	4	3.3	278.932	4×10^{10}	3.03×10^{13}	
10	6.5	3.3	275.098	1.06×10^{11}	3.03×10^{13}	
10	10	3.3	269.942	2.5×10^{11}	3.03×10^{13}	
10	20	3.3	256.432	1×10^{12}	3.03×10^{13}	
10	40	3.3	233.779	4×10^{12}	3.03×10^{13}	
10	65	3.3	211.399	1.06×10^{13}	3.03×10^{13}	
10	100	3.3	187.424	2.5×10^{13}	3.03×10^{13}	
10	1000	3.3	58.284	2.5×10^{15}	3.03×10^{13}	Regim aperiodic (supraamortizat)
1	0.05	3.3	90.153	6.25×10^8	3.03×10^{14}	Regim armonic amortizat (subamortizat)
1	1	33	269.942	2.5×10^{11}	3.03×10^{13}	
1	1	3.3	88.622	2.5×10^{11}	3.03×10^{14}	
1	2	3.3	87.077	1×10^{12}	3.03×10^{14}	
1	4	3.3	84.178	4×10^{12}	3.03×10^{14}	
1	6.5	3.3	80.869	1.06×10^{13}	3.03×10^{14}	
1	10	3.3	76.733	2.5×10^{13}	3.03×10^{14}	
1	20	3.3	67.293	1×10^{14}	3.03×10^{14}	
1	40	3.3	54.754	4×10^{14}	3.03×10^{14}	Regim aperiodic (supraamortizat)
1	65	3.3	45.054	1.06×10^{15}	3.03×10^{14}	
1	100	3.3	36.62	2.5×10^{15}	3.03×10^{14}	
1	1000	3.3	8.11	2.5×10^{17}	3.03×10^{14}	

Pentru valorile subliniate in tabel, s-au realizat experimentari preliminare, pentru a verifica posibilitatea obtinerii unor impulsuri de curent cu timpi de varf, respectiv timpi de front cu o valoare mai mica de 500ns. S-a urmarit de asemenea, validarea calculelor teoretice prin masuratori efective intr-un circuit RLC. In fig. 10 se dau valorile parametrilor RLC, folositi in cadrul experimentelor.



In fig. 11. se arata configuratia serie-paralel corespunzatoare condensatorilor ceramici de inalta tensiune folositi in cadrul testelor. Configuratia respectiva a urmarit obtinerea unei tensiuni marite de lucru (30kV) simultan cu pastrarea unei valori relativ ridicate pentru capacitate.

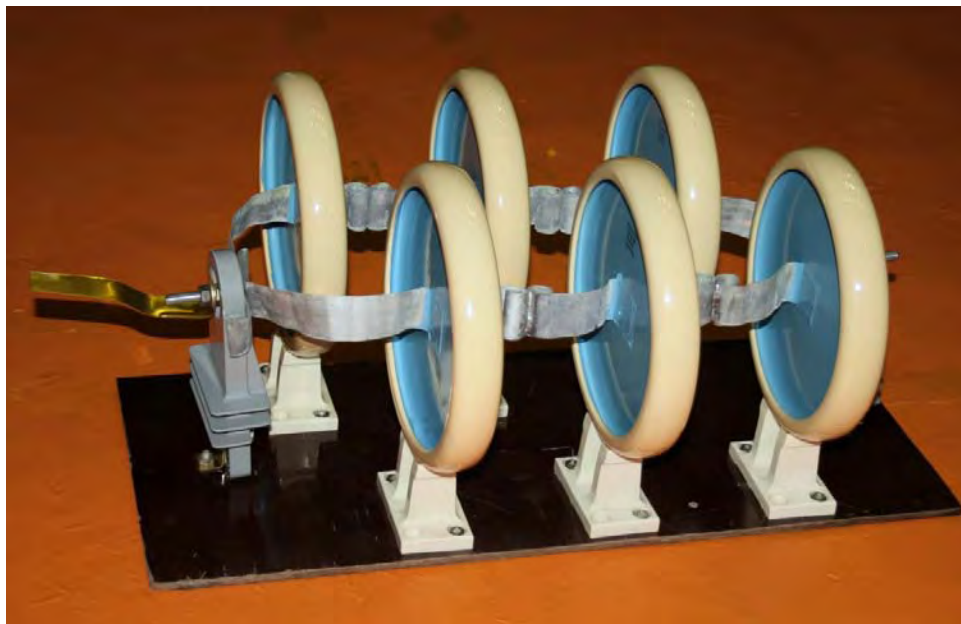


Fig. 11. Dispunerea condensatorilor ceramici in montaj serie-paralel.

In oscilogramele din fig. 12 se arata obtinerea impulsurilor de curent repetitive, respectiv oscilograma unei descari corespunzatoare unui impuls cu evaluarea timpului de varf si a timpului de front. Exista o foarte buna concordanta intre calculele teoretice care dau un timp de varf de 80,869ns respectiv valoarea timpului de varf al regimului armonic amortizat obtinut in cadrul experimentului (aprox 80ns). Valoarea de varf a tensiunii masurate cu sonda de inalta tensiune este de cca 7kV pe o rezistenta neinductiva de 5ohmi.

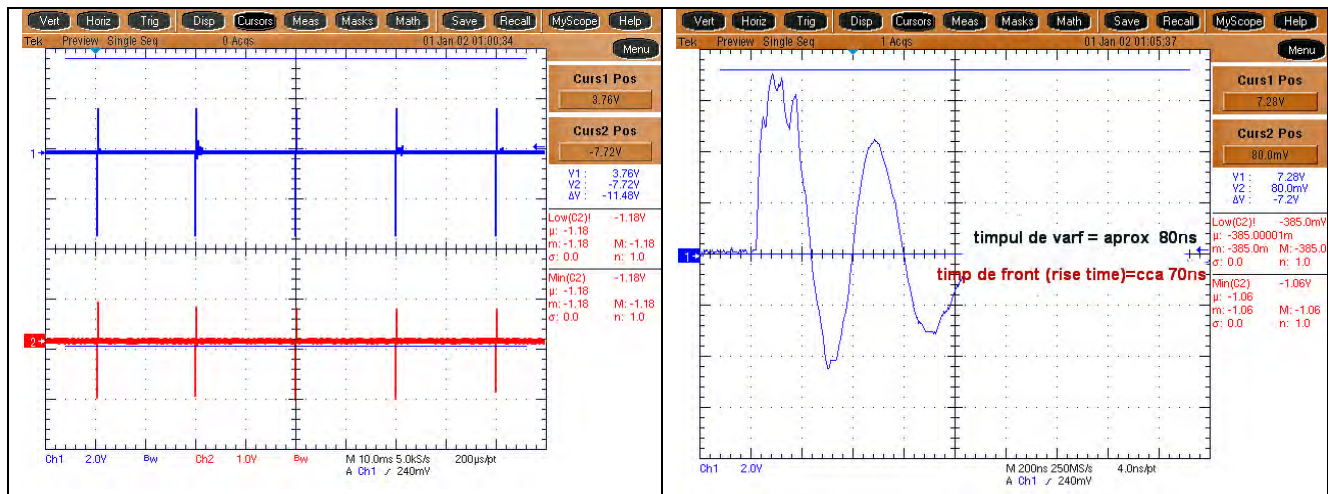


Fig. 12. Oscilogramme obtinute cu montajul din fig. 11.

S-a realizat de asemenea un al doilea set de experimente cu un generator de impuls cu elemente de comutatie (tiratron) obtinandu-se oscilogrammele din fig. 13. Se observa ca si in acest caz, s-au obtinut timpi de front care satisfac conditiile proiectului (aprox 89,6ns).

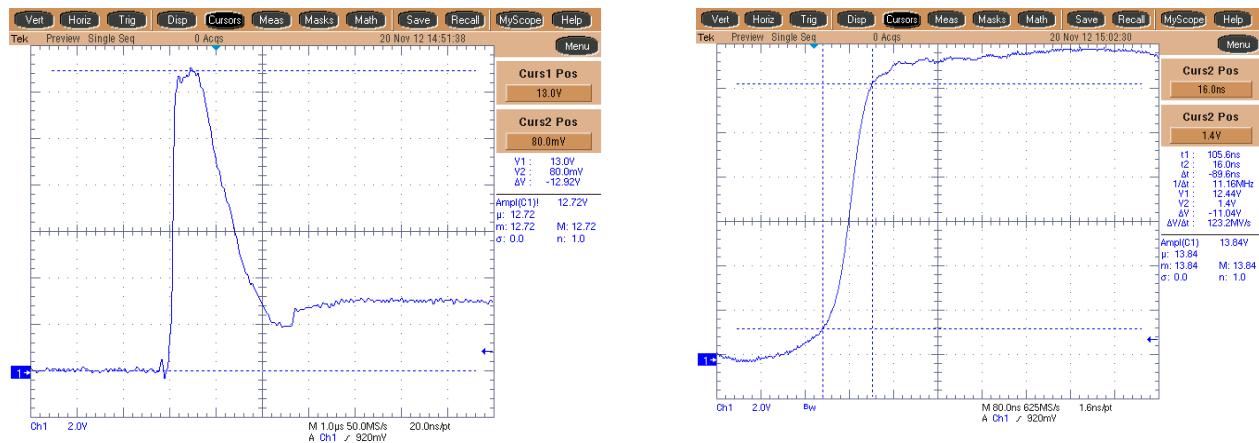


Fig.13. – Demonstrarea obținerii timpului de creștere (rise time) cel mai scurt (89.6ns) – forma impulsului, respectiv măsurarea timpului de creștere ($R = 17\Omega$, neinductivă).

Pe baza calculelor anterioare si a analizei critice (activitatea 1.1) s-au stabilit, principalii parametri ai modelului experimental – instalatie pentru dezasamblarea selectiva a deseurilor, dupa cum urmeaza:

- parametrii partii mecanice ai instalatiei;
- parametrii partii electrice ai instalatiei;

Pentru definirea partii mecanice a instalatiei avem urmatoarele date initiale de proiectare:

1. volumul vasului/tancului de procesare: cca 3dm^3 ;
2. volumul materialului de procesat: $< 1\text{dm}^3$;
3. materialul izolatiei la inalta tensiune: teflon;

4. sistem electrozi de descarcare: reglabili intre 2-20mm;
5. tipul tancului de procesare: inchis , neetans.

Aceste caracteristici ca si cele ale partii electrice au fost stabilite in corelatie cu, tabelul 1.

In ceea ce priveste parametrii electrici, sunt luate in considerare cele doua variante constructive precizate anterior: schema de generator de impuls de curent – circuit RLC (fig. 14) si schema de generator cu transformator ridicator si element de comutatie (fig.15).

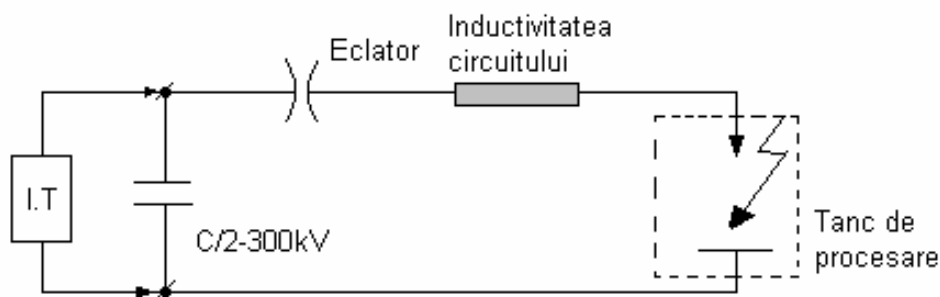


Fig. 14. Schema de generator de impuls de curent – circuit RLC.

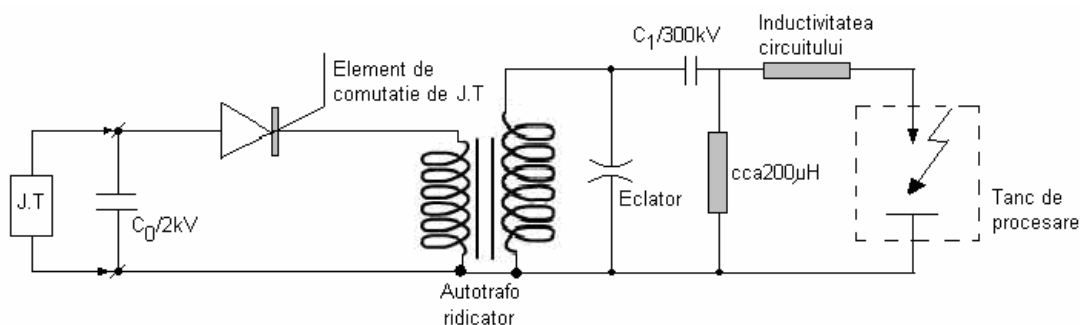


Fig. 15. Schema de generator transformator ridicator si element de comutatie.

Pentru schema din figura 14, sursa de inalta tensiune care incarca condensatorul de stocare, va avea o tensiune maxima de 300 kV. Puterea acestei surse se va stabili in cadrul activitatii urmatoare (activitatea 1.5).

Condensatorul de stocare a energiei va avea o valoare cuprinsa in intervalul 10-100 nF, la o tensiune de 300 kV, in functie de oferte primite de la firmele de profil din strainatate.

Elementul de comutatie este un eclator cu semisfere, cu sistem de triggerare inclus, in aer. Inductivitatea din circuitul de descarcare va fi optimizata /minimizata tinand seama de datele din literatura de specialitate prezentate in tabelul 2.

Pentru schema din fig. 15 trebuie luate in considerare cele doua circuite care compun schema de principiu: circuitul de joasa tensiune respectiv circuitul de inalta tensiune.

Aceste circuite sunt separate prin transformatorul ridicator, de impuls.

Circuitul de joasa tensiune este compus din sursa de joasa tensiune (c.c), condensatorul de stocare, elementul de comutatie si primarul transformatorului ridicator, de impuls. Elementul de comutatie este compus din doi tiristori (comutatie

rapida) cu tensiunea inversa de 1800 V si care suporta un curent maxim de durata de 1000 A. Condensatorul de stocare are valoarea de 300 μF la o tensiune mai mare decat 2 kV. Sursa de joasa tensiune furnizeaza o tensiune continua pentru incarcarea condensatorului de stocare, cu valoare de cca 2 kV.

Puterea sursei va fi calculata in cadrul activitatii urmatoare (activitatea 1.5).

Circuitul de inalta tensiune este compus din secundarul transformatorului ridicator, de impuls, eclatorul de triggerare, condensatorul de formare a impulsurilor repetitive de inalta tensiune/mare putere si cele doua inductivitati: inductivitatea circuitului de descarcare si inductivitatea de incarcare (cca 200 μH).

Condensatorul de formare a impulsurilor repetitive de inalta tensiune are o valoare de cca 10 nF la o tensiune de 300 kV. Ca si in cazul precedent, analizat, valorile finale vor fi stabilite in functie de ofertele tehnice primite de la firmele specializate.

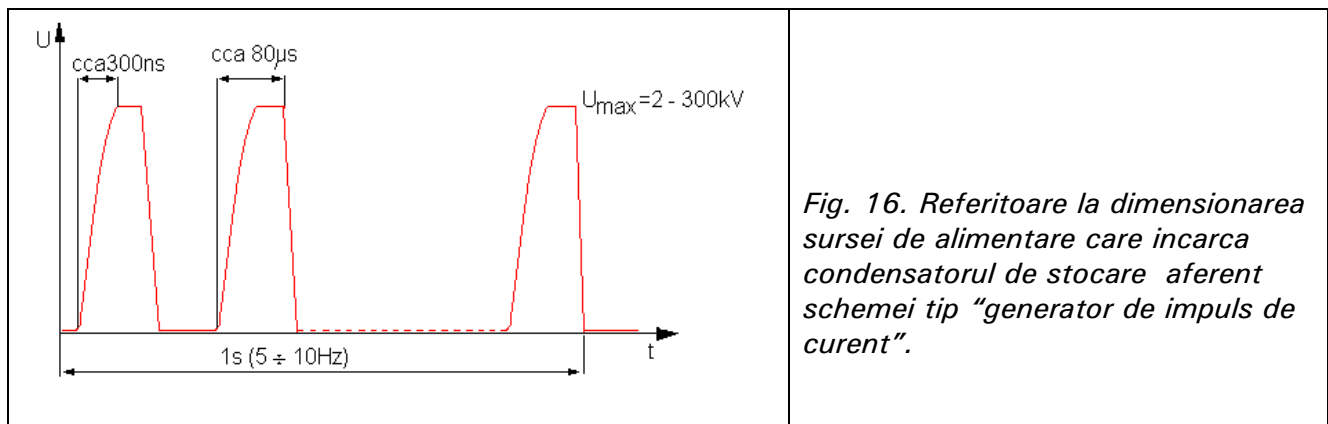
Transformatorul care separa circuitul de joasa tensiune de circuitul de inalta tensiune are o putere de cca. 10 kVA, cu un raport de transformare cu valoarea de aproximativ $k=155$. Miezul este de tip cu doua coloane; ambele coloane au infasurari identice " primar + " secundar. Infasurarea primara/coloana are 8 spire cu profil de aluminiu 4x40 mm² intr-un singur strat. Infasurarea secundara este bobinata multistrat: 25 de straturi a cate 50 spire cu conductor de cupru cu diametrul de 1 mm, avand un pas intre spire de cca. 3,5 mm. Izolatia dintre straturi este constituita din doua folii: hartie de trafo cu grosimea de 0.1 mm, respectiv mylar cu aceeasi grosime (0,1 mm). Grosimea izolatiei compuse dintre straturi este de cca. 2 mm.

Obiectivele semnificative pentru elaborare antecalcul in vederea proiectarii partii electrice sunt:

- estimarea puterii sursei de alimentare in curent continuu care trebuie sa incarca condensatorul de stocare de cca. 10 ori in intervalul de timp de 1 s (frecventa impulsurilor repetitive = 10Hz.);
- elementele de calcul pentru proiectare, in vederea obtinerii unui timp de front mai mic decat 500ns (tipic 300 ns).

Astfel, avand doua tipuri de scheme selectate – schema clasica a generatorului de impuls de curent si schema cu transformator de impuls si element de comutatie – calculele se fac in raport cu aceste variante constructive.

Principiul de calcul estimativ pentru puterea sursei de alimentare c.c. se poate urmari in Fig. 16.



Conform desenului, energia dezvoltata in timp de 1s va fi:

$$E = \frac{CU^2}{2} \cdot N \quad (12)$$

unde C este capacitatea condensatorului de stocare, U este tensiunea maxima de incarcare, iar N este numarul de impulsuri repetitive in intervalul de timp de 1 s. Din punct de vedere valoric/numeric, energia pe care trebuie sa o asigure sursa de alimentare in 1 s este egala cu puterea sursei:

1. Pentru schema corespunzatoare generatorului de curent:

$$E = \frac{10 \cdot 10^{-9} \cdot (300)^2 \cdot 10^6}{2} \cdot 10 = 4.5 \text{ kWs} \Rightarrow P \cong 4.5 \text{ kVA}$$

2. Pentru schema corespunzatoare a generatorului cu transformator de impuls si element de comutatie:

$$E = \frac{300 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^6}{2} \cdot 10 = 6 \text{ kWs} \Rightarrow P \cong 6 \text{ kVA}$$

Este de presupus ca diferenta se datoreaza pierderii de putere/energie in cadrul schemei cu transformator si element de comutatie, adica randamentului de transfer din circuitul de joasa tensiune catre circuitul de inalta tensiune.

In afara de algoritmul de calcul prezentat anterior, parametrii impulsului de curent pot fi determinati din nomograme [21](Fig. 18), marimile fiind date in forma normalizata. Pentru definirea marimilor care apar in nomograme se foloseste Fig. 17, unde sunt reprezentate trei regimuri caracteristice circuitului RLC (oscilatia neamortizata pentru $R = 0$, oscilatia amornic amortizata, respectiv regimul aperiodic)

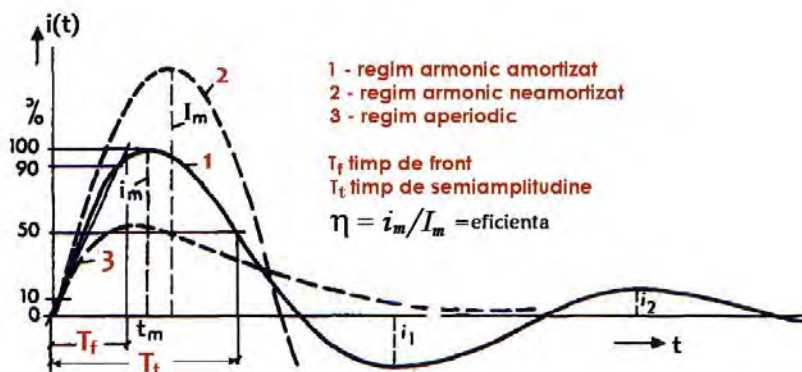


Fig. 17. Referitoare la definirea marimilor normalizate.

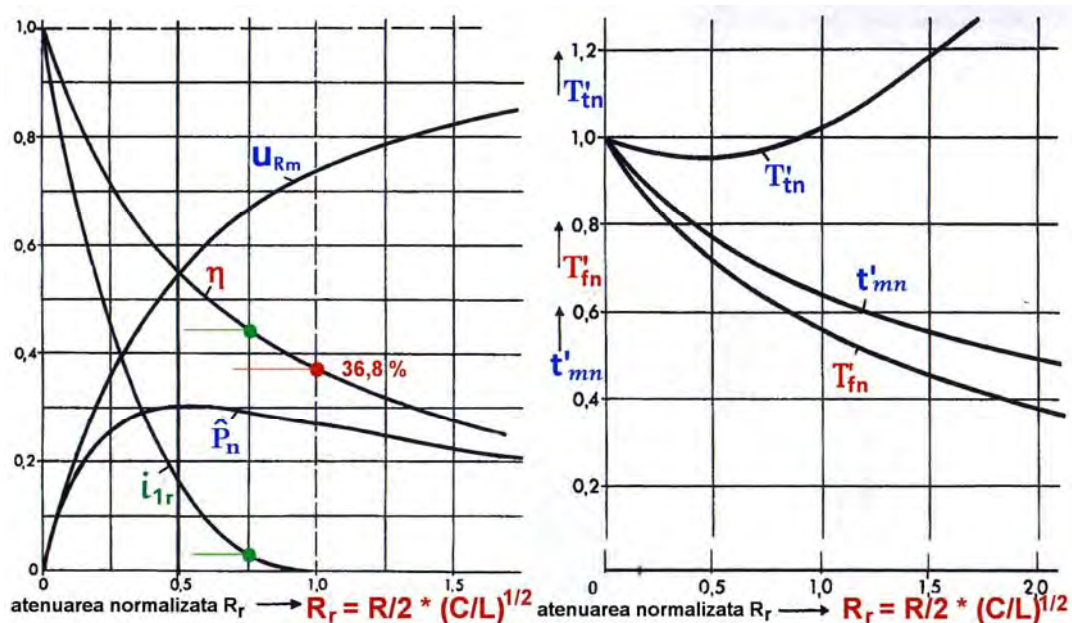


Fig.18. Variatia marimilor caracteristice pentru generatorul de impuls de curent, functie de amortizarea/atenuarea normalizata.

CONCLUZII GENERALE

In cadrul celor 6 activitati aferente primei etape a proiectului (2014) – *Instalatie si tehnologie pentru reciclarea deseurilor prin dezasamblarea selectiva cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune – ITESEDEZ* – s-a urmarit, pe langa prezentarea generala a temei, investigarea mijloacelor/metodelor de calcul analitic si tehnic in vederea proiectarii. S-au creat astfel premisele pentru incercari privind variantele constructive ale generatorului de impulsuri repetitive, pentru proiectare si executie (etapa 2 - 2015).

Principalele rezultate obtinute in cadrul etapei, raportate la cele sase activitati de cercetare industriala sunt:

Activitatea 1.1. a avut drept rezultat prezentarea procedeelor moderne de procesare/reciclare relative la deseurile electrice si analiza critica a solutiilor constructive pentru generatorul de impulsuri repetitive de inalta tensiune/mare putere. Din cele patru scheme principale cercetate din literatura de specialitate au fost selectate doua si anume schema clasica a generatorului de impuls de curent si schema generatorului de impuls cu transformator ridicator si element de comutatie.

Activitatea 1.2. a avut drept scop stabilirea si testarea unei metode de analiza a proceselor termodinamice asociate cu tehnologia de dezasamblare electrodinamica selectiva. Metodele *cu retea* s-au dezvoltat utilizand cele doua formulari, Lagrange si Euler. Metodele au fost aplicate in special pentru dezasamblarea electrodinamica selectiva a placilor cu circuite imprimate.

Activitatea 1.3. a urmarit in principal sa testeze in laborator posibilitatea efectiva de obtinere a unor impulsuri repetitive de inalta tensiune/mare putere cu o frecventa de ordinal Hz si cu un front sensibil mai mic decat 500 ns (conditia teoretica principala pentru fezabilitatea proiectului). Sunt prezentate in lucrare oscilogramele care demonstreaza indeplinirea acestui obiectiv precum si concluziile privind validarea prin experiment a predictiilor pe baza analizei analitice.

Activitatea 1.4. s-a finalizat cu stabilirea parametrilor principali – mecanici si electrici – ai instalatiei pentru reciclarea deseurilor prin dezasamblarea selectiva cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune, in urma unei analize care a luat in considerare datele din literatura de specialitate inclusiv prospectele tehnice ale firmei care produce acest tip de utilaj pe de o parte si concluziile tehnice rezultate in urma analizei critice si a calculelor preliminare, pe de alta parte.

Activitatea 1.5. s-a concretizat cu stabilirea datelor principale de proiectare a partii electrice si anume:

- calculul puterii sursei de alimentare in curent continuu pentru cele doua variante constructive selectate;
- selectarea si implementarea unor nomograme ca instrument de proiectare care stabilesc legatura/corelatia dintre calculul analitic si calculul tehnic (timpul de front, eficienta si amplitudinea curentului de alternanta inversa)

Activitatea 1.6. a urmarit elaborarea unui proiect de principiu (necutat) pentru elemental principal al partii mecanice: vasul/tancul de procesare a materialului cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune/mare putere.

In concluzie, prima faza (2014) a proiectului si-a atins toate obiectivele, creand premisele pentru etapa de proiectare si executie.

Rezultatele obtinute in cadrul acestei etape sunt:

1. Studiul documentar privind elaborarea si fundamentarea tehnico-stiintifica a unei solutii noi privind dezasamblarea selectiva a deseurilor;
2. Studii si analiza critica a solutiilor actuale privind dezasamblarea selectiva a deseurilor cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune;
3. Modelarea numerica pe modele simplificate a proceselor distructive din materiale compuse;
4. Rezultate experimentale preliminare si 5. Parametrii principali ai modelului experimental (ME)

BIBLIOGRAFIE

1. <http://scoalaverde.webgarden.ro/menu/mediul-un-semnal-de-alarma/deseurile>
2. <http://www.environ.ro/politica-uniunii-europene-de-management-al-deseurilor>
3. <http://www.manager.ro/articole/analize/analiza-reciclarea-deseurilor-polarizeaza-europa-20210.html>
4. Raport anual – Starea factorilor de mediu în România, 2010

5. Sursa: AEM, CTE pentru consum și producție durabile
6. Tanskanen, P., *Management and recycling of electronic waste*. În Revista, Journal Acta Materialia, Vol. 61, Nr.3, pag. 1001-1011, 2013
7. Nicoleta-Ioana Pipas, Elena Maria Pica, Emil Riti-Mihoc, Mircea Bejan - Gestionarea și reciclarea deșeurilor electronice – A XII-a Conferința Națională multidisciplinară- cu participare internațională “Profesorul Dorin Pavel-fondatorul hidroenergeticii românești” SEBES 2013
8. JIALI, HONGZHOU LU, JIEGUO, ZHENMINGXU, ANDYA OHEZHOU-Recycle Technology for Recovering Resources and Products from Waste Printed Circuit Boards- Environ. Sci. Technol. **2007**, 41, 1995-2000
9. C.L. Duan, Z.J. Diao, Y.M. Zhao, W. Huang- Liberation of valuable materials in waste printed circuit boards by high-voltage electrical pulses - Minerals Engineering 70 (2015) 170–177
10. Siomkin, B.V., Usov, A.F., Kurets, V.I., 1995. The principle of electric pulse destruction of materials. KOLA Science Centre – Russian Academy of Science, Apatity, p. 276 (In Russian)
11. Bluhm, H., Frey, W., Giese, H., Hoppe, P., Schultheiss, C., Strassner, R., 2000 Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling. IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul. 7, 625–636.
12. Mohabuth, N., Hall, P., Miles, N., 2007. Investigating the use of vertical vibration to recover metal from electrical and electronic waste. Miner. Eng. 20 (9), 926–93.
13. Duan, C., Zhao, Y., Wen, X., Ye, C., Wang, Q., 2005. Research on the gas from pyrolysis during crushing of discarded printed circuit boards. J. China Univ. Min. Technol. 34 (06), 730–734 (In Chinese).
14. B. W. Sjomkin, A. E. Ussow, V. I. Kurets, "The Principles of Electric Impulse Destruction of Materials", Russian Academy of Sciences, Kola Science Center, Editor N. E Tusow, 1995 (in Russian);
15. H. Bluhm, W. Frey, H. Giese, P. Hoppé, C. Schultheiß, R. Sträßner, Application of Pulsed HV Discharges to Material Fragmentation and Recycling, IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 7, no. 5, 2000;
16. T. H. Martin, A. H. Gnenher, M. Kristiansen, Editors, J. C. Martin, On Pulsed Power, Plenum Press, New York, 1996;
17. Selfrag, “Selective Fragmentation of Materials by Means of Electric Pulsed Power”.
18. Wolfgang Hauschild Eberhard Lemke - High Voltage Test and Measuring Techniques-SpringerVerlag Berlin Heidelberg 2014, ISBN 978-3-642-45351-9;
19. Nils Hylten-Cavallius- High Voltage Laboratory Planning- Haefely & Co.Ltd. CH-4028 Basel Switzerland, 1988;
20. V.A. Vizir, B.M. Kovalchuk, et all. High Voltage Generator for Dynamic Fragmentation of Rocks- Pulsed Power Technology- Review of Scientific Instruments; Oct2010, Vol. 81 Issue 10, p103506
21. M.Modrusan – *Normalized Calculation of Impulse Current Circuits for Given Impulse Current* – HAEFELY Translated from Bulletin ASE. Bd. 67 (1976) 22

PARTENERIATE IN DOMENII PRIORITARE

Raport Stiintific si tehnic (RST)

Denumire proiect

„Instalatie si tehnologie pentru reciclarea deseurilor prin dezasamblarea selectiva cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune”

ACRONIM ITESEDEZ

Contract nr 84/2014

Nr PN-II-PT-PCCA-2013-4-1100

Etapă de executie 2/2015

„ Proiectare si testare partiala model experimental pentru dezasamblarea selectiva a deseurilor (ME)”

X RST in extenso

X Proces verbal de avizare interna

Director de Proiect

Dr. Ing. Mihai Badic

Activitatea 2.1. Modelarea numerica (I) a proceselor care se produc in instalatia de dezasamblarea selectiva a deseurilor, in scopul stabilirii caracteristicilor principale ale instalatiei in vederea proiectarii acesteia (ME)

INTRODUCERE

Această lucrare este rezultatul încercărilor de abordare cantitativă a unor procese care se produc în instalatia de fragmentare selectivă cu impulsuri de înaltă tensiune. Pentru analiza cantitativă au fost folosite metodele de simulare numerică a fenomenelor fizice. Aplicarea metodelor de simulare numerică a proceselor fizice din instalatia de fragmentare selectivă a presupus formularea unei metodologii, în care metodele generale se particularizează pentru problema câmpului electric tranzitoriu în medii mixte.

Procesele electromagnetice din instalatia de fragmentare, initierea si formarea canalelor de descărcare, efectele termodinamice si mecanice în cuva de procesare sunt complexe, tranzitorii si foarte rapide.

Unul dintre principiile pe care se bazează procesul de fragmentare constă în reactia diferentiată a materialelor în câmp electric. În general, în cuva de procesare se pot găsi împreună trei tipuri de materiale: dielectrice; metalice; electroliti.

Conductivitatea materialelor dielectrice este practic nulă. Materialele metalice conduc foarte bine prin conductivitate electrică. Electrolitii au conductivitate mai modestă, deoarece ei conduc prin procese electro-chimice. În stare de plasmă diferentele de conductivitate dintre cele trei tipuri de materiale se anulează.

În etapa premergătoare formării canalului de străpungere (arcul electric) în cuva de procesare au loc procese diferite de la material la material.

Astfel, dielectricul se polarizează progresiv odată cu creșterea gradientului câmpului electric în el, metalele conduc si au tendinta de anulare a gradientului câmpului electric, iar electrolitii, cu conductivitate redusă, conduc prin procese electro-chimice în acord cu gradientul câmpului electric produs în ei.

În dielectric, în proces intrând electroni care au masa foarte mică, inertia la schimbare, prin variatia câmpului electric, este practic neglijabilă. Indiferent de rampa de creștere a tensiunii de străpungere determinată în conditii stationare (cu creștere lentă) în electrolit conductia este mică. Curentul electric, în acest caz, constă în deplasarea ionilor care au dimensiuni si mase total diferite de cele ale electronilor. Aici curentul electric presupune deplasări de ioni si molecule, ciocniri si reactii chimice. O parte din energia câmpului electric este preluată de electrolit sub formă de energie mecanică si chimică. În paralel moleculele neutre ale electrolitului se polarizează corespunzător. În conditii stationare străpungerea electrolitului se realizează la o tensiune dată. În regim tranzitoriu rapid străpungerea se face după atingerea valorii stationare. Acest comportament al electrolitului este foarte util în aplicatiile de fragmentare cu impulsuri de înaltă tensiune. Chiar în situatia în care tensiunea de străpungere stationară a electrolitului este mai mică ca cea a dielectricului cu care lucrează în paralel, dacă se respectă conditia de încărcare rapidă, arcul de descărcare se va plasa în dielectric. În cazul în care dielectricul este complet imersat, arcul electric se continuă în serie prin electrolit pentru închiderea circuitului dintre electrozi.

În modelele analizate în lucrare, ca electrolit, a fost utilizată apa industrială deionizată pentru reducerea conductivității. Regimul de functionare a instalatiei de fragmentare se poate separa în două etape complet diferite.

Prima etapă durează de la cuplarea contactorilor până la atingerea condițiilor de străpungere și de formare a canalului de plasmă conductivă. Etapa a doua pornește odată cu străpungerea și continuă până la epuizarea sursei de înaltă tensiune.

În prima etapă, circuitul RLC funcționează în regim aperiodic. Când se trece la conducție prin arcul de plasmă, ca urmare a reducerii drastice a rezistenței electrice între electrozi, se trece, în majoritatea cazurilor la un regim oscilant.

În paralel cu analiza circuitului principal de alimentare s-a făcut un studiu amplu al câmpului electric dezvoltat în cuva de procesare, pentru ambele etape de funcționare. În etapa premergătoare străpungerii câmpul electric, mai ales prin gradientul său, poate indica, cu suficientă precizie locul în care urmează să se inițieze canalul de descărcare. După străpungere, din cauza reducerii tensiunii pe electrozi, intensitatea câmpului electric coboară sub limita la care s-ar putea produce alte descărcări.

STABILIREA METODOLOGIEI DE ABORDARE NUMERICĂ A PROBLEMELOR CÂMPULUI ELECTRIC

Având în vedere caracteristicile proceselor electromagnetice, simulările numerice dezvoltate în lucrare se limitează la utilizarea metodei elementelor finite cu rețea Lagrange, adaptată foarte bine problemelor câmpurilor electrice și magnetice.

Cele mai utilizate coduri numerice bazate pe metoda elementelor finite sunt: ABAQUS, ANSYS, COSMOSM, **LS-DYNA**, NASTRAN.

Simulările numerice urmează o procedură similară tuturor abordărilor științifice, care constă în parcurgerea următoarelor etape:

Etapa I. Modelul fizic. Fenomenului analizat i se construiește un model fizic, în care sunt evidențiate legile principale care îl guvernează. Formularea modelului fizic se face în baza unor ipoteze cu caracter aproximant, bine acceptate de practica curentă, reținându-se trăsăturile principale care definesc fenomenul analizat.

Etapa a II-a. Modelul matematic. Modelul matematic se stabilește pe baza legităților care guvernează modelul fizic, folosind unele simplificări și ipoteze. Modelul matematic este exprimat, în general, sub forma ecuațiilor de guvernare și a condițiilor pe frontiere și inițiale. Ecuațiile de guvernare pot fi seturi de ecuații diferențiale ordinare sau cu derivate parțiale, ecuații integrale sau alte forme de ecuații care reflectă legile care au stat la baza formulării modelului fizic. Condițiile la limită și cele inițiale sunt necesare pentru particularizarea soluțiilor generale în spațiu și în timp. Se cunosc trei modalități de abordare a ecuațiilor: *soluționarea analitică*, aplicabilă la un număr limitat de probleme; *simularea experimentală* care poate oferi soluții satisfăcătoare pentru o clasă largă de probleme, dar de cele mai multe ori este costisitoare, fiind în același timp utilă pentru validarea metodologiei de simulare numerică; *simularea numerică*.

Indiferent de metoda utilizată pentru rezolvarea numerică a unei probleme, algoritmul de lucru constă în transformarea funcțiilor continue ale câmpurilor specifice problemei analizate, în funcții discrete, adică în seturi de valori, asociate unor puncte din domeniul de definiție a problemei.

Etapa a III-a. Realizarea modelului discretizat

Discretizarea, sub ambele ei aspecte, geometric și matematic, se referă la transformarea domeniului continuu de definiție a problemei într-un domeniu discret și a ecuațiilor de guvernare diferențiale sau integrale în ecuații algebrice.

Etapa a IV-a. Codificarea

Codificarea simulării numerice constă în trecerea modelului discretizat și a algoritmilor de calcul în codul calculatorului, folosind un limbaj de programare.

Atunci când se folosesc pachete de programe de simulare existente, codificarea iese din sarcina analistului. Uneori, însă, analistul poate interveni cu subrutine proprii pentru extinderea domeniului de aplicare a programelor.

Etapa a V-a. Rezolvarea numerică

Solutia numerică se obține în modulul de rezolvare – SOLVER – prin setul de date de iesire. În setul de date de iesire se găsesc valorile necunoscute primare ale problemei, reprezentate de valorile nodale ale câmpurilor asociate. Dacă este nevoie, datele de iesire se pot postprocesa pentru depistarea necunoscute secundare. Pe lângă setul de date de iesire, solutia problemei se mai poate prezenta și sub forma grafică în câmpuri (hărți) de culoare sau sub forma unor diagrame.

EVALUAREA ÎNTÂRZIERII LA STRĂPUNGERE A ELECTROLITULUI – APA

Din datele experimentale au rezultat următoarele întârzieri la străpungere pentru arcul serie produs între electrozii dispusi la distanță de 30 mm:

Apă	30 mm	20 mm	10 mm	0
Solid	0	10 mm	20 mm	30 mm
Întârzierea	1.0 μ s	0.7 μ s	0.5 μ s	0.3 μ s

Pentru o deschidere inițială de 20 mm se pot aproxima următoarele valori:

Apă	20 mm	10 mm	0
Solid	0	10 mm	20 mm
Întârzierea	0.67 μ s	0.4 μ s	0.20 μ s

Valorile determinate prin similitudine pentru întârzierea la străpungere sunt provizorii și sunt folosite pentru testarea metodologiei de simulare numerică.

Pe parcursul dezvoltării cercetării științifice în acest domeniu datele provizorii vor fi înlocuite cu cele achiziționate experimental.

REZISTENȚA ELECTRICĂ MEDIE ÎN CANALUL DE DESCĂRCARE

Descărcările de referință s-au produs pe un traseu mixt, apă și dielectricul solid, cu electrozi plasați la distanță fixă de 30 mm.

Apă	30 mm	20 mm	10 mm	0
Solid	0	10 mm	20 mm	30 mm
Rezistența	0.9 Ω	1.5 Ω	2.2 Ω	3.0 Ω

Pentru fiecare mediu, adus în stare de plasmă s-au aproximat rezistențele specifice:

- pentru apă: $r_a = 0.03 \Omega/\text{mm}$;
- pentru dielectric; $r_d = 0.10 \Omega/\text{mm}$.

În funcție de parcursul arcului de descărcare, s-a stabilit o lege liniară pentru evaluarea rezistenței medii a canalului de plasmă

$$R_p = l_a r_a + l_d r_d, \quad (1)$$

unde l_a este lungimea traseului prin apă, iar l_d este lungimea arcului în dielectric.

În cazul aplicațiilor în cuve cu distanța dintre electrozi de 20 mm sau folosit valorile rezistenței electrice medii date mai jos:

Apă	20 mm	10 mm	0
Solid	0 mm	10 mm	20 mm
Rezistența	0.6 Ω	1.3 Ω	2.0 Ω

Și în acest caz, datele approximate cu legea liniară (11) au caracter provizoriu.

Pentru starea de conducție fără arc, rezistența electrică a circuitului dintre electrozi este dată de conductivitățile materialelor din cuva de procesare, în general cunoscute, și este evaluată prin simulare numerică.

SIMULAREA NUMERICĂ A UNOR ROCESE CARE AU LOC ÎN CUVA INSTALAȚIEI DE FRAGMENTARE CU IMPULSURI DE ÎNALTĂ TENSIUNE

În această etapă a cercetării științifice s-au urmărit, în special, condițiile în care se produce străpungerea materialelor din cuva de procesare, în diferite condiții de încărcare, distribuția câmpului potențial și a intensității câmpului. Pentru a se putea menține potențialul la valori pozitive, referința s-a făcut la potențialul catodului (0), invers ca în realitate. Potențialul pe electrozi a fost stabilit la valori reduse pentru a se evita străpungerea nedorită în aceste aplicații. Au fost analizate mai multe situații de încărcare.

MERSUL ÎN GOL

În această situație cuva nu conține material de procesat, conductia fiind asigurată numai prin electrolit.

Simularea numerică pentru mersul în gol a dat câmpurile reprezentate astfel:

- în Fig. 1 – câmpul electric – potențialul;
- în Fig. 2 – curentul electric.

Distribuția electrică în cuva de procesare este determinată de forma și poziția electrozilor. La anod suprafețele echipotențiale sunt plane și paralele, iar spre catod acestea se distorsionează, focalizându-se.

În analiză, mai importantă este intensitatea câmpului electric, care este definită prin gradientul câmpului.

Intensitatea este puternic concentrată pe rontunjirile catodului, ajungând la 1526 V/mm. O diferență de potențial de 10 kV, într-un câmp uniform ar fi trebuit să dea o intensitate de 500 V/mm.

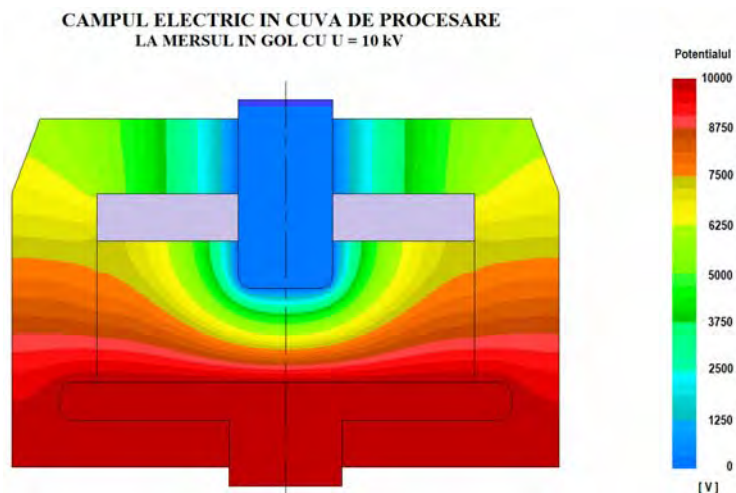


Fig. 1 – Câmpul electric în cuva de procesare la mersul în gol cu $U = 10$ kV

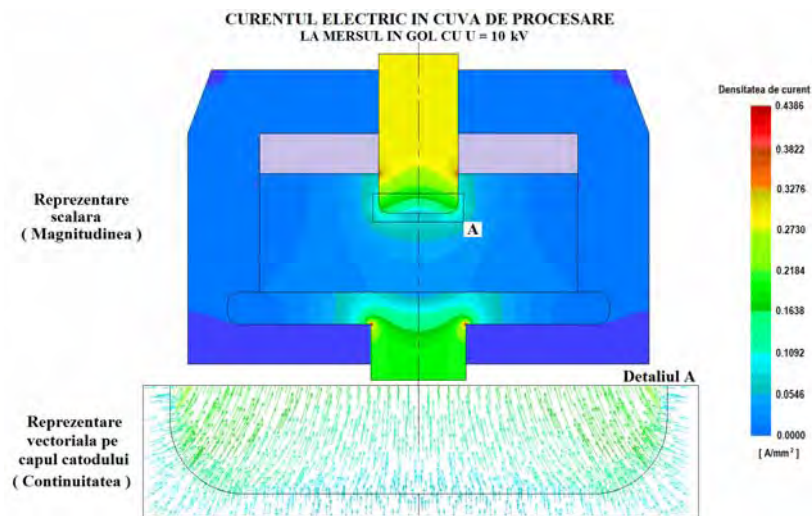


Fig. 2 – Curentul electric în cuva de procesare la mersul în gol cu $U = 10$ kV

În Fig. 2, curentul are două reprezentări: *una scalară* – magnitudinea și o *alta vectorială* în vecinătatea capului catodului. Pe reprezentarea vectorială se constată continuitatea câmpului vectorial la trecerea dintr-un mediu în altul.

CUVA ÎNCĂRCATĂ MONOSTRAT

Soluii interesante s-au obținut la simularea procesului când cuva este încărcată într-un singur strat cu PCB cu folie de cupru continuă. Fig. 3 prezintă câmpul electric în cuva de procesare.

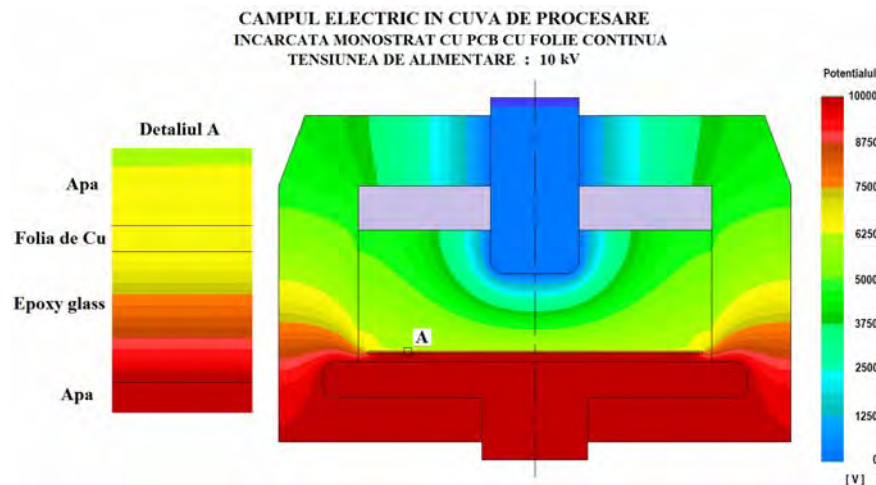


Fig. 3 – Câmpul electric în cuva de procesare încărcată monostrat cu folie continuă.
Tensiunea de alimentare: 10 kV

Se remarcă efectul de ecranare al foliei de cupru. Pe detaliul A se constată uniformitate câmpului. Pe detaliul A se vede cum, pe toată grosimea dielectricului, intensitatea se mentine constantă. În Fig. 4 stratul de cupru este discontinuu.

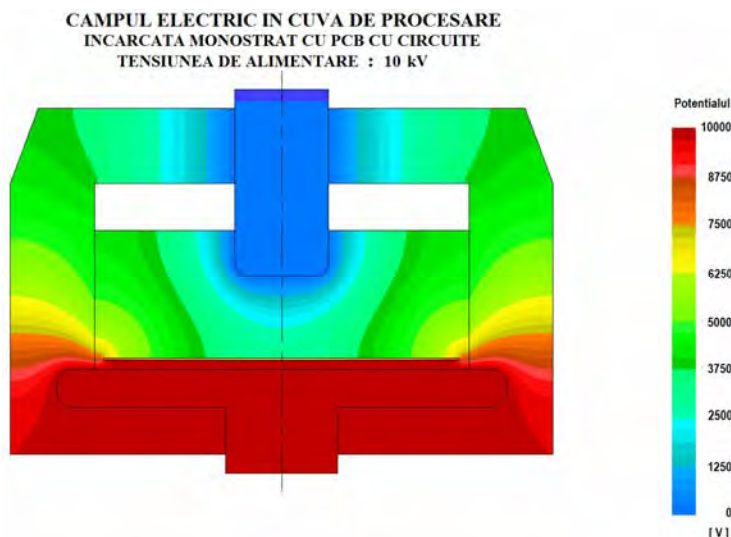


Fig. 4 – Câmpul electric în cuva de procesare încărcată monostrat cu PCB cu circuite.
Tensiunea de alimentare: 10 kV

O situatie mai apropiată de cele reale a fost simulată pentru o cuvă încărcată monostrat cu o PCB cu circuite, având stratul de cupru discontinuu. Reprezentarea din Fig. 4 diferă de cea din Fig. 3, în sensul că, de această dată ecranarea este parțială. Utilitatea acestor simulări constă în faptul că pune la dispoziție date și reprezentări cu care procesul de descărcare din cuva de procesare se poate optimiza. Adicional este prezentat rezultatul simulării pe un dielectric cu o incluziune metalică (Fig. 5).

CAMPUL ELECTRIC DISTORSIONAT DE O INCLUZIUNE METALICA

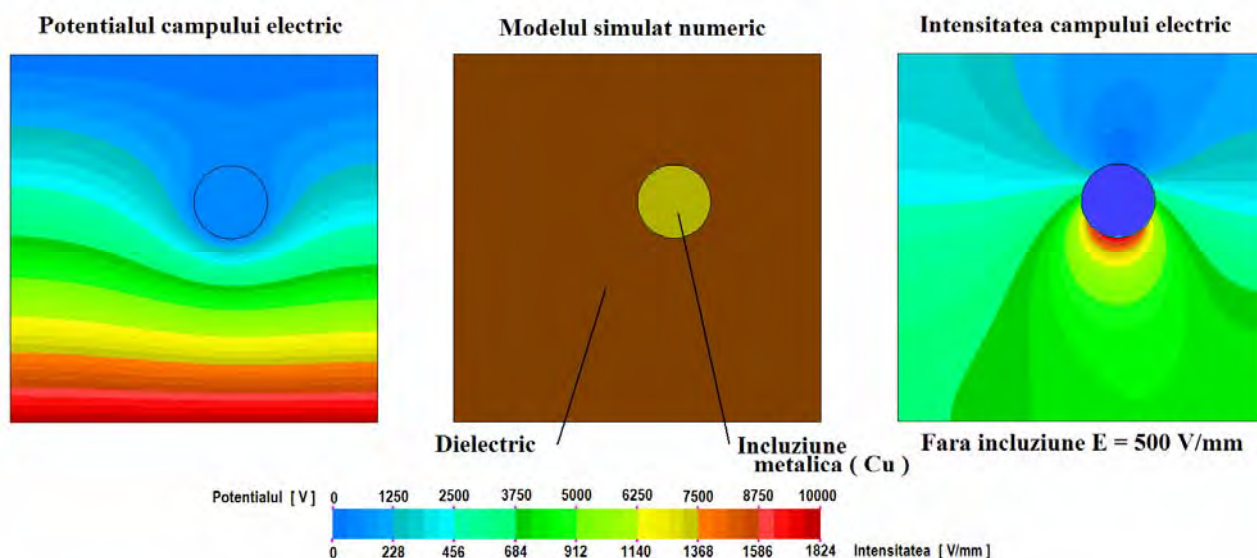


Fig. 5 – Câmpul electric distorsionat de o incluziune metalică

Incluziunea metalică, conductoare, produce o concentrare puternică a câmpului în dielectricul adiacent. Această concentrare este una dintre sursele initierii canalului de descărcare. În toate aceste aplicatii metodologia de simulare numerică a proceselor din instalatia de fragmentare cu impulsuri de înaltă tensiune a fost aplicată cu succes.

Activitatea 2.2 Elaborare proiect parte electrica pentru model experimental (ME).

INTRODUCERE

În cadrul proiectării generatoarelor de impuls de curent-indiferent ca este vorba de descarcarea unui condensator în circuitul RLC simplu sau generatorul de tip Marx, a exemplu-baza teoretica de proiectare consta în ecuatia diferentiala de regim tranzitoriu caracteristica circuitului (fig.6).

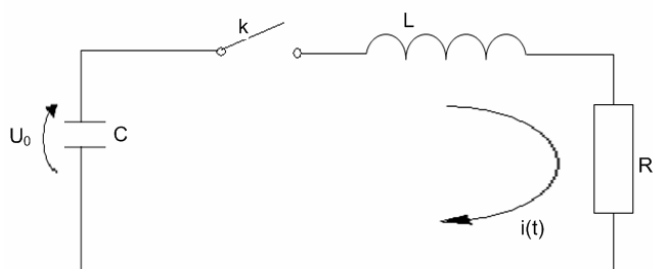


Fig. 6. Circuitul electric fundamental pentru proiectarea generatorului de impuls de curent (de înaltă tensiune).

Rezolvarea acestei ecuatii – ecuatia oscilatorului armonic de ordinul II- furnizeaza toate datele necesare proiectarii: forma și durata impulsului de curent, valoarea maxima a curentului și timpul de crestere (*risetime*).

O alta problema foarte importanta care apartine rezolvarii corecte a ecuatiei oscilatorului armonic de ordinul II este determinarea regimului descarcarii:

- regim subamortizat
- regim supraamortizat
- regim amortizat critic.

Determinarea corecta a regimurilor de descarcare este în mod deosebit importanta pentru optimizarea energetica a generatorului având în vedere ca frecventa impulsurilor repetitive este de 1-10Hz.

OSCILATORUL ARMONIC DE ORDINUL DOI

SOLUTIA DE REGIM PERMANENT

Ecuatia unui oscilator amortizat forțat este (*second order differential equation*):

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F_0 \cos \omega t = F_0 e^{j\omega t} \quad (2)$$

Unde ω = frecventa/pulsatia oscilatiilor fortate, iar

ω_0 = frecventa naturala de oscilatie atunci cand termenul de amortizare este neglijat:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad k = m\omega_0^2 \quad (3)$$

Daca $x(t) = Ae^{j(\omega t + \varphi)}$ este o solutie (particulara) a ecuatiei, cu forta de excitatie (driving external force), $F_0 e^{j\omega t}$, atunci partea reala $A \cos(\omega t + \varphi)$ este o solutie a ecuatiei cu o forta de excitatie reala, $F_0 \cos \omega t$. Este usor sa verificam ca $x(t) = Ae^{j(\omega t + \varphi)}$ este o solutie a ecuatiei de mai sus:

$$-m\omega^2 Ae^{j\omega t} e^{j\varphi} + jb\omega Ae^{j\omega t} e^{j\varphi} + kAe^{j\omega t} e^{j\varphi} = F_0 e^{j\omega t} \text{ sau:}$$

$$e^{j\varphi} A(-m\omega^2 + jb\omega + k) = F_0 \Rightarrow A = \frac{F_0 e^{-j\varphi}}{k - m\omega^2 + jb\omega} = \frac{F_0 e^{-j\varphi}}{m(\omega_0^2 - \omega^2) + jb\omega} \quad (4)$$

$$\text{Rezulta: } \theta = \arctg\left(\frac{b\omega}{k - m\omega^2}\right) \text{ si atunci: } k - m\omega^2 + jb\omega = re^{j\theta}$$

$$\text{Rezulta ca putem scrie: } A = \frac{F_0 e^{-j\varphi}}{re^{j\theta}} = \frac{F_0}{r} e^{-j(\varphi + \theta)}$$

Deoarece r, A si F_0 sunt marimi reale rezulta ca $e^{-j(\varphi + \theta)} = 0$ si atunci $\varphi = -\theta$ si in final:

$$A = \frac{F_0}{r} = \frac{F_0}{\sqrt{m^2(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (b\omega)^2}}; \quad x(t) = Ae^{j(\omega t + \varphi)} \quad (5)$$

unde s-a tinut seama de relatia $k = m\omega_0^2$.

In concluzie, amplitudinea oscilatiilor va fi proportionala cu forta de excitatie F_0 , iar factorul de proportionalitate este determinat de parametrii oscilatorului. Defazajul este dat de unghiul θ . Este interesant de remarcat ca θ este independent de marimea fortei, astfel incat o forta mai mare nu conduce la o "sincronizare" mai mare cu forta de excitatie, ci mareste doar amplitudinea oscilatiilor.

Se poate rezuma astfel ca:

$$x(t) = Ae^{j(\omega t - \theta)} \text{ cu } A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (b\omega)^2}} \text{ si } \theta = \arctg \frac{b\omega}{k - m\omega^2}$$

reprezinta o solutie (solutia de regim permanent) pentru ecuatiea neomogena care descrie oscilatorul elementar de ordinul doi:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F_0 e^{j\omega t} = F_0 (\cos \omega t + j \sin \omega t) \text{ unde forta de excitatie este } F_0 e^{j\omega t}.$$

Egaland partile reale ale membrilor drept respectiv stang ai ecuatiei de mai sus, si tinand seama ca m , b si k sunt reali, rezulta ca: $x = A \cos(\omega t - \theta)$ este o solutie a ecuatiei, considerand forta de excitatie $F_0 \cos \omega t$ (reala).

Evident, exista posibilitatea de a afla solutia particulara in mod direct, prin considerarea solutiei $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$ dar calculele sunt mult mai complicate.

Este demn de remarcat ca ecuatia neomogena a oscilatorului elementar de ordinul doi se poate scrie:

$$F_{net} = F_{disip} + F_{elastic} + F_{excitatie} \quad (6)$$

Avem trei exemple clasice de oscilatori de ordinul II:

$$L \frac{d^2 q}{dt^2} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} = U(t) \quad \text{ecuatia circuitului RLC serie} \quad (7)$$

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = F(t) \quad \text{ecuatia oscilatorului mecanic de ordinul II} \quad (8)$$

$$m\ddot{r} + 2m\delta\dot{r} + \omega_0^2 r = qE(\omega t) = qE_0 e^{j\omega t} \quad (9)$$

ecuatia de miscare a electronului sub influenta unui camp electric armonic.

Referitor la termenii ecuatiei (5) se poate compune urmatorul tabel 1:

Tabel 1

	F_{net}	F_{disip}	$F_{elastic}$	$F_{excitatie}$	Factorul de amortizare
Circuit RLC serie	$L \frac{d^2 q}{dt^2}$	$-R \frac{dq}{dt}$	$-\frac{q}{C}$	$U(t) = U_0 \cos \omega t$	$\frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{1}{2Q}$
Oscilator mecanic	$m \frac{d^2 x}{dt^2}$	$-b \frac{dx}{dt}$	$-kx = -m\omega_0^2 x$	$F_0 \cos \omega t$	$\frac{b}{2\sqrt{km}} = \frac{b}{2m\omega_0}$
Oscilator atomic	$m\ddot{r} \equiv m \frac{d^2 r}{dt^2}$	$-2m\delta \frac{dr}{dt} = -m\Gamma \frac{dr}{dt}$	$-m\omega_0^2 r$	$qE_0 e^{j\omega t}$	-

Unde, in tabelul de mai sus $F = -kx$ reprezinta legea lui Hooke (lege de material) referitoare la deformarea materialelor elastice, supuse actiunii fortelor (k este constanta de elasticitate a resortului), iar

$F = -b \frac{dx}{dt}$ reprezinta forta disipativa cu b = coeficient de vascozitate (amortizare).

Daca in ec (7) scriem, tinand seama de (2):

$$\frac{dx^2}{dt^2} + \frac{b\omega_0\sqrt{k}}{k\sqrt{m}} \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0 e^{j\omega t}}{m} \text{ sau } \frac{dx^2}{dt^2} + \frac{b\omega_0}{\sqrt{km}} \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0 e^{j\omega t}}{m} \quad (10)$$

$$\text{sau } \frac{dx^2}{dt^2} + 2\zeta\omega_0 \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0 e^{j\omega t}}{m} \text{ cu } \zeta = \frac{b}{2\sqrt{km}} \quad (11)$$

respectiv factorul de amortizare **adimensional**. Se mai poate scrie:

$$\frac{dx^2}{dt^2} + 2\alpha \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0 e^{j\omega t}}{m} \text{ cu } \alpha = \zeta\omega_0 = b/2m \text{ coeficient de atenuare notat uneori si cu } \gamma.$$

Revenind la ecuatia (6) putem scrie:

$$U_R + U_L + U_L = U(t) \quad (12)$$

$$\text{sau } Ri(t) + L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{\tau=t} i(\tau) d\tau = v(t) \quad (13)$$

Sau pentru cazul in care este invariabila in timp; prin diferentiere si impartire cu L obtinem:

$$\frac{d^2 i(t)}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di(t)}{dt} + \frac{1}{LC} i(t) = 0 \quad \text{sau:} \quad (14)$$

$$\frac{d^2 i(t)}{dt^2} + 2\alpha \frac{di(t)}{dt} + \omega_0^2 i(t) = 0 \quad (15)$$

unde α este coeficient/factor/constanta de atenuare notat uneori cu δ :

$$\delta = \alpha = \frac{R}{2L}; \quad \omega_0^2 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (16)$$

$$\text{Si respectiv factorul de amortizare (adimensional) notat cu: } \zeta = \frac{\alpha}{\omega_0} = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{1}{2Q} \quad (17)$$

Adica (14) scris in functie de factorul de amortizare adimensional ζ , devine:

$$\frac{d^2 i(t)}{dt^2} + 2\zeta\omega_0 \frac{di(t)}{dt} + \omega_0^2 i(t) = 0 \quad (18)$$

Astfel, recapituland din tabelul 1 putem verifica urmatoarea analogie intre oscilatorul electric si cel mecanic:

$$\zeta_{ELECTRIC} = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \Leftrightarrow \zeta_{MECANIC} = \frac{b}{2\sqrt{km}} \quad (19)$$

Mai trebuie mentionat faptul ca in ecuatia (8) termeneul disipativ este proportional cu masa particulei (electron) spre deosebire de oscilatorul pur mecanic, de exemplu. Aceasta deoarece INERTIA ELECTROMAGNETICA implica faptul ca o parte a masei particulei incarcate este de origine electromagnetica. De asemenea, solutia scrisa in complex:

$$A = \frac{F_0 e^{j\varphi}}{m(\omega_0^2 - \omega^2) + jb\omega} \text{ devine pe baza echivalentelor prezentate in tabelul 1}$$

$$A = \frac{qE}{m} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2j\delta\omega} = \frac{F_{elec}}{m} \cdot \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + 2j\delta\omega} \quad (2\delta m \Leftrightarrow b) \quad (20)$$

care este cvasiidentica cu solutia in complex obtinuta anterior – cu exceptia coeficientului termenului imaginar de la numitor ($2mj\delta\omega$ in loc de $jb\omega$).

SOLUTIA DE REGIM TRANZITORIU

Solutia de regim tranzitoriu se obtine pe baza teoriei ecuatiilor diferentiale de ordinul II. Astfel , daca scriem in notatia generala:

$$c_2 \frac{d^2 f(x)}{dx^2} + c_1 \frac{df(x)}{dx} + c_0 f(x) = 0 \quad (21)$$

Cu c_0 , c_1 si c_2 constante (independente de x) atunci putem aplica principiul superpozitiei pentru obtinerea solutiei generale. Astfel, daca $f_1(x)$ si $f_2(x)$ sunt solutii ale ecuatiei (21), atunci si $A_1 f_1(x) + A_2 f_2(x)$ este o solutie, pentru orice valori ale constantelor A_1 si A_2 .

Considerand acum ecuatia omogena atasata ecuatiei (11):

$$\frac{dx^2}{dt^2} + 2\alpha \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0 \quad (22)$$

Vom avea ecuatia /polinomul caracteristic:

$$P(\lambda) = \lambda^2 + 2\alpha\lambda + \omega_0^2 \quad (23)$$

cu radacinile $\lambda_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$

Polinomul caracteristic s-a obtinut considerand solutia $x = e^{\lambda t}$. Rezulta: $\frac{dx}{dt} = \lambda e^{\lambda t}$ si

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \lambda^2 e^{\lambda t} \text{ Astfel putem scrie (23) ca: } e^{\lambda t} [\lambda^2 + 2\alpha\lambda + \omega_0^2] = 0$$

Atunci, daca $e^{\lambda t} \neq 0$, rezulta: $\lambda^2 + 2\alpha\lambda + \omega_0^2 = 0$ si solutia generala de regim permanent este:

$$x(t) = A_1 e^{\lambda_1 t} + A_2 e^{\lambda_2 t} \text{ sau } \lambda(t) = e^{-\alpha t} \left[A_1 e^{t\sqrt{\alpha^2 - \omega^2}} + A_2 e^{-t\sqrt{\alpha^2 - \omega^2}} \right] \quad (24)$$

In functie de semnul expresiei de sub radical, avem evident 3 cazuri:

REGIM SUBAMORTIZAT: $\alpha^2 - \omega_0^2 < 0$ si deci λ_1 si λ_2 fiind imaginare avem o oscilatie armonica amortizata.

REGIM SUPRAAMORTIZAT: $\alpha^2 - \omega_0^2 > 0$ si deci λ_1 si λ_2 fiind ambele reale.

REGIM AMORTIZAT CRITIC: $\alpha^2 = \omega_0^2$

SOLUTIA DE REGIM TRANZITORIU PENTRU CIRCUITUL SUBAMORTIZAT

Daca notam $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$, atunci vom avea:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{b^2}{4m^2}} \text{ pentru oscilatorul mecanic}$$

$$\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \frac{R^2}{4L^2}} = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2}; \quad \omega_0 = \frac{1}{LC} \text{ pentru circuitul RLC serie.}$$

In functie de aceasta frecventa unghiulara putem scrie solutia pentru regimul subamortizat:

$$x(t) = e^{-\alpha t} [A_1 e^{j\omega_1 t} + A_2 e^{-j\omega_1 t}] \text{ care dupa aplicarea formulei lui Euler, devine:}$$

$$x(t) = e^{-\alpha t} [j(A_1 - A_2) \sin(\omega_1 t) + (A_1 + A_2) \cos(\omega_1 t)]$$

Daca facem notatiile:

$j(A_1 - A_2) = B$ si $A_1 + A_2 = C$, vom avea:

$$x(t) = e^{-\alpha t} [B \sin(\omega_1 t) + C \cos(\omega_1 t)] \quad \text{cu } A = \sqrt{B^2 + C^2} \quad \text{si } \tan \phi = -\frac{B}{C} \quad (25)$$

$$x(t) = A e^{-\alpha t} \cos(\omega_1 t + \phi) \quad (26)$$

In cazul in care avem descarcarea unui condensator intr-un circuit RLC, tinand seama de conditiile initiale (constantele A, B, C), obtinem pentru curentul de regim tranzitoriu:

$$i(t) = I e^{-\alpha t} \sin \omega_1 t; \quad I \equiv A \quad (27)$$

unde $I = \frac{U_0}{\omega_1 L}$, $\alpha = \frac{R}{2L}$; $\omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$; unde U_0 este tensiunea de incarcare a condensatorului.

- determinarea constantei aferente relatiei $\tan \phi = -\frac{B}{C}$

$x(t) = A e^{-\alpha t} \cos(\omega_1 t + \phi)$; $x(0) = 0 = A \cos \phi \Rightarrow \cos \phi = 0 \Rightarrow \phi = 90^\circ$ si in consecinta solutia poate fi scrisa: $x(t) = A e^{-\alpha t} \sin(\omega_1 t)$ cu $C = 0$ si $A \equiv B$, deoarece $\tan 90^\circ = \infty$.

- pentru determinarea constantei A facem urmatorul rationament:

Curentul prin inductivitate si tensiunea pe condensator sunt marimi care nu pot varia brusc. In consecinta putem scrie:

$$U_L(0^+) = U_C(0^+) + U_R(0^+) = U_0 + I_0 R$$

$$\text{Dar } U_L(0^+) = L \left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} \Rightarrow \frac{di}{dt} = \frac{U_0 + I_0 R}{L} = \frac{U_0}{L} \text{ deoarece la } t=0, I_0 = 0.$$

Pe de alta parte $\frac{di}{dt} = -A\alpha e^{-\alpha t} \sin \omega_1 t + \omega_1 A e^{-\alpha t} \cos \omega_1 t = A e^{-\alpha t} (\omega_1 \cos \omega_1 t - \alpha \sin \omega_1 t)$

rezulta $\left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} = \frac{U_0}{L} = A\omega_1$ si deci $I = \frac{U_0}{\omega_1 L}$,

In mod analog se determina solutiile pentru circuitul supraamortizat respective pentru circuitul aperiodic critic

$$x(t) = A e^{-\alpha t} 2 \sinh(\omega_2 t) \quad (28)$$

$$i(t) = \frac{U}{L} t e^{-\alpha t} \quad (29)$$

SIMULARE IN MATLAB SIMULINK

Circuitul serie RLC poate fi analizat in cazul cel mai general – pentru regimuri tranzitorii si pentru regimul permanent – folosind TRANSFORMAREA LAPLACE. Aceasta presupune ca sursa de tensiune – sursa de semnal – sa fie scrisa ca $U(s)$ unde $s = \sigma + j\omega$ este FRECVENTA COMPLEXA. Acest tip de analiza se foloseste in inginerie si in fizica. Astfel, o functie reala $f(t)$ in domeniul timp (t) poate fi translatata si in planul s calculand integrala acestei functii inmultita cu e^{-st}

$$(de\ la\ 0\ la\ \infty),\ unde\ s = \sigma + j\omega: \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt \Big|_{s \in C}$$

Transformata Laplace este oarecum similara transformatei Fourier , dar are un caracter mai general.

Analizand radacinile complexe in planul S si respectiv reprezentarea grafica in DIAGRAMA ARGAND se pot extrage informatii despre raspunsul in frecventa si stabilitate.

Revenind la transformata Laplace aferenta circuitului RLC serie se poate scrie:

$$U(s) = I(s) \left(R + Ls + \frac{1}{Cs} \right) \quad (30)$$

$$\text{sau } I(s) = U(s) \frac{s}{Ls^2 + Rs + \frac{1}{C}}; \quad I(s) = U(s) \frac{s}{L(s^2 + 2\alpha s + \omega^2)} \quad (31)$$

$$\text{unde } Y(s) = \frac{s}{Ls^2 + Rs + \frac{1}{C}} = \frac{s}{L(s^2 + 2\alpha s + \omega_0^2)} \quad (32)$$

este admitanta Laplace. Modelarea in MATLAB simulink pentru doua cazuri distincte este data in fig. 7.

In urma activitatilor de proiectare pentru partea electrica a modelului experimental a rezultat schema bloc functionala prezentata in fig. 8.

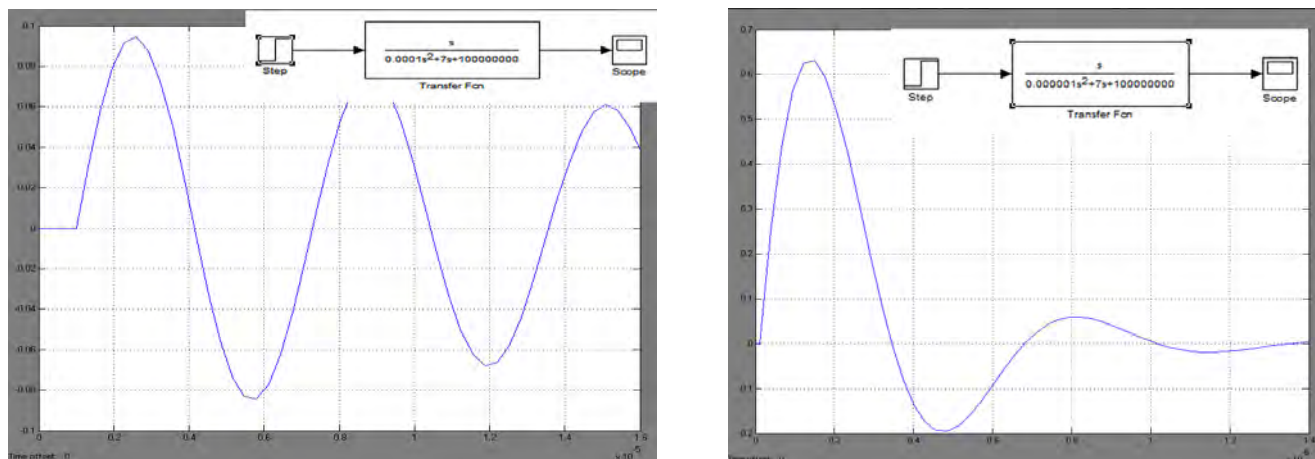


Fig. 7. Regim armonic subamortizat modelat in MATLAB simulink: (stanga: pentru $L=100 \mu\text{H}$, $R=7 \Omega$, $C=10 \text{ nF}$; dreapta: pentru $L=1 \mu\text{H}$, $R=7 \Omega$, $C=10 \text{ nF}$).

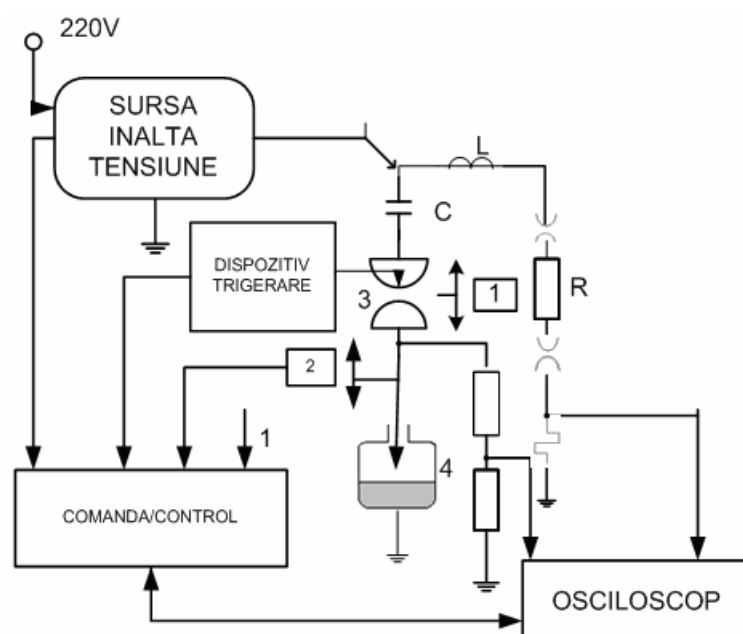


Fig. 8. Schema bloc functionala a generatorului de impulsuri de curent repetitive de inalta tensiune.

1. actionarea distantei dintre semisferele eclatorului;
2. actionarea avansului electrodului din recipientul tehnologic;
3. eclator comandat cu distanta variabila
4. recipient tehnologic.

Activitatea 2.3 Experimentari parțiale in vederea asamblării părții mecanice și părții electrice.

Experimentari parțiale

În vederea realizării testelor parțiale în vederea stabilirii soluției constructive pentru asamblarea părții mecanice și electrice s-a realizat în primul rând o baterie de condensatori ceramici prin conexiune serie paralel, rezultând o valoare finală echivalentă de 10nF la o tensiune de 400kV cu o inductivitate foarte mică de ordinul zecilor de nH. Modul de realizare al acestei baterii este arătat în fig. 9.



Fig. 9. Realizarea bateriei de condensatori (10nF) de înaltă tensiune și inductivitate redusă.

În fig. 10. este arătat ansamblul constructiv electro-mecanic folosit pentru testele preliminare/parțiale.

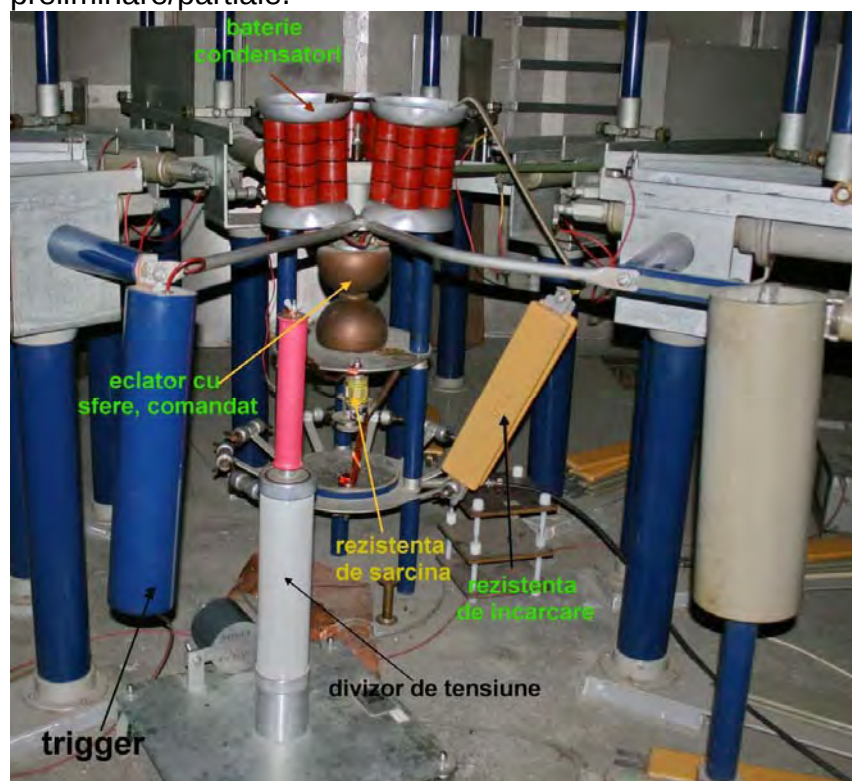


Fig. 10. Montaj experimental

În diagramele prezentate în fig. 11 se arată rezultatele testelor parțiale care au urmărit determinarea ratei de repetiție a impulsurilor (cca 10Hz) precum și caracteristicile impulsurilor repetitive timp de creștere, amplitudinea unde de curent respectiv de tensiune și influența inductivității circuitului.

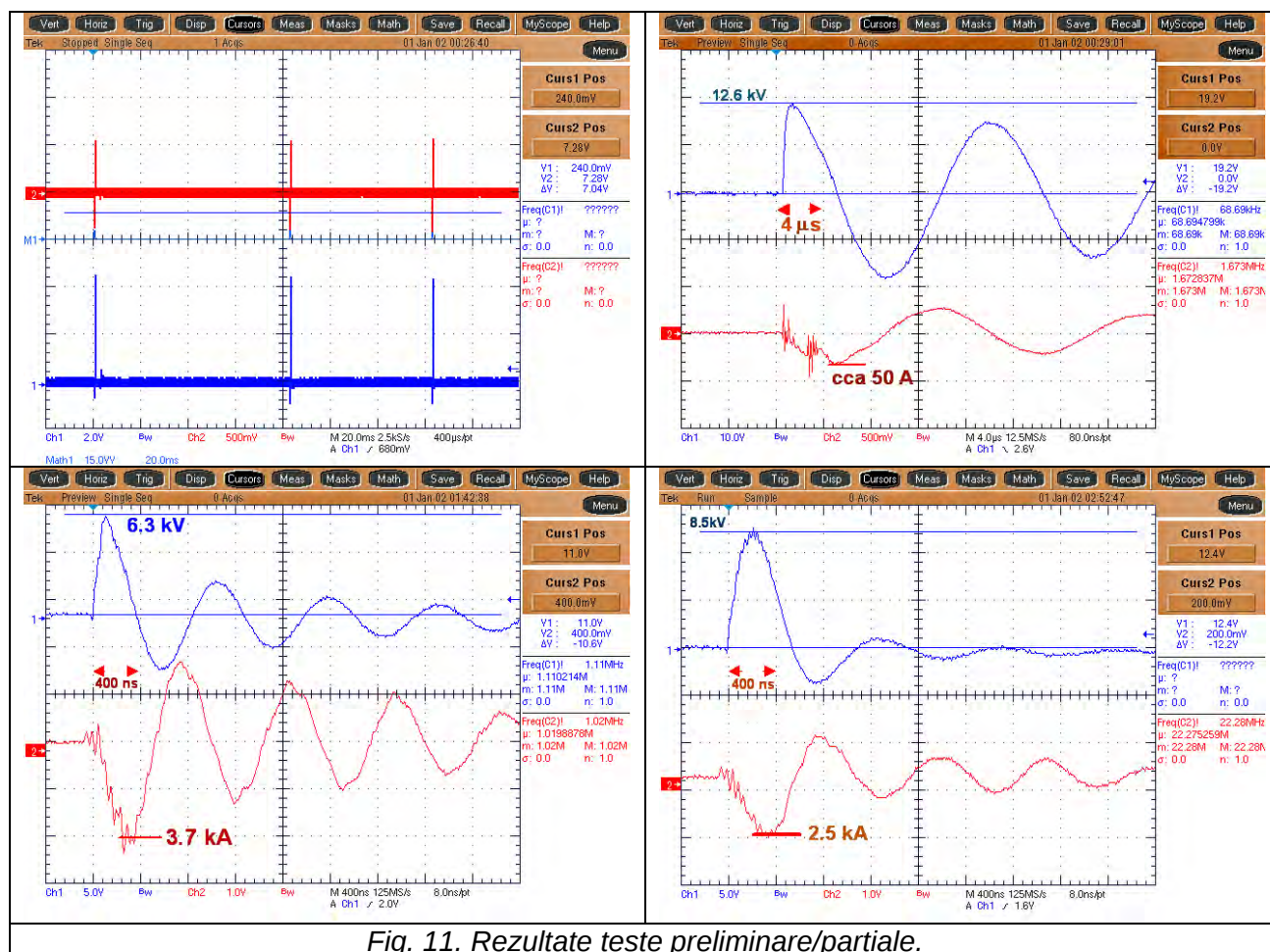


Fig. 11. Rezultate teste preliminare/parțiale.

Este de remarcat concordanța foarte bună obținută între diagramele din MATLAB simulink și oscilogramele aferente testelor electrice.

Elemente de proiectare electromecanică (asamblarea părții mecanice și părții electrice)

Principalele părți componente ale generatorului de impuls de curent pentru dezasamblarea selectivă (Fig. 12) sunt următoarele:

1. Sursă de înaltă tensiune;
2. Rezistor de încărcare/descărcare;
3. Baterie de condensatori...;
4. Eclator;
5. Tanc
6. Trigger.



Fig. 12. Generatorul de impuls - asamblarea electromecanica.

Bateria de condensatori a fost realizata dintr-un numar de 48 de condensatori cu capacitate de 3.3 nF astfel incat capacitatea rezultanta a bateriei de condensatori sa fie de aproximativ 10 nF. Figura 13 prezinta modul de realizare a bateriei de condensatori.



Grupare de 16 condensatori



Baterie de 48 condensatori

Fig. 13. Realizarea bateriei de condensatori

Experimentarile realizate si solutia constructiva rezultata, privind asamblarea partii electrice si mecanica creaza premisele pentru elaborarea proiectului complet al partii mecanice, asamblarea finala respective executia modelului experimental, activitati care fac obiectul fazei urmatoare a proiectului.

Activitatea 2.4 Diseminarea rezultatelor, elaborare articole.

Workshop 30 oct. 2015 - Electrotehnologii inovative de recuperare a metalelor prin prelucrarea deseurilor la care au participat toti partenerii din proiect si IMNR Bucuresti. In cadrul acestui workshop au fost prezentate urmatoarele lucrari:

1. Deseuri si legislatia in domeniu - Dr. Ing Jana Pinteau - INCDIE ICPE - CA
2. Fragmentarea selectiva – Principii si realizari – Dr. Ing Mihai Badic- INCDIE ICPE-CA

3. Modelarea numerica pe modele simplificate a proceselor distructive, in materiale compuse, produse prin socuri electrice. Modelarea in 3D a dispozitivului de procesare – Dr. Ing Tudor Chereches- UPS PILOT ARM SRL
4. Prelucrarea inovativa a deseurilor electrice si electronice pentru valorificarea metalelor utile - Ing Soare Vasile IMNR Bucuresti

Articol in press - Mihai Badic, Jana Pintea - Fragmentarea selectiva cu impulsuri de inalta tensiune – o tehnologie de varf- Electrotehnica, Electronica, Automatizari 63(2015) nr.X-

CONCLUZII

In cadrul actualei faze a proiectului s-a urmarit pe langa modelarea numerica a proceselor care se produc in instalatia de dezasamblare selectiva a deseurilor si elaborarea proiectului partii electrice pe baza modelului fizico-matematic a oscilatorului liniar de ordinul II si de asemenea, compararea rezultatelor unor simulari in MATLAB simulink cu testele parțiale realizate in vederea asamblării partii mecanice si partii electrice. Rezultatele aplicării simulării numerice pe diferite situatii au scos în evidență foarte multe constatări utile, cu valoare practică in privinta fenomenologiei care are loc in recipientul tehnologic (tanc). Corelarea acestor concluzii cu parametrii generatorului de impuls de curent, respectiv cu materialele procesate in recipient se va realiza in cadrul fazei finale a proiectului.

In ceea ce priveste activitatile de proiectare a partii electrice respectiv experimentari in vederea asaamblării partii electrice si partii mecanice, activitati ce vor folosi in cadrul proiectului final al partii mecanice (obiectul fazei finale a proiectului) este de remarcat concordanta foarte buna obtinuta intre rezolvarea analitica cu ajutorul ecuatiilor diferentiale caracteristice oscilatorului armonic de ordinul II, cu simularea in MATLAB simulink respectiv cu oscilogramele obtinute in timpul testelor.

Succesul acestei faze consta in obtinerea parametrilor necesari ai impulsurilor repetitive de inalta tensiune asa cum sunt ei specificati in literatura de specialitate:

- rata de repetitie a impulsurilor 1 - 10Hz;
- curent in impuls de ordinul kA;
- timp de crestere mai mic de 200ns;
- durata totala a unui impuls: <500ns;

Aceste performante arata ca sunt create premisele pentru realizarea in cadrul fazei finale a generatorului de impuls de curent (ME-model experimental) dedicat fragmentării selective a deseurilor.

PARTENERIATE IN DOMENII PRIORITARE

Raport Stiintific si tehnic (RST)

Denumire proiect

„Instalatie si tehnologie pentru reciclarea deseurilor prin dezasamblarea selectiva cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune”

ACRONIM ITESEDEZ

Contract nr 84/2014

Nr PN-II-PT-PCCA-2013-4-1100

Etapa de executie 3/2016

„ Modelare finala, proiectare si testare partiala model experimental pentru dezasamblarea selectiva a deseurilor (ME)”

X RST in extenso

X Proces verbal de avizare interna

Director de Proiect

Dr. Ing. Mihai Badic

ACTIVITATEA 3.1.

Modelarea numerică (II) a proceselor care se produc în instalația de dezasamblare selectivă a deșeurilor, în scopul stabilirii caracteristicilor principale ale instalației în vederea proiectării acesteia

Lucrarea are ca scop stabilirea unor caracteristici ale instalației de fragmentare selectivă, necesare proiectării și realizării unui model experimental. Ca metodă de lucru s-a folosit metoda simulărilor numerice în care a fost folosită o cantitate limitată de date experimentale. În lucrare, mai întâi se face o analiză a selectivității fragmentării și apoi se analizează câteva situații funcționale.

Fragmentarea selectivă electrodinamică este un procedeu de separare a componentelor structurilor compozite, în special, a celor care includ metale. Procedeu se utilizează pentru recuperarea materialelor din deșeurile produselor scoase din uz, dar se poate aplica și în industria de prelucrare a unor minereuri, pentru separarea componentelor utile.

Procedeu folosește pentru separarea componentelor, energia dezvoltată de descărcările electrice pulsante, de înaltă tensiune, produse selectiv în structurile compozite.

Arcul electric realizează în canalul de descărcare densități foarte mari de energie, cu efecte termice care transformă solidele în gaze la temperaturi de peste 10 000 K și presiuni de ordinul zecilor de mii de bari. Această transformare fiind foarte scurtă, producându-se în 1 ... 5 μ s produce o undă de șoc de compresie cu dezvoltare normală pe canalul de descărcare.

Unda de compresie, uneori combinată și cu reflexii ale ei, produce distrugerea materialului în jurul canalului de descărcare și generează fisuri care se propagă la distanță. Efectul distructiv se amplifică odată cu pătrunderea gazelor sub presiune în fisurile inițiale.

Cuva experimentală de fragmentare selectivă, modelată, proiectată și analizată în această lucrare funcționează folosind descărcările electrodinamice de înaltă tensiune.

Lucrarea are ca scop analiza funcționării instalației experimentale și evaluarea unor performanțe ale acesteia folosind metodele de simulare numerică.

Pentru analiza numerică a proceselor electromagnetice, termice și mecanice din cuva de fragmentare selectivă a fost necesară adaptarea metodelor generale de simulare numerică la condițiile concrete ale cuvei proiectate. În modelele folosite pentru analiza funcționării cuvei de fragmentare selectivă, unele caracteristici de material sunt ipotetice, dar reale.

SELECTIVITATEA FRAGMENTĂRII - TENSIUNEA DE STRĂPUNGERE

În general materialele supuse procesării sunt materiale solide compuse care conțin atât metale, cât și materiale dielectrice. La nivelul actual, combinațiile metal – metal nu se pot procesa.

Asigurarea conductivității electrice în spațiile goale dintre părțile procesate ale acesteia sunt imersate într-un electrolit. Astfel, din punctul de vedere al proprietăților electrice, în cuvă există trei categorii de materiale:

- metale;
- dielectrice;
- electroliti.

Conductivitățile electrice ale celor trei categorii de materiale, foarte diferite, au influențe importante asupra dezvoltării câmpului electric în cuva de procesare.

Caracteristica principală care intervine în procesul de fragmentare selectivă este rigiditatea dielectrică a materialelor, care reprezintă rezistența la străpungere a materialelor, sau tensiunea la care se străpunge electric un strat de material de grosime dată.

Pentru determinarea tensiunilor de străpungere se folosesc metode standardizate, cu câmp electric uniform sau polar cu electrod sferic. Deoarece în cazurile practice condițiile diferă foarte mult de cele de definiție, valorile date pentru tensiunile de străpungere ale materialelor au caracter informativ și pot fi privite ca maxime.

Străpungerea dielectrică poate fi privită ca pierdere a proprietăților dielectrice a izolatoarelor solizi, lichizi și gazeși în condițiile în care intensitatea câmpului electric depășește o valoare critică. Această valoare reprezintă rigiditatea dielectrică a materialelor.

În dielectricii solizi străpungerea se produce ca urmare a depășirii energiei limită de polarizare. Pe măsură ce intensitatea locală a câmpului electric crește, în material încep să apară electroni liberi care măresc conducția. Treptat dielectricul devine conductor. Conducția instalată în dielectric crește foarte rapid cu creșterea intensității câmpului electric – creștere exponențială. La un moment dat densitatea de curent în dielectric începe să producă efecte termice. Atunci când energia termică produsă excede energia disipată, se produce încălzirea locală cu efecte tranzitorii de fază, până la faza gazoasă, în stare de plasmă.

La gaze și la lichidele pure conducția apare în funcție de intensitatea câmpului electric. Când potențialul de polarizare este depășit, dipolii se rup și se produce ionizarea. În acest caz, curentul electric este consecință a mișcării ionice. În lichidele care conțin în soluție diferite substanțe și impurități, străpungerea este declanșată în vecinătatea acestora datorită concentrării câmpului.

SIMULAREA PROCEDEULUI DE DESCĂRCARE SELECTIVĂ PE UN MODEL REDUS

Pentru a pune în evidență selectivitatea procesului de descărcare prin arc electric s-a apelat la un model simplificat în 2D. Fig. 2 redă acest model care conține o parte dintr-o cuvă de fragmentare ipotetică în care se găsesc o bucată de conductor metalic izolat, un electrolit și electrozii.

Dispunerea obiectelor este astfel făcută încât distanța directă dintre electrozi să fie mai scurtă ca traseul ocolitor prin conductori. Conductivitatea materialelor care intră în structura modelului este afișată în Fig. 2. Pentru susținerea demonstrației s-a admis că electrolitul folosit – apa – are gradul de uzură la care tensiunea de străpungere a ajuns la 15 kV/mm, mai mică în comparație cu cea a izolatorului (20 kV/mm). Dacă s-ar face abstracție de prezența metalului, pentru acest angajament, descărcarea electrică ar trebui să se producă prin electrolitul mai puțin rigid, pe calea cea mai scurtă.

Simularea numerică a descărcării electrice pe acest model are ca scop să evidențieze importanța prezenței metalului în procesul de distribuție a câmpului electric în cuva de procesare.

În scopul simplificării simulării numerice, dar fără a pierde calitatea, s-a adoptat o funcție treaptă pentru legea de conducție, diferită într-o oarecare măsură de legea reală. Graficul din Fig. 2

prezintă această ipoteză, care se poate formula simplu, astfel: *materialul este dielectric până la atingerea tensiunii de străpungere, după care devine conductor*.

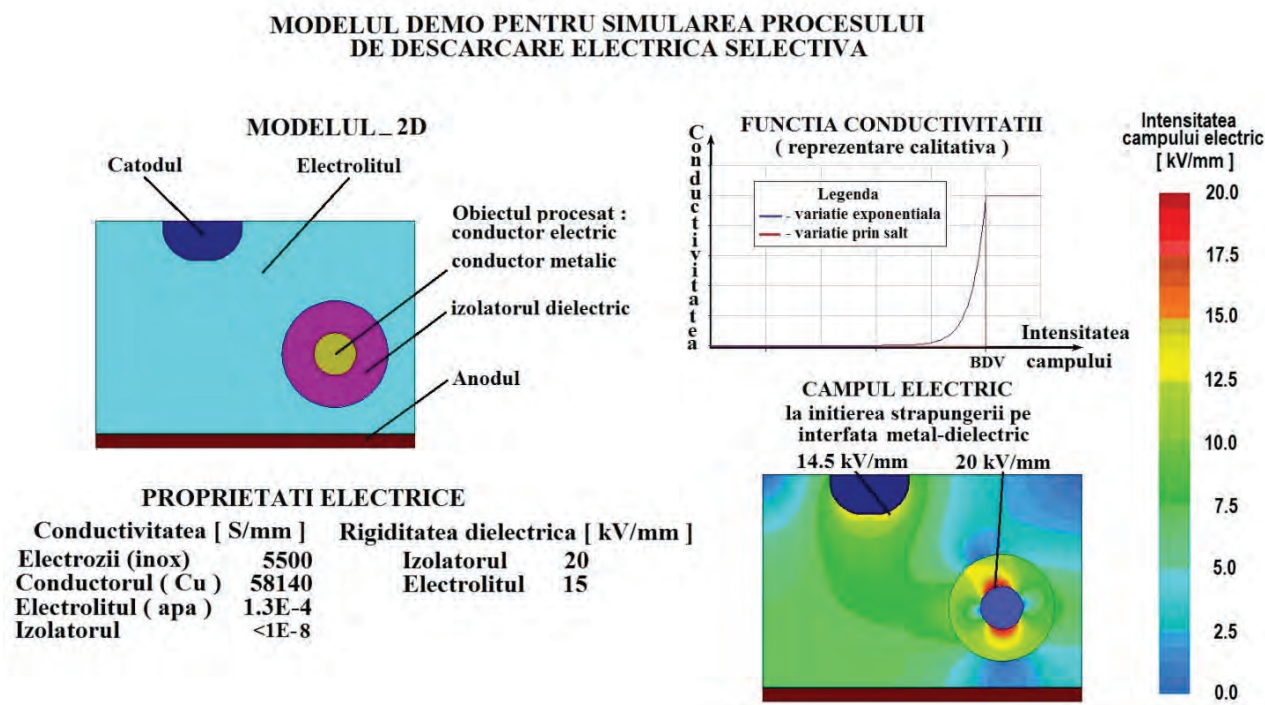


Fig. 2. Modelul DEMO pentru simularea procesului de descărcare electrică selectivă

Și în electrolit conducția face salt corespunzător la trecerea peste BDV. Neexistând date experimentale la dispoziție, în lucrare s-a admis pentru starea de conducție o conductivitate mai mare de 0,1 S/mm.

În Fig. 2 este reprezentat câmpul electric în momentul inițierii străpungerii dielectricului, care corespunde unei tensiuni de alimentare pe electrozi de 54 kV. Se poate observa ușor efectul de concentrator al metalului asupra câmpului electric. În electrolit încă nu s-a atins tensiunea de străpungere de 15 kV/mm.

După inițierea procesului de străpungere câmpul electric are evoluții foarte rapide declanșate în avalanșă. În Fig. 3 este prezentată o succesiune de distribuții ale câmpului electric în cuva de procesare. Este de remarcat faptul că la început zonele de conducție se creează în dielectric (1, 2, 3). La un moment dat (4) începe străpungerea în electrolit, în ambele sensuri.

Străpungerea completă *CATOD – CONDUCTOR – ANOD* este reprezentată în secvența nr. 6.

Densitatea de curent în componentele modelului este reprezentată secvențial în Fig. 4.

Se pot sesiza două situații: prima începând cu momentul începerii străpungerii și se continuă până la instalarea conducției în dielectric pe toată grosimea acestuia și a doua din acest moment și puțin înainte de momentul formării punții de conducție.

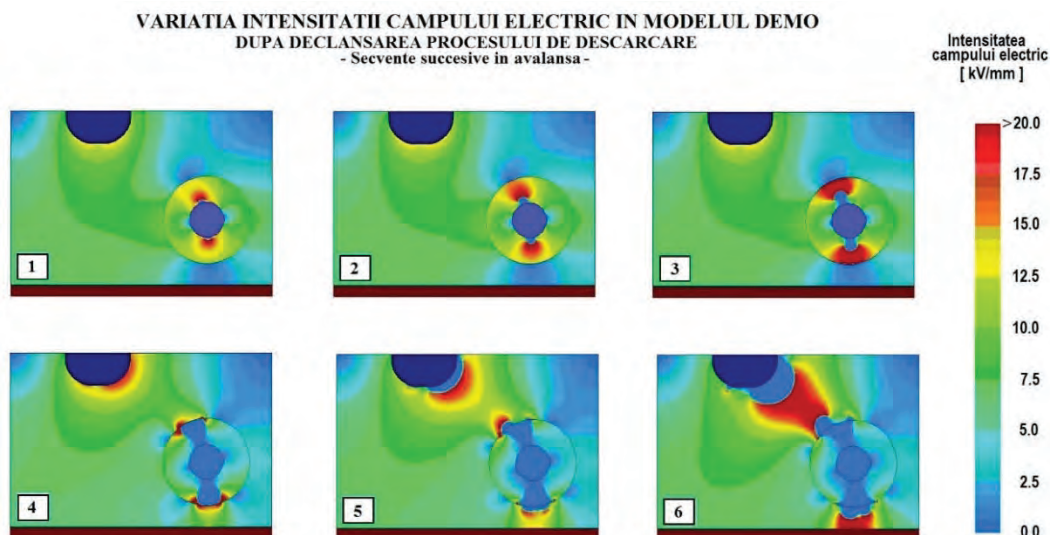


Fig. 3. Variația intensității câmpului electric în modelul DEMO după declanșarea procesului de descărcare

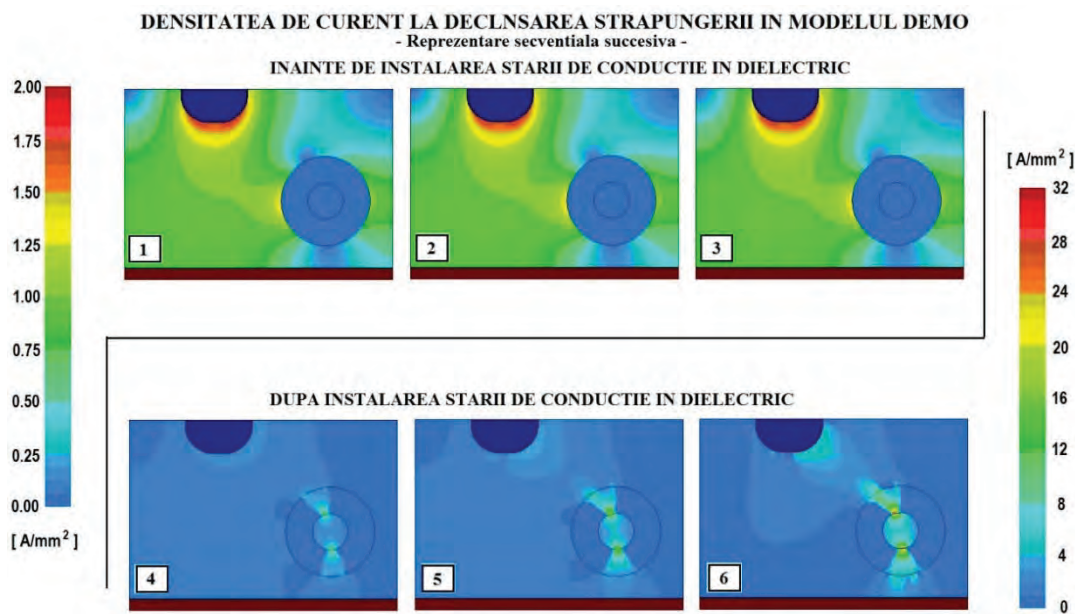


Fig. 4. Densitatea de curent la declanșarea străpunerii în modelul DEMO

ACTIVITATEA 3.2.

Elaborare proiect I – parte mecanică pentru model experimental (ME)

În etapa anterioară s-a făcut analiza cantitativă a proceselor care se produc în instalațiile de fragmentare selectivă cu impulsuri de înaltă tensiune. Acest studiu a dat posibilitatea autorilor să abordeze un domeniu nou de fizică aplicată, folosind cu metoda de cercetare – simularea numerică. În acest scop autorii au conceput o metodologie de aplicare a metodelor numerice existente la problema multidisciplinară a descărcărilor prin arc electric în instalația de fragmentare. În metodologie sunt cuplate într-un tot unitar soluționarea numerică a problemelor câmpului electric

din cuva de procesare, cu problemele circuitului de alimentare. Ca rezultat al aplicării metodologiei formulate se obține o soluție unitară pentru funcționarea instalației de fragmentare cu impulsuri de tensiune. Metodologia de simulare numerică a fost testată pe câteva aplicații. Rezultatele testelor numerice au fost prezentate în cadrul etapei Modelele folosite în această etapă a programului de cercetare științifică, au fost modele simplificate, care, însă, au condus, așa cum s-a evidențiat în conținutul lucrării, la rezultate foarte utile privind funcționarea instalației de fragmentare supusă studiului.

În aceeași lucrare se specifică faptul că în dezvoltarea viitoare, aria investigațiilor numerice se va extinde pe modele mai complexe, în care, pe lângă efectele electro-magnetice să se abordeze și cele termo-mecanice, care însoțesc descărcările prin canalele de plasmă. Dezvoltarea unei baze experimentale de date privind procesele din instalația de fragmentare va susține simularea numerică cu toate informațiile practice necesare. Simularea numerică trebuie să fie confruntată și ajutată de simularea experimentală a proceselor. Pentru continuarea cercetării științifice, în vederea dezvoltării proiectului, este necesară realizarea unei instalații experimentale pentru fragmentarea cu impulsuri de înaltă tensiune. Baza de date experimentale se va construi folosind instalația experimentală pentru evaluarea proprietăților materialelor care participă la proces. Având instalația realizată și baza de date completată, se vor testa tehnologiile de dezasamblare proiectate. Instalația experimentală trebuie dotată cu aparatură de observare și măsură, necesară controlului tuturor parametrilor electro-magnetici, termici și mecanici care intervin în proces.

Având în vedere cele specificate anterior, în cadrul etapei 3 s-a trecut la elaborarea proiectului pentru partea mecanică a Modelului Experimental. Aceasta parte aferentă instalației de dezasamblare selectivă a deșeurilor, conform Fig. 3.1 este formată din: **suportul instalației (1), cuva ans. (2), mecanism ans. (3), mecanism de transmisie ans. (4) și cureaua pentru transmisii sincrone.**

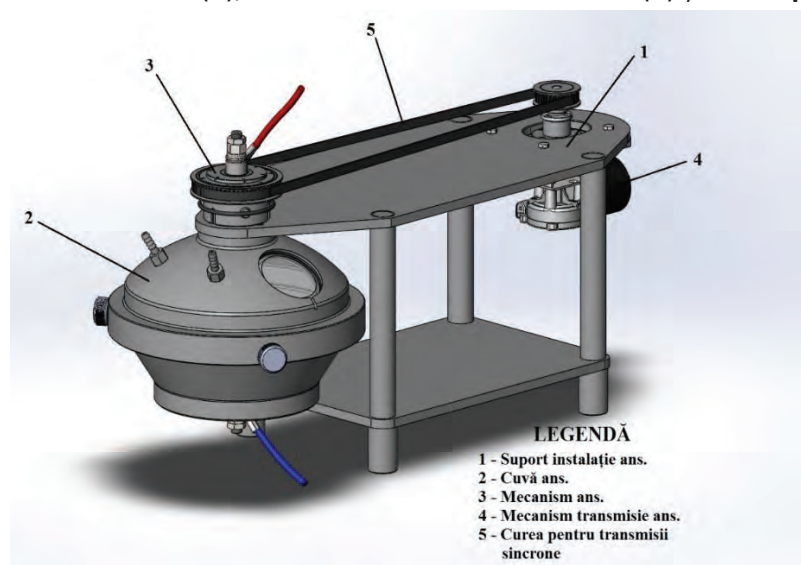


Fig. 3.1. Instalație de dezasamblare selectivă a deșeurilor

La rândul lor ansamblurile cuprind: **Suport instalație ans.** (Placa superioara, Placă inferioară și Picior); **Cuvă ans.** (Capac ans. format din: Capac cuvă, Știft poziționare, Vizor sticlă, Inel O 74x4, Racord

furtun și Inel O 9x2.5 și Vas procesare ans. format din: Vas procesare, Catod ansamblu (Catod bază și Catod conectare), Inel O 154,5x3 și Șurub M5x12); **Mecanism ans.** (Port-anod, Inel O 10,8x3, Anod filetat, Bucșă filetată, Știft blocare RA, Știft blocare, Inel O65x4, Roată dințată ans. Z61, Disc fricțiune, Inel O 56x4, Placă presiune, Contrapiuliță, Șaibă plată M12, Conector electric, Șaibă Grower M12, Piuliță hexagonală m12, Contrapiuliță M12 și cablu alimentare anod); **Mecanism transmisie ans.** (Placă mecanism transmisie, Bucșă mecanism de transmisie, Lagăr teflon, Suport motor, Antrenor, Șurub M6x16, Șurub M6x10, Șaibă plată M6, Șaibă Grower M6, Șaibă plată M8, Șurub M6x20, Șurub M4x10, Șaibă și Șplint 3.2x22); **Curea pentru transmisii sincrone.**

În figura 3.2. se arată un exemplu dintre cele 41 de repere ale proiectului.

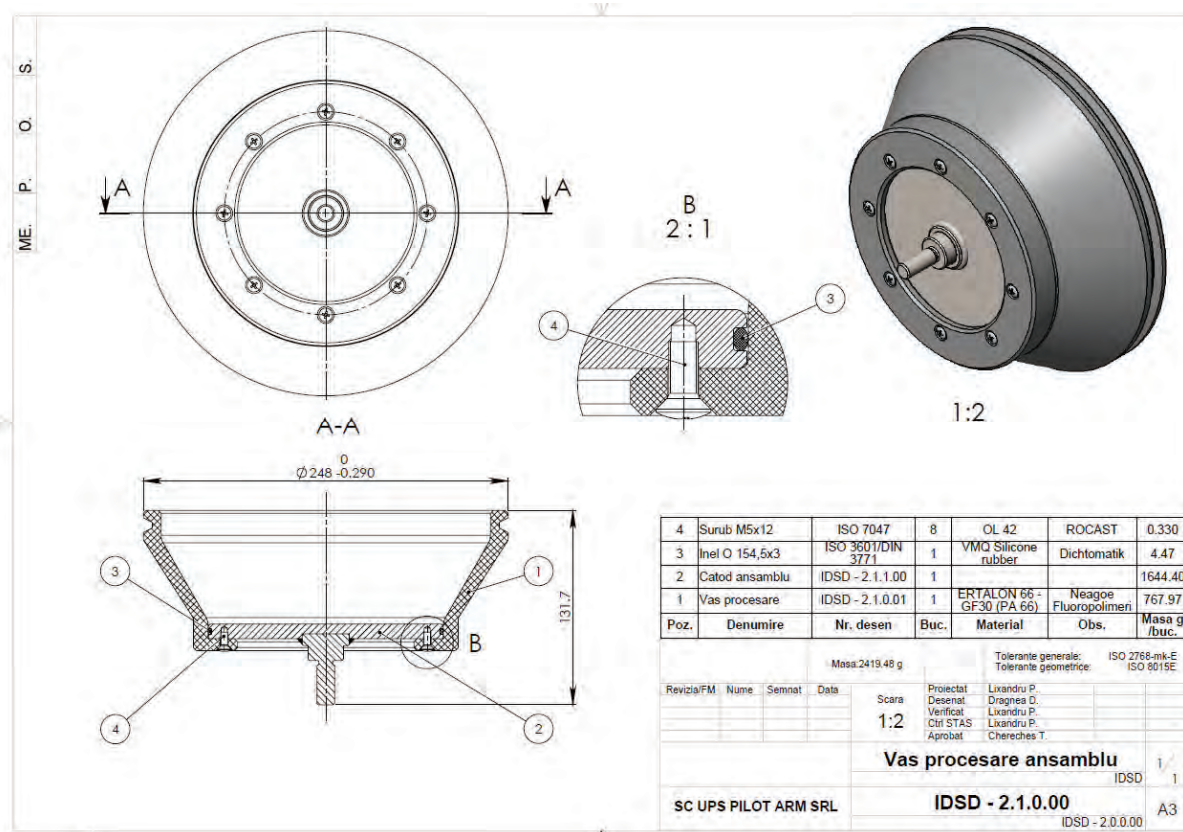


Fig. 3.2. Exemplu desen proiect

ACTIVITATEA 3.3.

Elaborarea documentatiei de asamblare – partea mecanica (I) si partea electrica (ME)

ASAMBLAREA MECANO-ELECTRICA A DISPOZITIVELOR DEZVOLTATE IN CADRUL PROIECTULUI

Pe platforma a fost fixat un cadru metalic din profile cornier de 30 si 50 mm in vederea unei mai bune fixari a componentelor dar si pentru montarea unor eventuale componente auxiliare, prevazute in etapa urmatoare a proiectului (Fig.17).

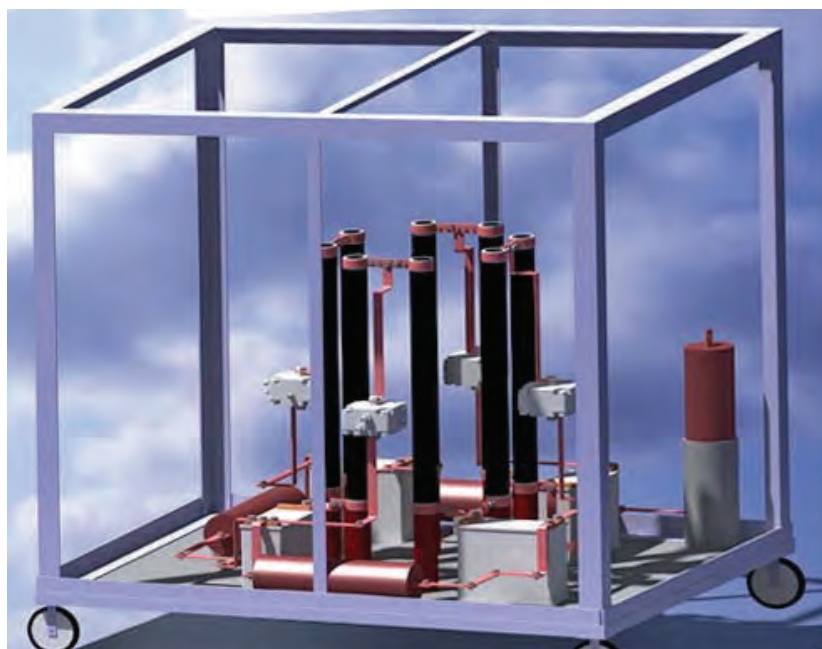


Fig. 17. Platforma cu cadru metalic si generator de impulsuri repetabile de tip Marx – structura metalica pentru montaj final.

Avand in vedere schema bloc generala a instalatiei prezentate in Fig. 18, se observa ca principalele dispozitive mecano-electrice ale instalatiei sunt:

- vasul tehnologic de procesare a materialelor supuse fragmentarii selective;
- eclatoarele trigerabile (electric si/sau pneumatic) care presupun si un circuit de aer sau SF6 sub presiune.

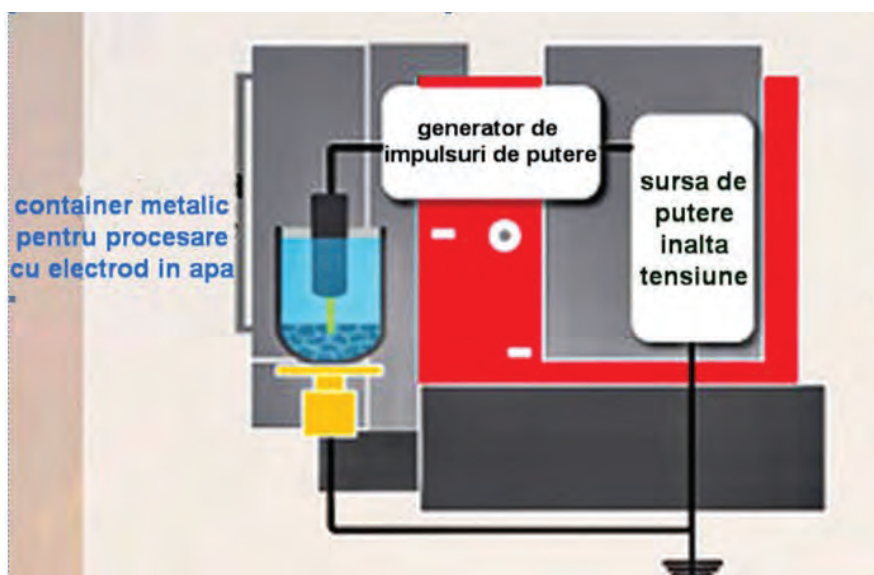
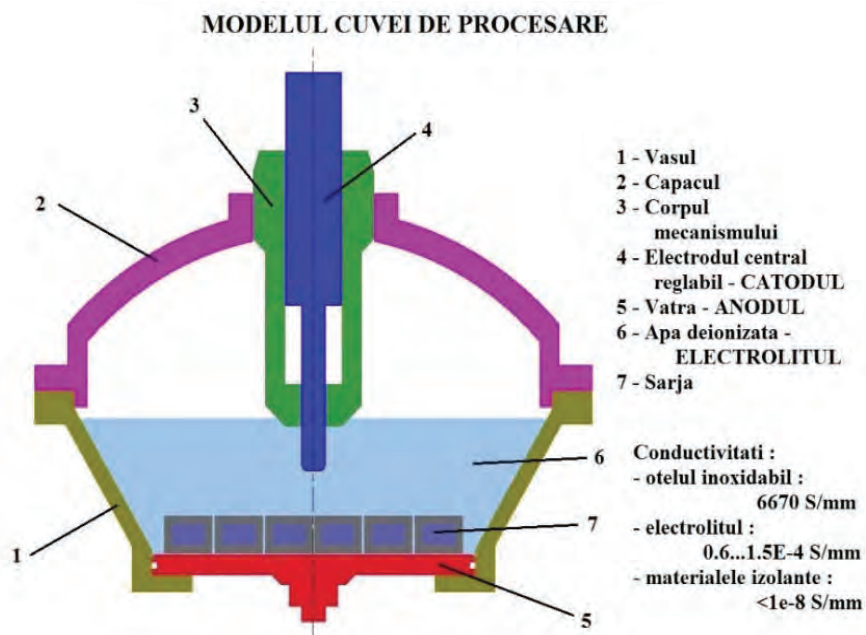


Fig.18. Schema bloc generala a instalatiei de dezasamblare selective.

Schema principala a vasului tehnologic de procesare este prezentata in Fig. 19 iar detaliile constructive de asamblare, inclusiv mecanismul de actionare a electrodului mobil sunt prezentate in Fig. 20.



1 2

Fig.19. Schema de principiu a vasului tehnologic (cuva).

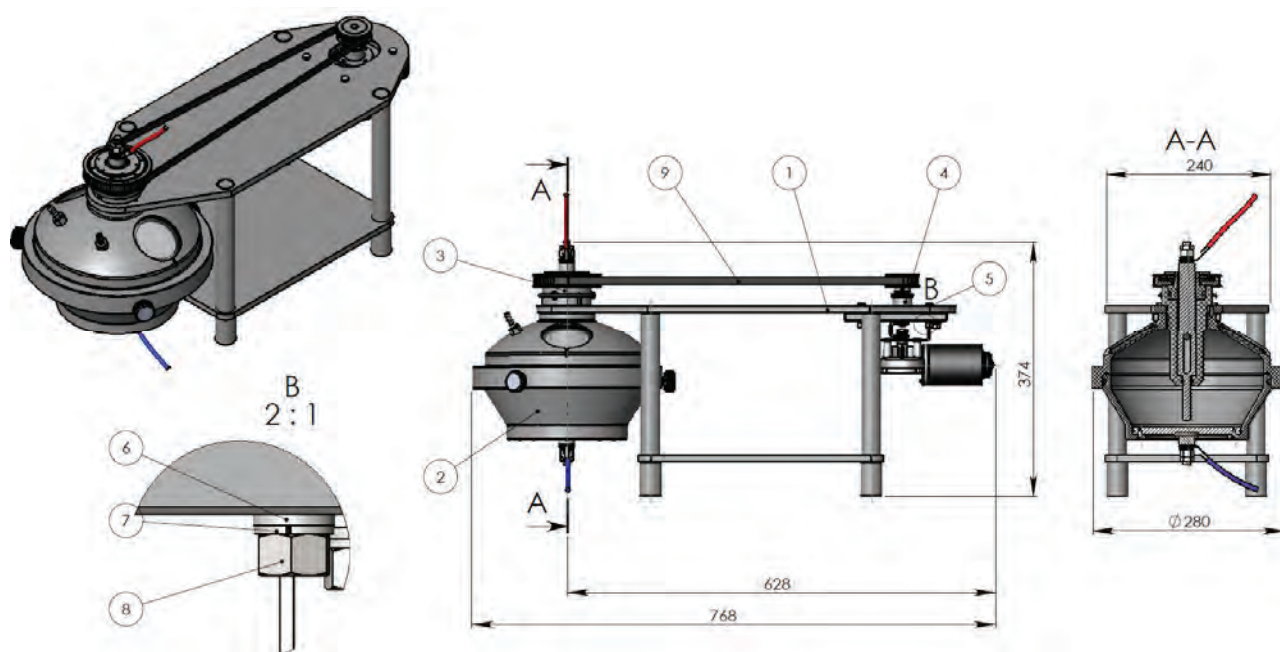


Fig. 20. Vasul tehnologic de procesare – detalii de asamblare.

In Fig. 21 este prezentat un eclator trigerabil demontat. Se pot observa detaliile constructive: carcasa de policarbonat, electrozii principali si electrocul de trigerare, dispozitivele de conectare la circuitul pneumatic.

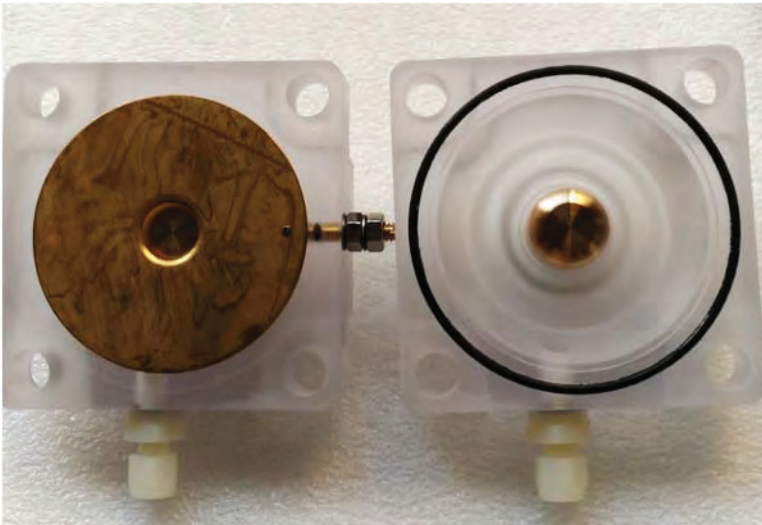


Fig.21. Eclator trigerabil – detalii asamblare si dezasamblare.

CONCLUZII

Elementele de montaj/asamblare prezentate in cadrul acestei activitati si principiile care stau la baza asamblarii versatile a instalatiei de fragmentare selective cu ajutorul impulsurilor repetabile de inalta tensiune vor fi folosite in cadrul etapei finale a proiectului, pentru testare, validare si elaborarea procedurilor de lucru.

ACTIVITATEA 3.4.

Executie parte mecanica (ME) si testare la inalta tensiune

Aceasta activitate consta in operatiuni de executie, de asamblare si de testare la inalta tensiune a vasului tehnologic in care are loc fragmentarea/dezasamblarea selective si a eclatoarelor trigerabile in vederea determinarii tensiunilor de strapungere respectiv de conturare aferente acestor dispozitive. Astfel in conformitate cu proiectul realizat la *Activitatea 3.2.* a fost realizat vasul tehnologic prezentat in Fig. 1.

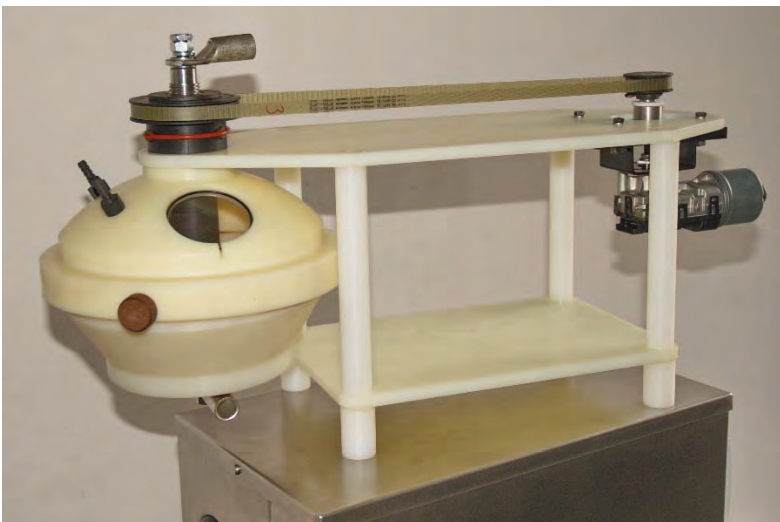


Fig. 1. Vasul tehnologic de procesare – fragmentare selectiva.

Pentru testarea vasului tehnologic in care are loc fragmentarea selectiva se foloseste generatorul Marx clasic din dotarea Laboratorului de incercari la inalta tensiune *OICPE* (Fig. 2).

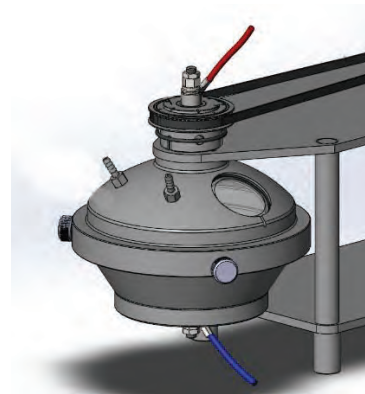
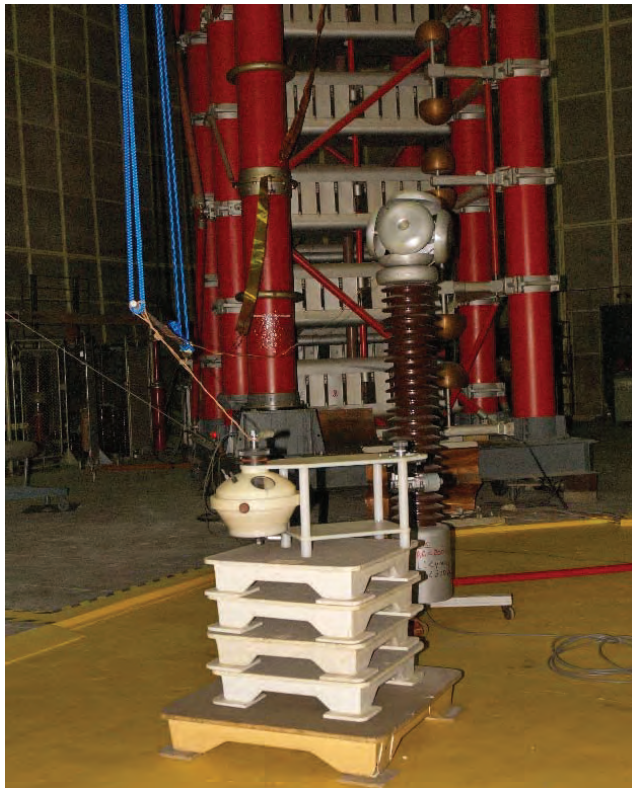
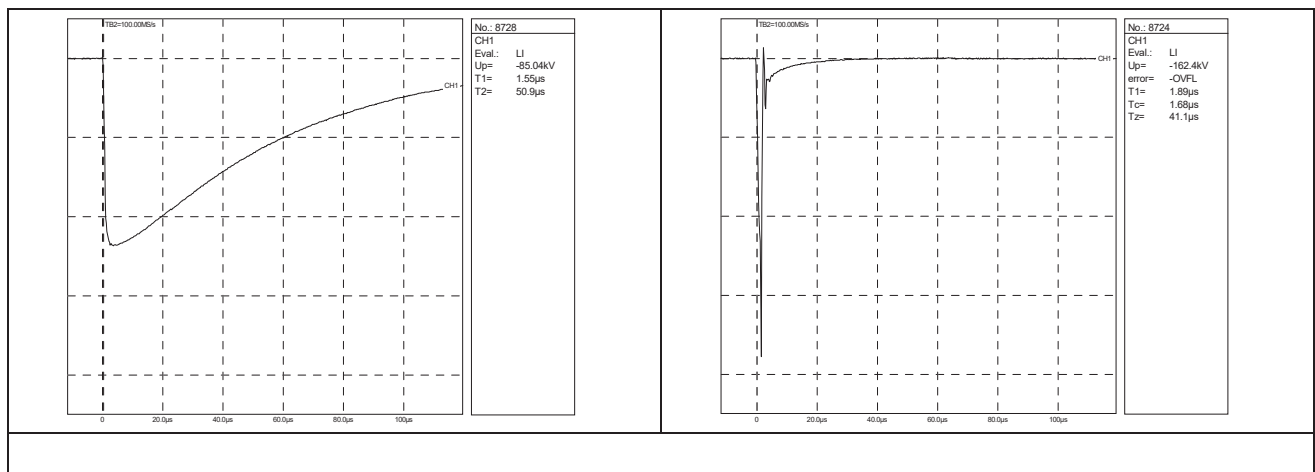


Fig.2. Incercarea cu impuls de inalta tensiune 1.2/50 μ s a vasului tehnologic pentru determinarea tensiunii de strapungere/conturnare.

Tensiunea crescatoare 1.2/50 μ s se aplica intre cei doi electrozi ai vasului tehnologic determinandu-se tensiunea de strapungere a intervalului de aer dintre cei doi electrozi. In Fig. 3 se prezinta oscilogramele caracteristice incercarilor cu impuls standardizat 1.2/50 μ s. A rezultat o tensiune maxim admisibila de cca. **85 kV** pentru un avans al electrodului superior de 40 mm fata de tija izolanta din interior.



In cadrul etapei finale a proiectului dupa reglaje si montajul final, vasul tehnologic poate fi retestat, de data aceasta urmarindu-se ca tensiunea de conturnare respectiv de strapungere a

intervalului de aer, relativ la alte repere metalice, sa nu fie mai mica decat valorile determinate in cadrul acestei etape.

In ceea ce priveste caracterizarea electrica a eclatoarelor trigerabile, acestea au fost incercate (1.ex) la tensiuni crescatoare, cu ajutorul generatorului de impuls de curent din cadrul Laboratorului de incercari la inalta tensiune *OICPE* si de asemenea cu ajutorul generatorului de tip Marx, prezentat anterior (Fig. 4).

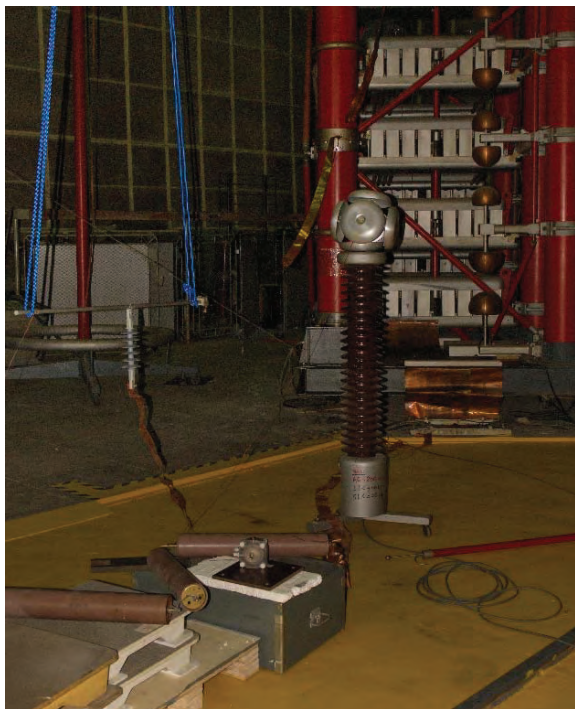
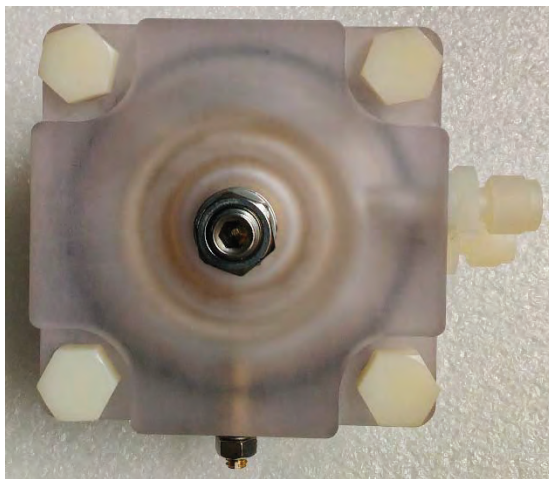


Fig.4. Incercarea eclatoarelor trigerabile cu ajutorul generatorului de impuls de curent, respectiv cu generatorul Marx.

Rezultatele incercarilor la impuls de inalta tensiune cu generatorul de impuls de curent sunt prezentate in Fig. 5, pentru tensiuni relativ mici pana la **20.3 kV**, iar pentru tensiuni crescatoare mai mari, pana la tensiunea de strapungere (**cca 38.3 kV**), oscilogramele sunt prezentate in Fig.6.

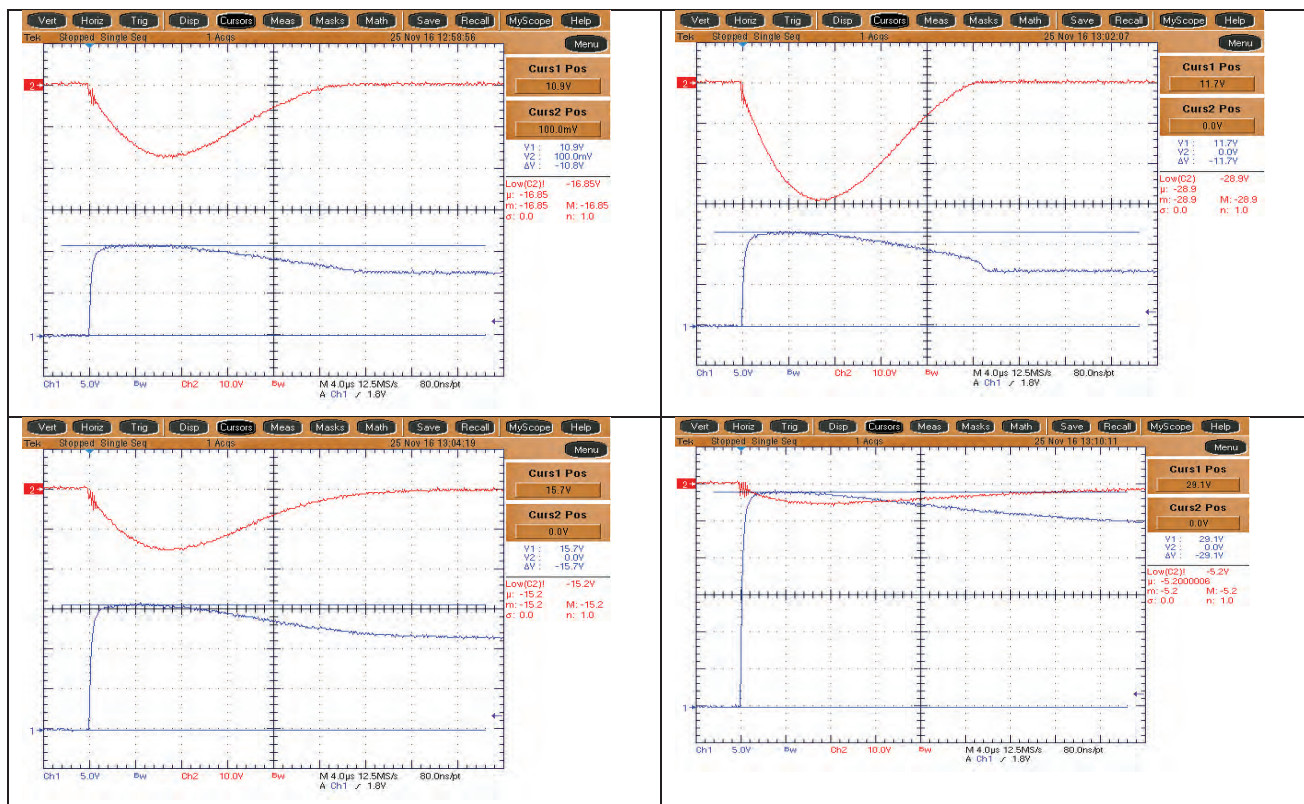


Fig.5 Incercarea eclatorului cu generatorul de impuls de curent (pana la cca 20 kV).

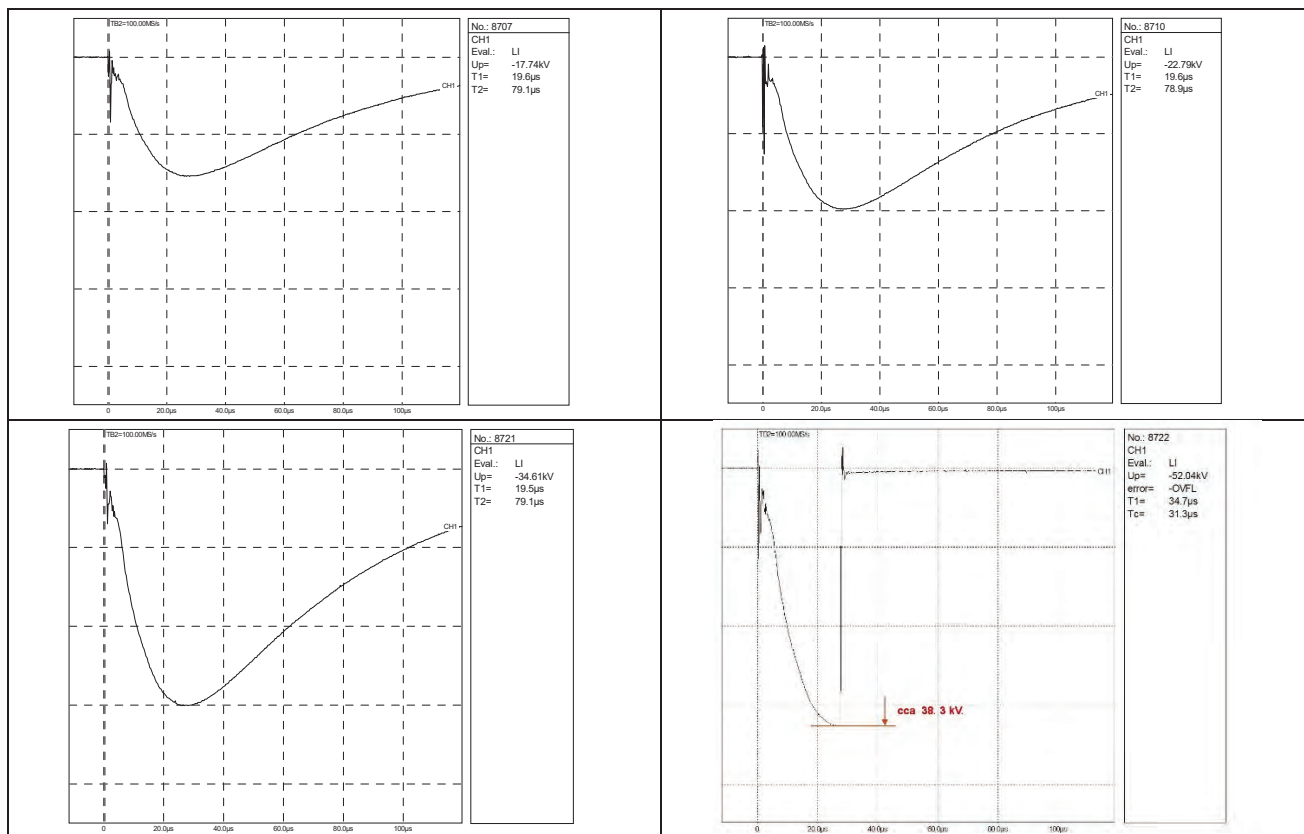


Fig.6. Incercarea eclatorului cu generatorul de impuls Marx (pana la cca 40kV).

Rezultatele experimentale ale acestei etape vor fi folosite in ultima etapa a proiectului in cadrul activitatilor de testare, reglare si validare a instalatiei de fragmentare / dezasamblare selectiva.

ACTIVITATEA 3.5.

Executie parte electrica

In actuala faza a proiectului, in urma dezvoltarilor teoretice si experimentelor anterioare, s-a fundamentat solutia construirii unui generator Marx, cu patru etaje, care sa se incarca la o tensiune de **50-75 kV** si sa genereze impulsuri repetitive, cu o frecventa de **3-10 Hz**, la o tensiune maxima, in impuls, de **200-300 kV**. Executia partii electrice consta in construirea generatorului Marx, avand drept componente principale condensatorii de stocare a energiei, rezistentele (de incarcare, de front si de spate) si eclatoare, in conformitate cu elementele de calcul prezentate in continuare.

Executie parte electrica (ME)

In figura 6 se prezinta schema electrica de principiu a generatorului de impulsuri repetabile de inalta tensiune, de tip Marx, cu 4 etaje.

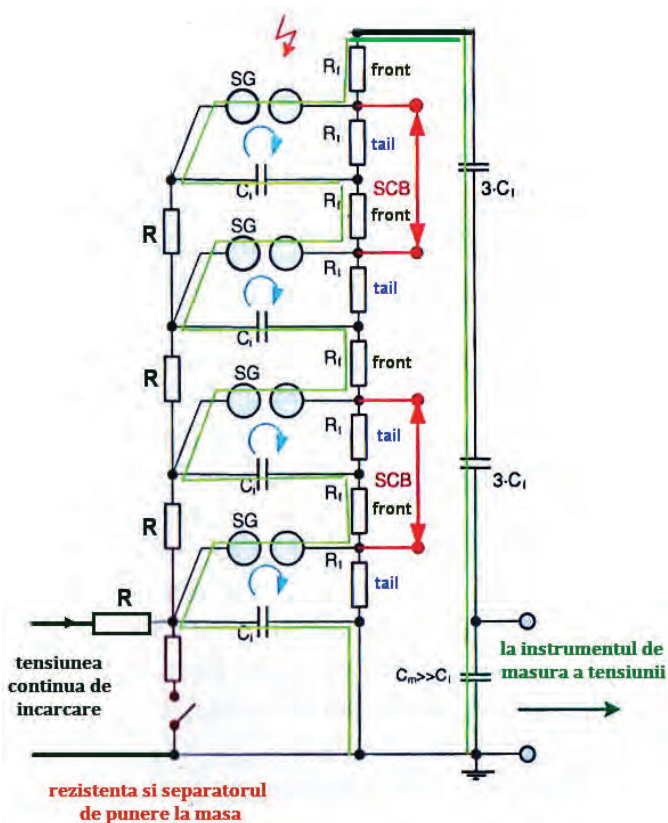


Fig. 6. Schema electrica de principiu a generatorului de impulsuri repetabile de inalta tensiune, de tip Marx, cu 4 etaje:

- R = rezistente de incarcare
- R_f = rezistente de front
- R_t = rezistente de spate (tail)
- C_i = condensatoare de stocare a energiei
- SG = eclatoare triggerabile

Asa cum am aratat in etapele anterioare ale proiectului, este important sa calculam timpii caracteristici generatorului de impuls (Marx), cu schema echivalenta din fig. 7:

- timpul de incarcare al condensatorilor $\rightarrow$ determina implicit frecventa de repetitie a impulsurilor (Fig. 8.);

- timpul de descarcare → determina parametrul cel mai important al generatorului tinand seama de aplicatia respectiva si anume timpul de crestere al impulsului de inalta tensiune care trebuie sa fie mai mic decat 300 ns (Fig. 8.);
- timpul de coada/de spate (tail) care in principiu ar determina si el frecventa de repetitie a impulsurilor; tinand seama insa de faptul ca in sarcina condensatorii se descarca foarte repede datorita curentilor intensi (kA) acest calcul nu mai este necesar.

Astfel, pentru calculul timpului de incarcare se pleaca de la ecuatia:

$$u_c = u_s \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right); \quad \frac{u_s - u_c}{u_s} = e^{-\frac{t}{RC}} \quad (10)$$

unde u_c este tensiunea pe condensator iar u_s este tensiunea sursei de c.c.. Rezulta:

$$\ln \left(\frac{u_s - u_c}{u_s} \right) = -\frac{t}{RC} \quad (11)$$

Valoarea logaritmului din membrul stang al ecuatiei este de 2.3 pentru o incarcare a condensatorului de 90% relativ la tensiunea sursei c.c. de inalta tensiune (*charging voltage*), respectiv 4.6 pentru un procentaj de 99%. Se poate scrie deci:

$$(2 \div 4)RC = t \quad (12)$$

Considerand o valoare de 20 kΩ pentru rezistentele de incarcare (valoare uzuala), se obtine, pentru un nivel de incarcare de peste 90%:

$$4 \cdot 20 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF} = 4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 8000 \mu\text{s} = 8 \text{ ms}$$

Tinand seama de relatia (4), caracteristica generatorului de tip Marx, se poate aproxima un timp maxim de incarcare de $8 \text{ ms} \cdot 16 = 128 \text{ ms}$, ceea ce indeplineste conditiile cerute. In cazul in care se doreste o frecventa mai mare de repetitie a impulsurilor se poate micsora valoarea rezistentelor de incarcare, spre exemplu 10 kΩ.

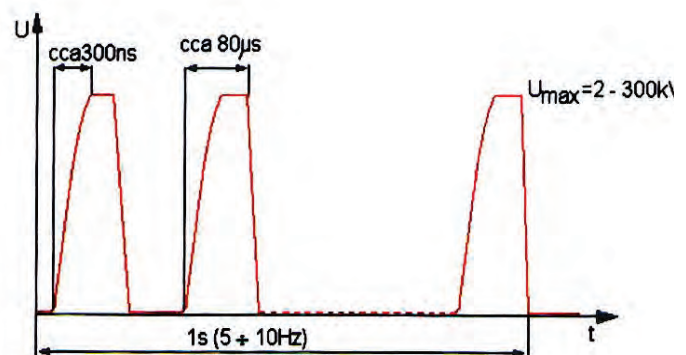
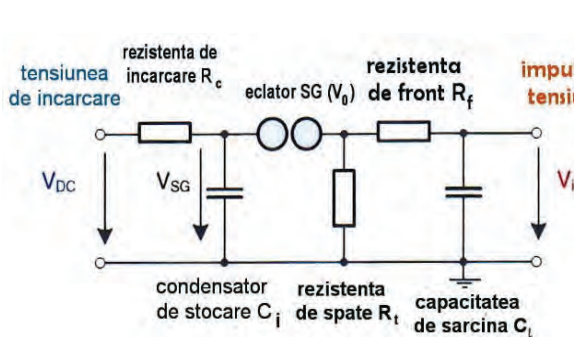


Fig.7. Schema electrica echivalenta a generatorului de impuls de tip Marx. [5]

Fig.8. Forma estimata a impulsurilor repetabile de inalta tensiune, cu front rapid.

Pentru calculul timpului de descarcare, ecuatiile sunt izomorfe; se poate scrie, pentru cazul rezistentelor de front de 1 Ω:

$$t = 2 RC = 2 \cdot 1 \cdot 100 \text{ nF} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ s} \approx 200 \text{ ns}.$$

Se stie ca parametrii echivalenti ai generatorului de tip Marx (incarcare in paralel si descarcare in serie), pentru circuitul echivalent se calculeaza cu relatiile [5]:

$$\begin{aligned} R_f^* &= n R_f \\ R_t^* &= n R_t \\ C_i^* &= C_i/n \end{aligned} \quad (13)$$

Factorii respectivi (n si $1/n$) se simplifica reciproc si timpul de descarcare ramane aproximativ 200 ns, ceea ce este satisfactor pentru conditiile impuse initial. Bineinteles, trebuie sa tinem seama si de inductivitatile circuitului care limiteaza viteza de crestere a curentului, asa cum s-a aratat in breviarul de calcul prezentat in dosarul etapei I a proiectului (pag. 33).

Generatorul de impuls de inalta tensiune consta, asa cum am aratat, dintr-un circuit multiplicator de tip Marx cu 4 etaje; componentele electrice/electronice necesare pentru realizarea acestui generator de impuls sunt urmatoarele:

- **Condensatori de impuls** (de stocare a energiei), $C = 0.1 \mu F$ – 4 buc. Pentru generator au fost alesi condensatori de impuls cu carcasa de plastic, produsi de *HVP High Voltage Products GmbH* (seria *WPC*), cu tensiune nominala de 60 kV si o inductanta mai mica de 20 nH (Fig. 11).
- **Rezistori de incarcare**, $R_c = 10 - 20 k \Omega$ – 4 buc.
- **Rezistori de front**, $R_f = 1 \Omega$ – 4 buc. In acest caz se folosesc rezistorii tubulari ceramici neinductivi din seria 800 de la *HVP High Voltage Products GmbH* cu o putere medie de 1000 W la 40°C (Fig. 12).
- **Rezistori de coada** (tail), $R_t = 1 \Omega$ – 4 buc.; acestia sunt identici cu rezistorii de front mentionati mai sus.
- **Eclatoare de inalta tensiune triggerabile** – 4 buc. La acest generator se folosesc eclatoare din seria *T-670* fabricati de *Hofstra Group* (USA) care functioneaza la un curent maxim de 100 kA si tensiuni cuprinse intre 18 si 100 kV si au o inductivitate de ~60 nH (Fig. 13).

		
Fig. 11. Condensator de impuls WPC	Fig. 12. Rezistor tubular ceramic neinductiv 892SP	Fig. 13. Eclator de inalta tensiune triggerat T-670

Componentele au fost montate pe o platforma mobila constituita din:

- un cadru metalic din profil cornier de 50 mm;
- o placa de textolit (1300 mm x 1000 mm x 10 mm);
- patru roti pivotante.

Fig. 14 prezinta vederea tridimensionala a generatorului Marx, iar Fig. 15 prezinta dispunerea componentelor pe platforma, unde:

- R1, R2, R3, R4 sunt rezistorii de incarcare;
- C1, C2, C3, C4 sunt condensatorii de impuls;
- Rf1, Rf2, Rf3, Rf4 sunt rezistorii de front;
- Rt1, Rt2, Rt3, Rt4 sunt rezistorii de coada (*tail*);
- SG1, SG2, SG3, SG4 sunt eclatoarele de inalta tensiune.

Componentele sunt conectate intre ele cu conductori de tip platbanda, de cupru, cu grosime de 3 mm si latime de 20 mm. Rezistorii si eclatoarele sunt fixate pe platforma prin intermediul unor suporturi din material izolant (poliamida, textolit).

Pe aceeași platforma va mai fi montat și vasul tehnologic pentru fragmentarea/dezasamblarea selectivă (v. capitolele adiacente), precum și circuitul pneumatic (aer sau SF₆) care va putea asigura trigerarea pneumatică a generatorului, împreună cu cea electrică; acest dispozitiv face obiectul fazei finale a proiectului.

Testarea și reglajele ME se vor face de asemenea în cadrul ultimei etape a proiectului, construcția fiind realizată astfel încât să permită modificarea relativă simplă a conexiunilor.

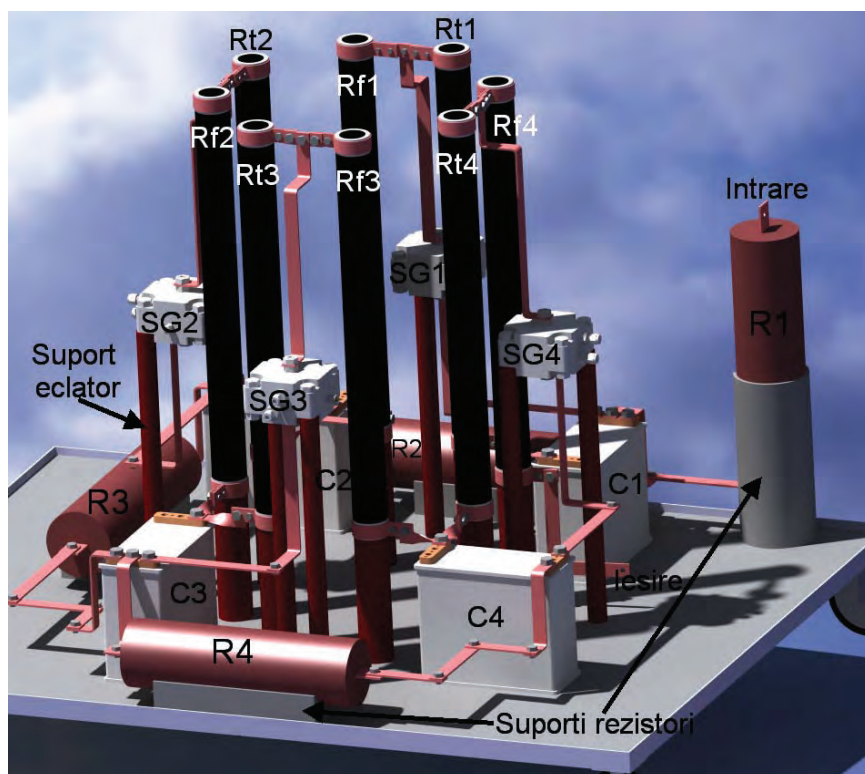


Fig. 14. Vederea 3D a generatorului de impulsuri repetabile, de înaltă tensiune, de tip Marx.

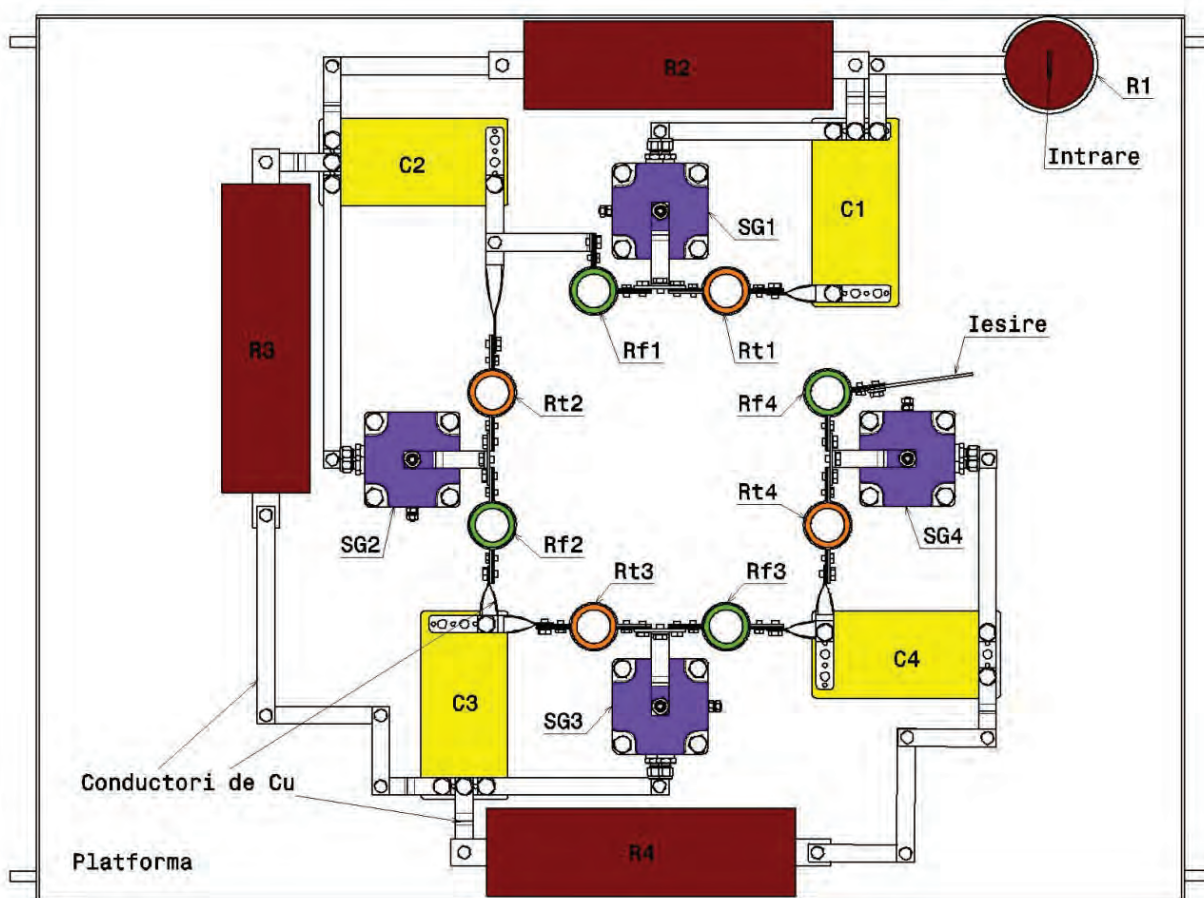


Fig. 15. Dispunerea componentelor pe platforma.

CONCLUZII

Generatorul de impulsuri repetabile de inalta tensiune cu timp de crestere extrem de mic (cca. 300 ns) constituie componenta principala a instalatiei de fragmentare selectiva. In urma investigarii mai multor variante constructive/principii de generare a impulsurilor, in etapele anterioare, s-a ales, din considerente tehnico-economice, varianta generatorului Marx cu 4 etaje.

Acesta a fost realizat pe o platforma mobila, cu dimensiuni de 1300 mm x 1000 mm, avand o structura metalica care permite optimizari ulterioare, precum si adaugarea unor eventuale componente suplimentare.

Componentele principale ale generatorului Marx (condensatoarele de stocare a energiei, rezistentele neinductive si eclatoarele trigerabile) au fost achizitionate de la firme straine (Germania, SUA) fiind, in general, dispozitive care se folosesc in aplicatii speciale.

De asemenea, in aceasta etapa a fost proiectat si realizat vasul tehnologic de procesare (cuva) si a fost testat la impuls de inalta tensiune ($1.2/50 \mu s$), la fel ca si eclatoarele trigerabile care se afla in compunerea generatorului Marx.

In ultima etapa de dezvoltare a proiectului se va proiecta si realiza circuitul pneumatic aferent eclatoarelor trigerabile, circuit care va asigura cea de-a doua cale de trigerare, pe langa cea electrica.

De asemenea, in ultima faza a proiectului sunt prevazute urmatoarele activitati:

- elaborarea planului de testare – evaluare a modelului experimental (ME);
- testarea modelului experimental;
- demonstrarea functionalitatii modelului experimental;
- elaborarea manualului de prezentare si utilizare (carte tehnica);
- activitati de diseminare.

Principala caracteristica a generatorului de impulsuri de inalta tensiune de tip Marx este versatilitatea / adaptabilitatea acestuia, fiind o instalatie dedicata in principal cercetarii stiintifice si implementarii unei tehnologii noi – fragmentarea selectiva – s-a urmarit crearea infrastructurii necesare unor dezvoltari ulterioare.

PARTENERIATE IN DOMENII PRIORITARE

Raport Stiintific si tehnic (RST)

Denumire proiect

„Instalatie si tehnologie pentru reciclarea deseurilor prin dezasamblarea selectiva cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune”

ACRONIM ITESEDEZ

Contract nr 84/2014

Nr PN-II-PT-PCCA-2013-4-1100

Etapă de executie 4/2017

"Demonstrarea functionalitatii si utilitatii modelului experimental si a tehnologiei pentru dezasamblarea selectiva a deseurilor cu ajutorul impulsurilor electrice de inalta tensiune. Protejarea drepturilor de proprietate pentru cercetare industriala. Diseminarea finala a rezultatelor"

X RST in extenso

X Proces verbal de avizare interna

Director de Proiect

Dr. Ing. Mihai Badic

Activitatea 4.1. Elaborare proiect (II) parte mecanică pentru model experimental (M.E). Elaborarea documentației de asamblare parte mecanică (II) și parte electrică (M.E). Plan de testare – evaluare a modelului experimental (M.E)

Pentru elaborarea proiectului (II) al părții mecanice pentru modelul experimental s-au analizat mai multe variante constructive și s-a formulat tema: „Proiectarea unității de comprimare și condiționare a aerului pentru presurizarea controlată, răcirea și regenerarea dielectricului din comutatoarele cu arc ale generatorului de pulsuri de înaltă tensiune Marx, care alimentează instalația de fragmentare selectivă – model experimental”.

Pentru realizarea memoriului tehnic al proiectului s-a creat o bază de date și s-a construit un suport de calcul. Suportul de calcul a vizat elucidarea unor procese termodinamice care se produc în dielectric în timpul funcționării comutatoarelor.

Totodată, a fost elaborată o metodologie de evaluare a parametrilor funcționali de dimensionare a agregatelor incluse în proiectul tehnic.

Ca metodă principală de investigare a proceselor termodinamice din comutatoarele cu arc s-a ales metoda simulărilor numerice cu elemente finite care conferă un înalt grad de precizie dacă modelele pe care se aplică sunt corecte. În această privință, la construirea suportului de calcul, au fost introduse și unele aspecte critice. Stabilirea condițiilor de funcționare a eclatoarelor nu se poate face fără analiza regimului termic al acestora, a consecințelor și a contramăsurilor, dictate în mod evident de parametrii arcului electric, așa cum se arată în continuare (Fig.1).

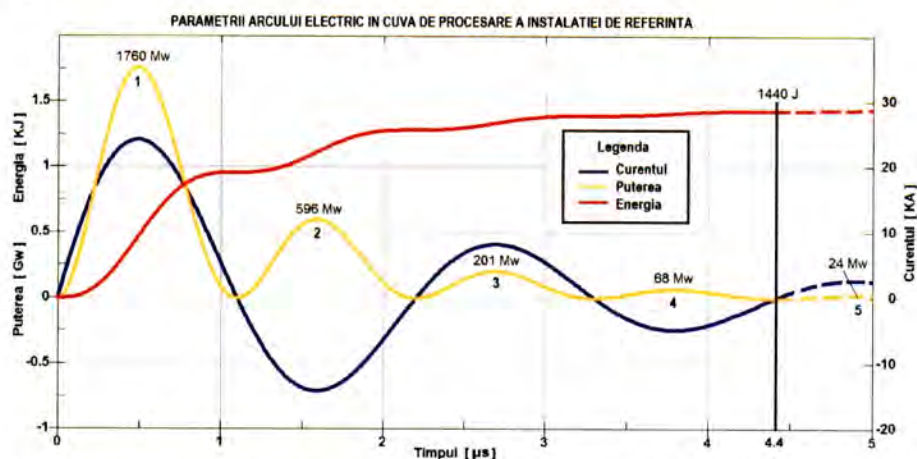


Fig.1 Parametrii arcului electric în cuva de procesare a instalației de referință

Același curent electric care parcurge cuva de procesare parcurge și eclatoarele, a căror rezistență internă individuală a fost evaluată la $0,071\Omega$.

Aportul termic în timpul funcționării unui comutator cu arc, se calculează cu procedeul aplicat cuvei de procesare, particularizând rezistența internă la valoarea de $0,071\Omega$.

În Fig.2 sunt date rezultatele acestor calcule din care se reține energia totală disipată cu valoarea de 34 J pentru fiecare eclator, procentual în comutatoarele cu arc se pierde aproximativ 17% din energia disponibilă.

Analiza și interpretarea cantitativă a modelului de referință expus în [Instalație de fragmentare cu generator de pulsuri de energie Marx] a evidențiat o serie de date cu caracter experimental necesare în procesul de cercetare științifică și proiectare a instalației de fragmentare selectivă. Totodată, s-a stabilit și testat o metodologie pentru bilanțul energetic în instalația de fragmentare selectivă.

În concluzie, analiza efectuată în acest capitol a clarificat un aspect energetic foarte important privind funcționarea instalațiilor de fragmentare selectivă, dotate cu generatoare de pulsuri de înalta tensiune Marx.

Astfel, pentru eficientizare, pe linia de descărcare pe care se formează arcul electric principal în cuva de procesare și arcurile secundare în comutatoarele fără contact, rezistența și inductanța circuitului sunt minimizate. Condiția este satisfăcută cu arhitectura judicioasă a întregului ansamblu, care prevede circuite de lungime minimă și dispuse în așa fel încât inductanța electro-magnetica sa fie redusă.

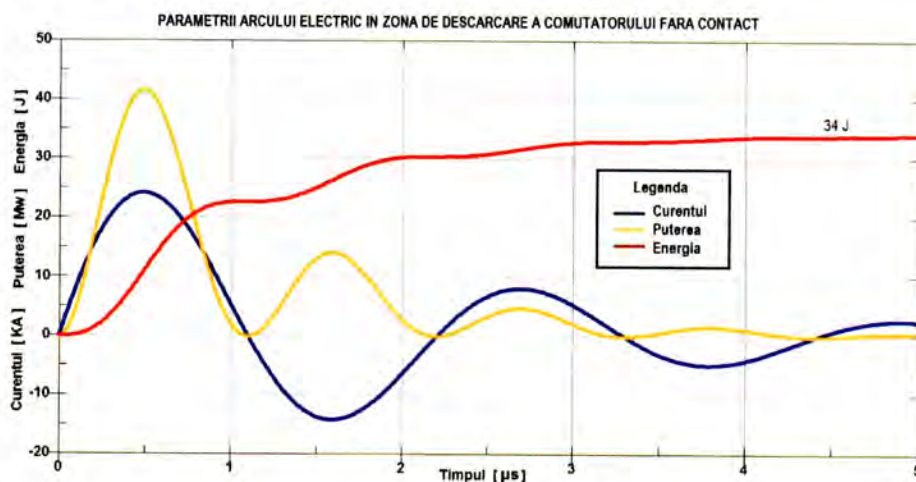


Fig.2 Parametrii arcului electric în zona de descărcare a comutatorului fără contact

Evacuarea căldurii produsă în comutatorul cu arc, cum este și cel utilizat în instalația concepută și realizată, T-670, rămâne o problema importantă ce a fost soluționată în cadrul acestei lucrări.

Model pentru analiza comutatoarelor fără contact cu arc electric

Comutatoarele fără contact (eclatoarele) sunt dispozitive complexe utilizate în tehnica tensiunilor înalte.

Funcțional, comutatoarele fără contact au două stări: 0 - nu conduce, 1 – conduce. Starea de conducție se realizează prin arc electric, motiv pentru care se mai numesc și comutatoare cu arc.

Pentru alimentarea cu pulsuri de înaltă tensiune a instalației de fragmentare selectivă este prevăzut un generator Marx în care sunt încorporate comutatoare fără contact T-670, cu următoarele caracteristici:

- curentul maxim (de vârf)100kA;
- gama de tensiune 18 ± 100 kV;
- durata de amorsare< 1ns;
- frecvența maximă10Hz;
- tensiunea de amorsare..... > 50 %;
- sarcina electrică maximă0,15As;
- durabilitatea 10000 cicluri;
- dielectricul aer uscat (mai rar SF₆).

Performanțele comutatorului fără contact sunt date de forma și dimensiunile electrozilor, de distanța dintre ei și de natura și starea dielectricului.

În Fig.3 este reprezentată, așa cum a fost preluat din documentația de produs, comutatorul T-670 și o caracteristică foarte importantă a acestuia – tensiunea de autostrăpungere în funcție de

presiunea manometrică pentru cei doi dielectrici - aerul uscat (sintetic) și hexafluorura de sulf, pentru două distanțe între electrozi - 0,75 cm și 1 cm.

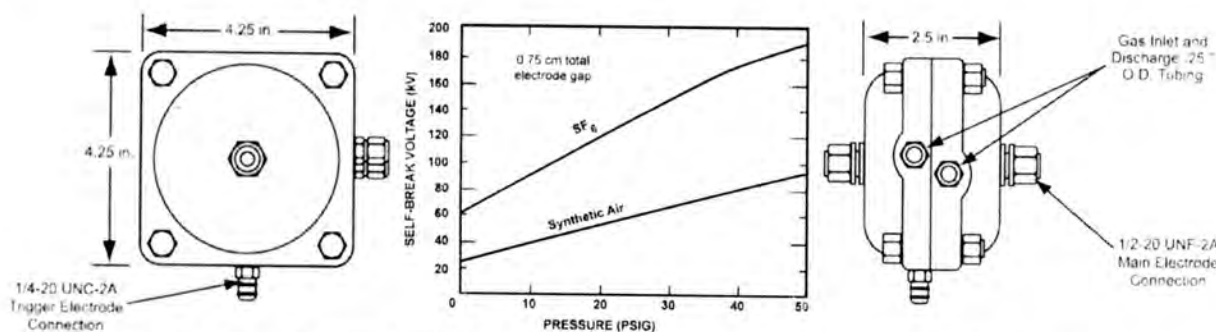


Fig.3 Comutatorul T-760. Tensiunea de autostrăpungere în funcție de presiunea manometrică

În documentația de produs se recomandă, pentru siguranță, ca tensiunea de operare să fie aproximativ 75% din tensiunea de autostrăpungere. Amorsarea arcului se face aplicând o tensiune pe electrodul median, mai mare de 50% din tensiunea de străpungere, dar pentru funcționarea sigură se recomandă 100% din tensiunea de operare.

Datorită importanței caracteristicii de dependență a tensiunii de autostrăpungere de presiune, aceasta a fost preluată și prelucrată în unități de măsură SI.

Reprezentarea caracteristicii funcționale primare este transpusă în Fig.4 pentru comutatorul T-670 cu aer și distanța dintre electrozi 0,75cm, utilizat în aplicație, în gama presiunilor manometrice 0...4bari.

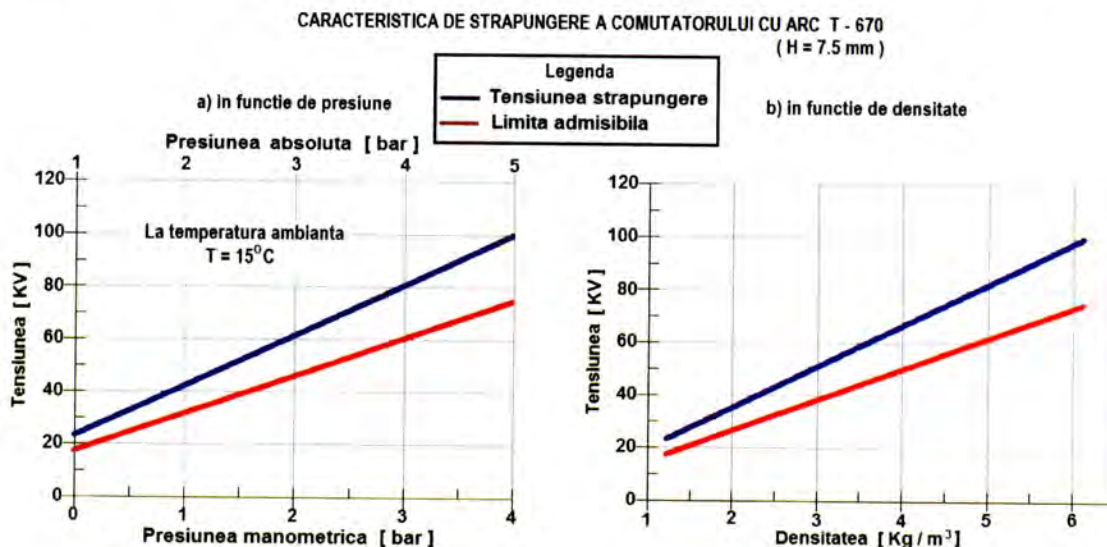


Fig.4 Caracteristica de străpungere a comutatorului cu arc T-670 (H = 7,5 mm)

Caracteristica funcțională a comutatorului cu arc (eclator) constituie punctul de plecare pentru stabilirea corectă a parametrilor regimului de funcționare.

Pentru o înțelegere aprofundată a modului în care starea dielectricului influențează tensiunea de autostrăpungere este necesară o analiză mai detaliată a fenomenului.

S-au simulat în paralel cele două modele în aceleași condiții:

- presiunea inițială absolută = 5 bari;
- debitul la intrare = 10 l/min (sau 167cm³/s sau 1,021g/s).

Ca funcție de comparare s-a ales mărimea vitezei într-un plan axial, normal pe direcția orificiilor de intrare – ieșire.

În Fig.5 se prezintă comparativ cele două soluții simulate.

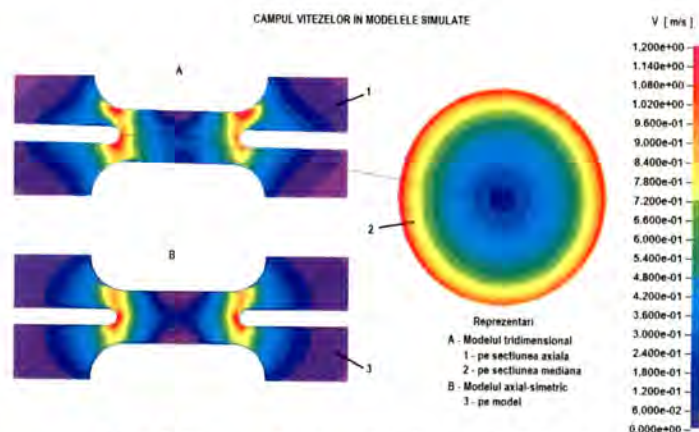


Fig.5 Câmpul vitezelor în modelele simulate

Analiza cantitativă a celor două câmpuri de viteză scoate în evidență o asemănare satisfăcătoare pe reprezentările din planul axial. Pe secțiunea mediană a modelului tridimensional simetria axială a distribuției vitezei este aproape perfectă.

Termodinamica dielectricului în comutatorul T-670 la descărcare

Modelul fizic adoptat permite o abordare globală a stării gazului după descărcare, pe baza ipotezei omogenității termice după $10\mu s$ de la declanșarea arcului electric.

Deoarece procesul dinamic este foarte scurt, circulația forțată a gazului nu s-a luat în calcul.

Simulările numerice s-au făcut pe modelul 2D, care în cazul acestei aplicații este foarte corect, în absența circulației forțate a gazului care strică într-o anumită măsură simetria axială.

Rezultatele simulărilor numerice evidențiază evoluția stării gazului dielectric după producerea arcului electric.

Sunt prezentate, în Fig. 6 și Fig. 7, patru stări (p, ρ, T), în succesiune, cu ajutorul cărora se justifică caracterul dinamic al procesului.

Prima stare corespunde momentului de la sfârșitul procesului de omogenizare termică, $t=10\mu s$. Efectele dinamice apar deja pe această stare. În zona de descărcare și în vecinătatea acesteia, din cauza destinderii gazului apar unele variații, mai importante în cazul presiunii și densității și mai mici la temperatură. Din analiza câmpurilor reprezentate pentru $t = 10\mu s$ se reține o constatare importantă privind evoluția parametrilor de stare la încălzirea produsă de arcul electric. Timpul de încălzire fiind foarte scurt, gazul rămâne cvasistagnant în zona de încălzire, fapt ce justifică distribuția densității în zona de descărcare cu valori apropiate de cele inițiale

($6,125\text{ km/m}^3$). Pe marginea domeniului, datorită începerii procesului de destindere, valorile densității sunt mai coborâte. Presiunea și temperatura au, în zona de descărcare, valori de aproximativ șase ori mai mari. Trebuie semnalat și faptul că în același moment, în regiunea marcată termic cu temperatura înaltă se găsesc și produsele transformărilor fizico-chimice produse de arcul de descărcare. Se poate considera că aceste produse, nedorite în zona de descărcare la următorul ciclu de funcționare sunt asociate cu temperatura. Cu alte cuvinte dacă se reușește, în perioada dintre două comutări, să se îndepărteze aerul cald dintre electrozi, împreună cu acestea se evacuează și produsele nedorite, în special ionii remanenți produși de starea de plasmă.

TERMODINAMICA DIELECTRICULUI INIȚIEREA UNDEI DE SOC LA ÎNCHIDERE

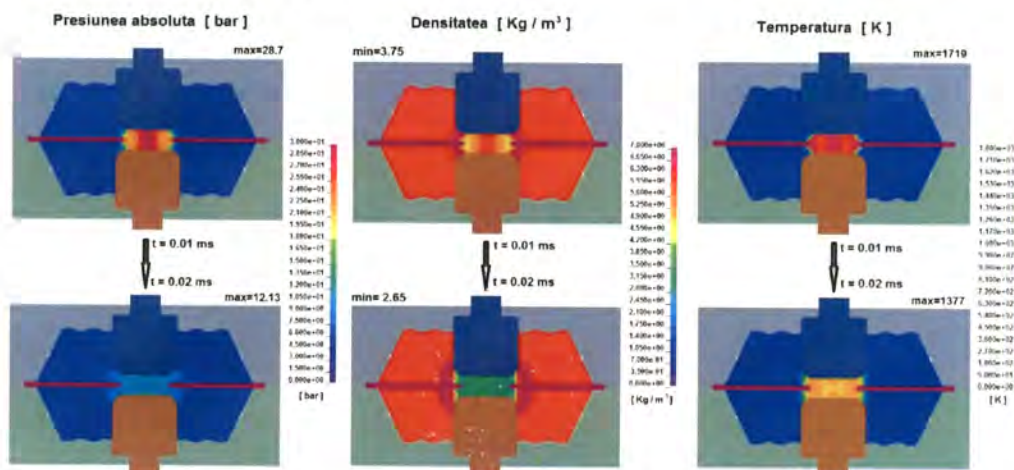


Fig. 6 Termodinamica dielectricului. Inițierea undei de șoc la închidere

TERMODINAMICA DIELECTRICULUI PROPAGAREA UNDEI DE SOC SI RELAXAREA

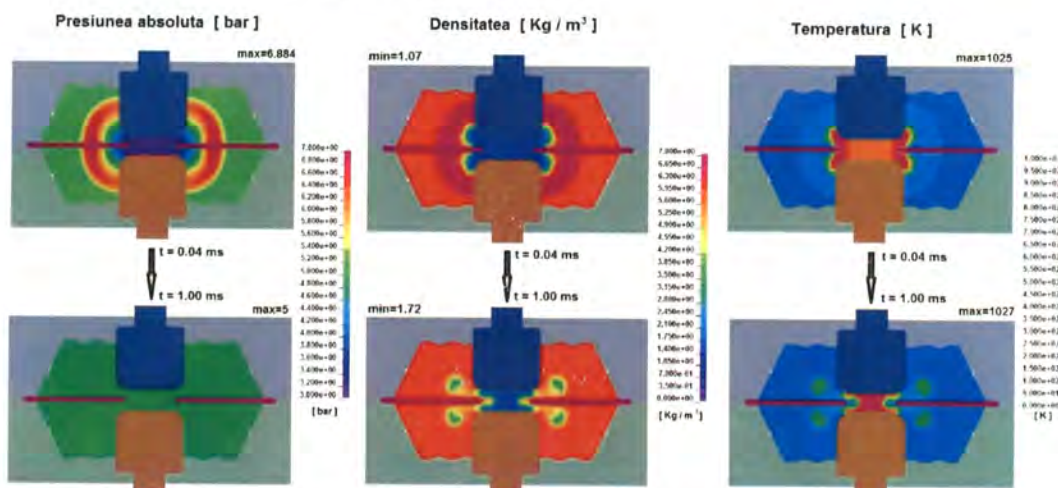


Fig. 7 Termodinamica dielectricului. Propagare undei de șoc și relaxarea

După $t = 10\mu s$ începe destinderea efectivă a gazului din zona de descărcare.

Starea următoare reprezentată pentru $t = 20\mu s$, este marcată de scăderea rapidă a presiunii și densității și mai redusă a temperaturii. Se poate observa unda de șoc în stare incipientă.

Următoarea reprezentare este pentru $t = 40\mu s$. Reprezentările celor trei parametri de stare pun în evidență existența undei de șoc. Se reține faptul că presiunea și densitatea au valori foarte scăzute. Temperatura rămâne însă la valori ridicate.

În continuare, procesul termodinamic este caracterizat de deplasarea, cu reflectări repetate de pereții comutatorului, a undei de șoc, care pune în mișcare și restul gazului din incintă. Când unda de șoc ajunge la cele două orificii de intrare și de ieșire, aceasta se poate propaga în lungul furtunurilor de alimentare și evacuare fără a produce efecte periculoase având în vedere faptul că suprapresiunea în front, în momentul reflectării e foarte mică de ordinul 2...3 bari.

În timp, starea gazului începe să se omogenizeze. Cel mai rapid se omogenizează presiunea, care este o mărime controlată din exterior, la valoarea absolută de 5 bari.

Se constată că după 1 ms procesul termodinamic devine izobaric, între densitate și temperatură existând o relație invers proporțională. În zona de interes, temperatura maximă rămâne foarte înaltă, pe când densitatea rămâne foarte mică.

Pe reprezentările densității și temperaturii pentru starea de la $t = 1 \text{ ms}$ se poate constata și regiunea până la care s-a dilatat gazul aflat inițial în zona de descărcare. Absența circulației forțate face ca această regiune să fie simetrică față de planul median al comutatorului.

Mai departe, după 1 ms , procesul devine mai lent, cu stagnarea gazului pe axa de simetrie. Menținerea în timp a acestei stări ar avea efecte grave asupra funcționării comutatorului prin reducerea tensiunii de autostrăpungere și a declanșării necontrolate. Din acest motiv, comutatoarele cu arc sunt supuse unei circulații forțate de gaz. Aerul în mișcare dislocă aerul cald și deteriorat din zona de descărcare și îl înlocuiește cu altul condiționat la temperatura mediului ambiant.

Pentru instalațiile cu funcționare repetată debitul gazului circulant depinde de frecvența ciclurilor de comutare.

Necesitatea introducerii în lucrare a analizei termodinamice a dielectricului apare acum justificată prin importanța constatărilor funcționale pe care le-a produs.

Stabilirea condițiilor pentru circulația gazului urmează să se facă pe baza analizei parametrilor determinanți ai gazului – densitate și temperatura – în condiții izobare (5 bari), pe durata dintre două funcționări succesive.

Unitatea de comprimare și condiționare a aerului circulat prin comutatoarele cu arc ale generatorului Marx a fost concepută și proiectată la SC UPS PILOT ARM SRL pe baza evaluărilor făcute cu ajutorul simulărilor numerice în paragrafele precedente.

În concluzie, unitatea de comprimare și condiționare a aerului are ca destinație producerea aerului comprimat la presiunea maximă de 4 bar și cu caracteristicile aerului sintetic, așa cum se recomandă în documentația comutatorului cu arc T-670. În Fig. 8 este prezentată unitatea de comprimare și condiționare a aerului, compusă din următoarele agregate:

- compresorul Airboy Silence 50 PRO;
- uscător prin adsorbție BOGE.

UNITATE DE COMPRIMARE ȘI CONDIȚIONARE A AERULUI

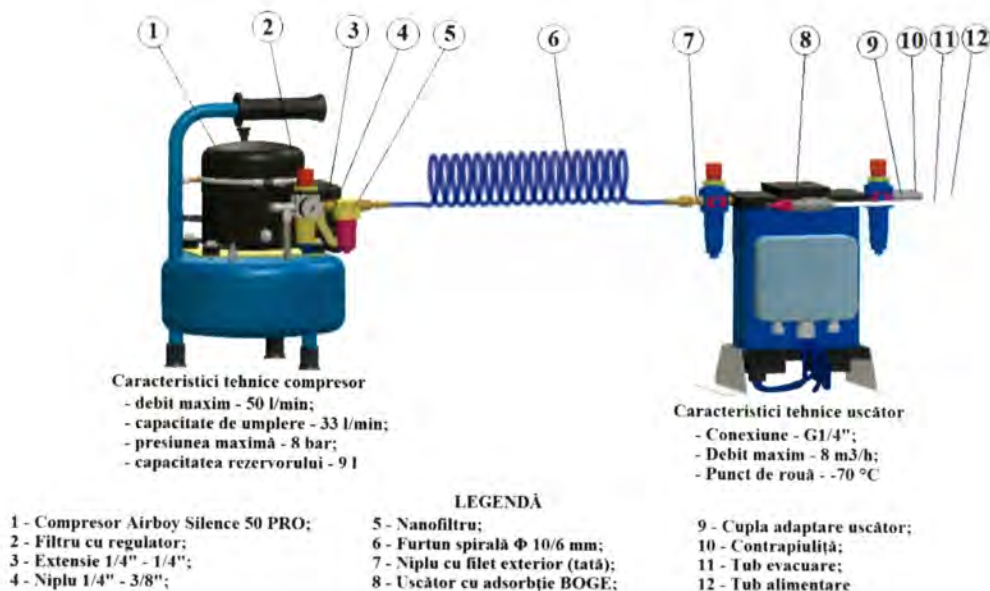


Fig. 8 Unitate de comprimare și condiționare a aerului

Conform Fig. 8 unitatea este prevăzută cu regulator cu manometru, filtre cu grade de finețe diferite și elemente de racordare. Din unitate iese tubul de alimentare și se întoarce tubul de evacuare cu ventil de reglare.

Debitul maxim al compresorului este de 50 l/min, dar în regim de funcționare continuă se poate conta numai pe 33 l/min, la presiunea de 8 bar. Cu compresorul reglat la presiunea maximă

de 4 bar debitul maxim ajunge la $\left(\frac{8+1}{4+1} \cdot 33\right)$ aproximativ 60 l/min, valoarea impusă în tema de proiectare.

Agregatul de uscare încadrat de două filtre condiționează aerul cu punctul de rouă de -70°C. Din uscător, aerul presurizat și condiționat este trimis la generatorul Marx (Fig. 9), dispus pe platforma instalației de fragmentare selectivă, unde este receptat în blocul de distribuție și colectare. Din camera de distribuție debitul de aer se împarte, aproximativ în părți egale și se trimite prin tuburile de alimentare la comutatoarele cu arc T-670. După spălarea incintelor comutatoarelor aerul este trimis prin tuburile de evacuare în camera de colectare a blocului distribuitor-colector. De aici, aerul colectat este adus prin tubul de evacuare la ventilul de reglare din unitatea de comprimare și condiționare. Pentru asigurarea condițiilor impuse, compresorul funcționează neîntrerupt, la presiunea reglată de ventilul de reglare de max 4 bar.

UNITATE DE DISTRIBUIRE ȘI COLECTARE A AERULUI COMPRIMAT

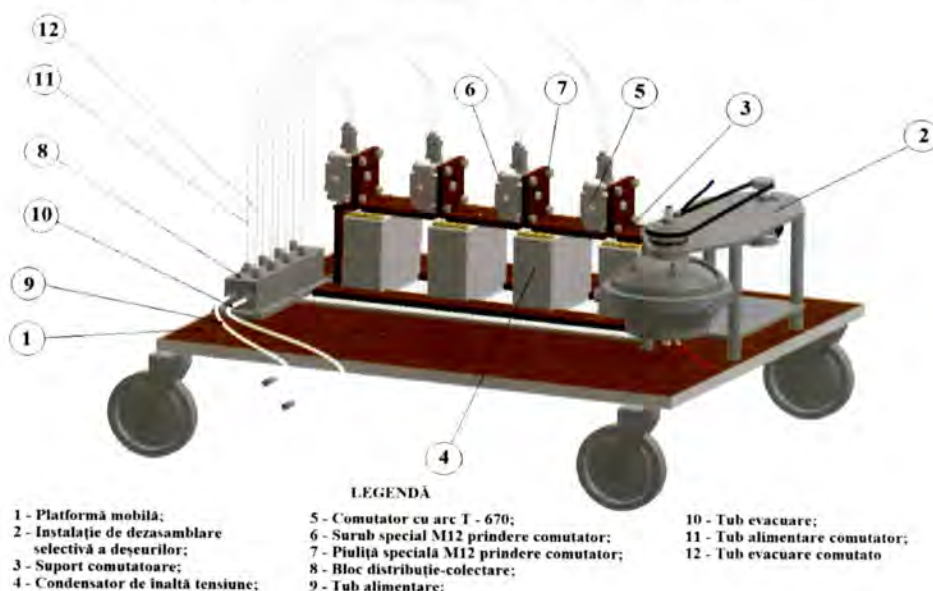


Fig. 9 Unitate de distribuție și colectare a aerului comprimat

Când se lucrează la presiuni inferioare debitul volumic depășește valoarea de calcul. În schimb debitul masic se păstrează aproximativ constată, indiferent de presiunea de lucru, depinzând numai de cilindrul compresorului și de turație. Deoarece starea termică se referă la masă nu la volum, debitul volumic crescut nu are influențe funcționale sensibile asupra funcționării comutatorului.

Pentru proiectarea corectă a sistemului de presurizare și circulare a aerului în comutatoarele cu arc a fost necesară dezvoltarea unui sistem de calcul care să pună la dispoziție modele structurale și parametri funcționali de bază.

Documentarea s-a făcut într-o bază de date limitată și incompletă privind funcționarea comutatoarelor cu arc electric.

Materialul de bază, în privința documentării a fost instalația de fragmentare selectivă cu generator Marx, expusă în lucrarea [Instalație de fragmentare cu generator de pulsuri de energie Marx]. În această lucrare se dau datele experimentale măsurate pentru mai multe regimuri de funcționare. O parte din aceste date, împreună cu datele obținute de cercetarea desfășurată de autori în acest domeniu, s-au constituit în baza de date pe care s-a construit suportul de calcul.

Pentru simplificarea abordării, în cele mai multe aplicații s-a folosit pentru comutator un model axial simetric care a fost verificat cu un model complet tridimensional, precis din punct de vedere tehnic. S-a constatat că modelul axial simetric dă soluții foarte bune la debite foarte mici 5 l/min, bune la debite medii de 10 l/min și mai puțin bune la debite de 15 l/min și mai mari. Chiar dacă la debite mai mari modelul axial simetric se îndepărtează de situația reală el s-a păstrat fiindcă are valoare acoperitoare.

Cu toate străduințele autorilor de a realiza o similitudine cât mai bună între modelul nostru experimental și produsul de referință, rămân unele incertitudini privind unii parametri funcționali adoptați. În afara de aceasta, rămân în discuție și particularitățile constructive ale modelului experimental construit. În acest sens, trebuie accentuată necesitatea ca linia (circuitul de descărcare) să fie cât mai scurtă, cu rezistență și inductanță minimă. Orice rezistență adițională în linia de descărcare reduce randamentul și alterează funcționarea.

Planul de testare

Acest Plan de Testare a fost creat pentru a prezenta membrilor echipei proiectului abordarea privind testarea modelului experimental de instalație pentru reciclarea deșeurilor prin impulsuri electrice de înaltă tensiune. Documentul va descrie strategia de testare pentru verificarea conformității cu datele de proiectare (cerințele și condițiile constructive) menționate Cererea de finanțare și pentru a asigura faptul că toate cerințele privind testarea instalației pentru reciclarea deșeurilor prin impulsuri electrice de înaltă tensiune sunt evaluate și planificate în mod adecvat în cadrul Planului de realizare a proiectului. De asemenea, acest Plan de Testare va demonstra partilor interesate că toate procedurile de testare care trebuie întreprinse vor fi conduse și controlate în mod corespunzător.

Principalul scop al acestui Plan de Testare este de a stabili un program de testare a componentelor principale ale instalației pentru reciclarea deșeurilor prin impulsuri electrice de înaltă tensiune dar și a funcționalității acestei instalații ca produs final.

Acest document va furniza membrilor echipei de implementare a proiectului informații privind:

- testele care trebuie efectuate pentru a verifica funcționarea corectă și la parametrii specificați a componentelor principale și a instalației pentru reciclarea deșeurilor prin impulsuri electrice de înaltă tensiune;
- condițiile care trebuie îndeplinite de componente și instalație (limitele de acceptare);
- metodele de testare;
- echipamentele necesare testării;
- condițiile de testare.

În urma aplicării Planului de Testare vor fi generate următoarele:

- rezultatele testelor;
- recomandări privind îmbunătățirea funcționării instalației, reducerea riscurilor etc.

În dosarul de fază se prezintă planul de testare detaliat.

Activitatea 4.2. “Testarea modelului experimental” și 4.3 Demonstrarea funcțională a modelului experimental

Demonstrarea funcțională/funcționalității modelului experimental aferent instalației pentru reciclarea deșeurilor prin dezamblarea selectivă, cu ajutorul impulsurilor electrice repetitive de înaltă tensiune, presupune parcurgerea mai multor etape, după cum urmează:

1. Demonstrarea parametrilor impulsurilor electrice de înaltă tensiune privind timpul de creștere a impulsului (*rise-time*) care, conform teoriei și datelor din literatura de specialitate trebuie să fie <500 ns;
2. Demonstrarea reproductibilității și repetabilității impulsurilor de înaltă tensiune;
3. Demonstrarea funcționării simultane a tuturor etajelor / eclatoarelor generatorului Marx;

4. Demonstrarea variației frecvenței de repetiție a impulsurilor conform datelor inițiale ale proiectului: $1 \div 10$ Hz;
5. Demonstrarea obținerii presiunii de lucru în eclatoare: cca 4 atm;
6. Demonstrarea funcționalității vasului tehnologic;
7. Demonstrarea viabilității tehnologiei relativ la dezamblarea selectivă cu ajutorul impulsurilor electrice repetitive de înaltă tensiune.

DEMONSTRAREA FUNCȚIONALĂ A PARTII ELECTRICE

În fig. 10 sunt date oscilogramele caracteristice pentru formele de undă, atât în **regim armonic amortizat**, cât și în **regim supra-amortizat** (în apropiere de zona amortizat critic). Se demonstrează astfel, obținerea timpilor de creștere (*rise-time*) de max. $320 \text{ ns} < 500 \text{ ns}$, pentru ambele regimuri. Pentru regimul armonic amortizat s-au obținut timpi de creștere extrem de mici (cca 200 ns), care constituie o performanță pentru generatoarele Marx existente / fabricate în România. Testele au demonstrat, de asemenea, o foarte bună repetabilitate a impulsurilor, care își păstrează în mod constant forma, după operațiunea de sincronizare a eclatoarelor.

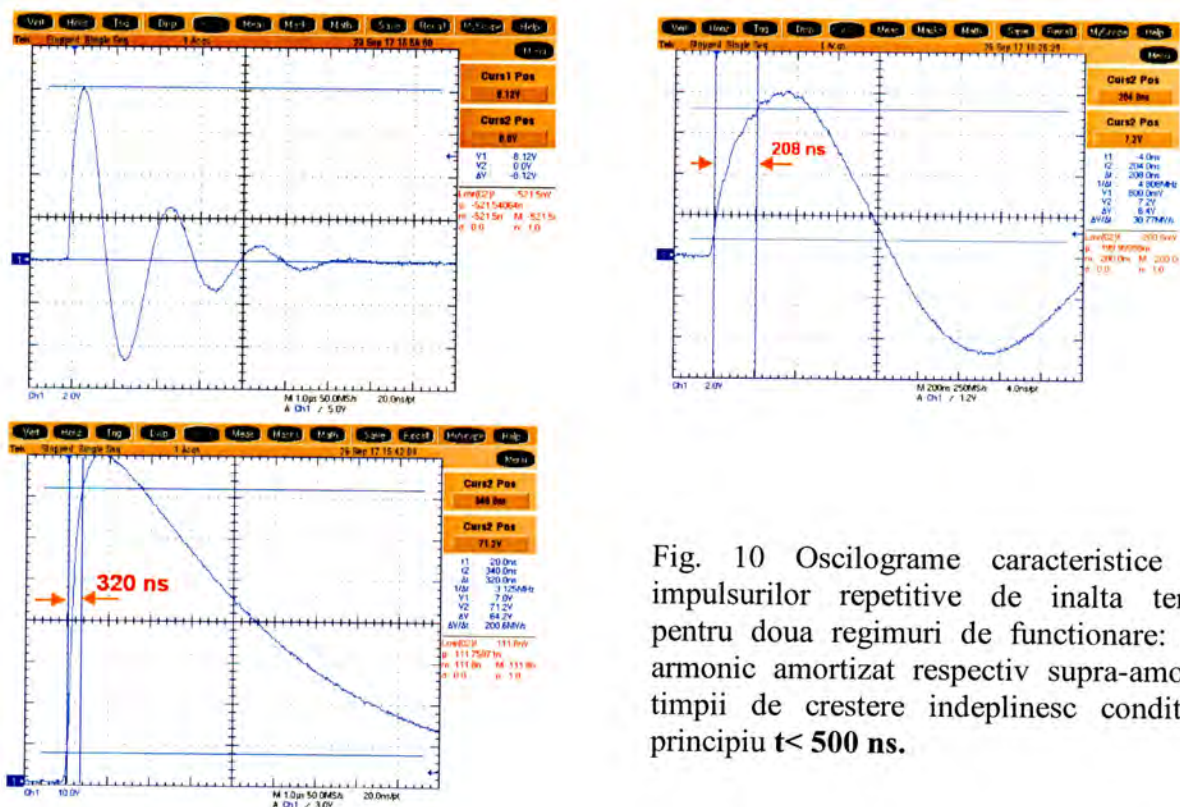


Fig. 10 Oscilogramе caracteristice ale impulsurilor repetitive de înaltă tensiune pentru două regimuri de funcționare: regim armonic amortizat respectiv supra-amortizat; timpii de creștere îndeplinesc condiția de principiu $t < 500 \text{ ns}$.

În fig. 11 se arată, printr-o imagine foto în mod „rafală”, funcționarea simultană a eclatoarelor.

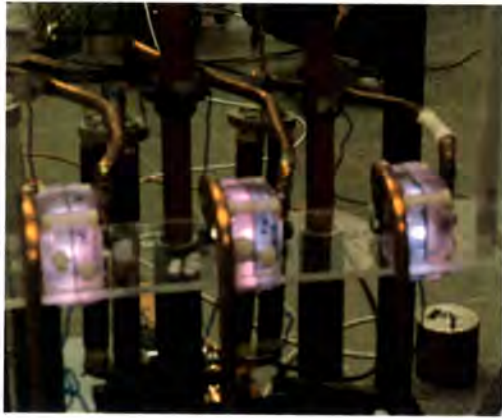


Fig. 11 Captura foto a momentului anclansarii simultane a eclatoarelor.

Aceasta functionare constituie, in sine, o performanta, avand in vedere ca, sincronizarea anclansarii eclatoarelor este cu atat mai dificila, cu cat timpul de crestere este mai scurt si, mai ales, atunci cand si tensiunea pe etaj este relativ mica (cca 25 kV – tensiunea minima de amorsare a unui eclator, conform fisei de catalog).

In fig. 12 sunt date curbele caracteristice pentru tensiunea de amorsare in impuls functie de tipul eclatorului si de distanta dintre electrozi si, de asemenea, curba caracteristica a intervalului de *triggerare*.

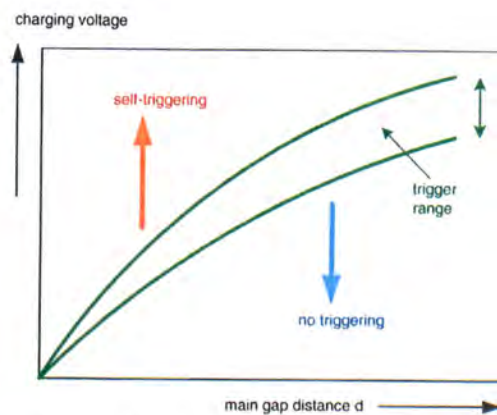
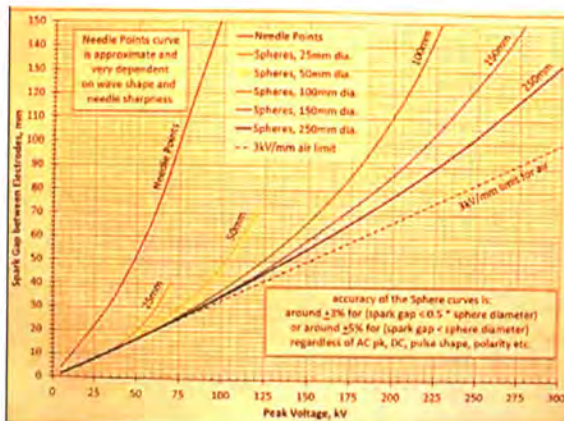


Fig. 12 Caracteristicile de anclansare pentru diferite eclatoare de inalta tensiune si curba caracteristica a intervalului de *triggerare*.

Pentru obtinerea sincronizarii eclatoarelor s-au folosit solutii originale care nu sunt documentate in literatura de specialitate si care sunt descrise succesiv in fig. 13.

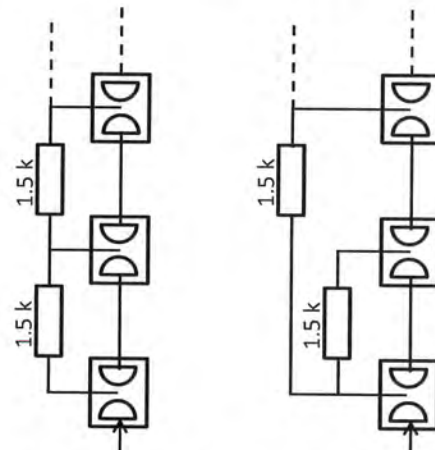
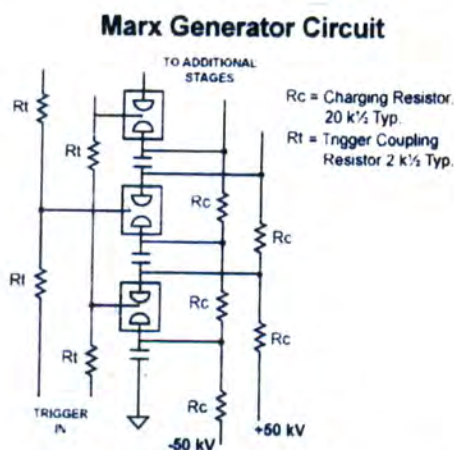


Fig. 13 Solutii originale pentru sincronizarea triggerarii eclatoarelor in raport cu schema clasica.

In oscilogramele din fig. 14 s-a demonstrat posibilitatea variatiei frecventei de repetitie a impulsurilor de inalta tensiune pentru doua valori. S-a obtinut, insa, o variatie mult mai mare a frecventei impulsurilor in raport cu datele initiale ale proiectului, si anume: $0,3 \text{ Hz} \div 30 \text{ Hz}$.

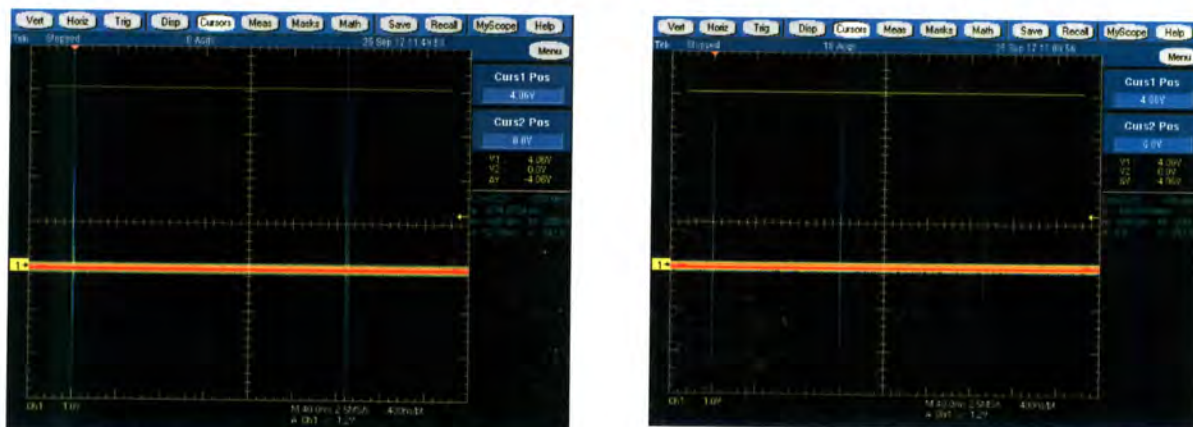


Fig. 14 Demonstrarea frecventei de repetitie a impulsurilor de inalta tensiune: 4.2 Hz respectiv 8.3 Hz.

In figura 15 sunt aratate montajul experimental si diagramele dupa care se face verificarea la presiune (max. 4 atm.) si ulterior reglajul tensiunii de amorsare a eclatoarelor, functie de natura gazului (aer sau SF_6) si de presiunea stabilita in interiorul eclatorului.

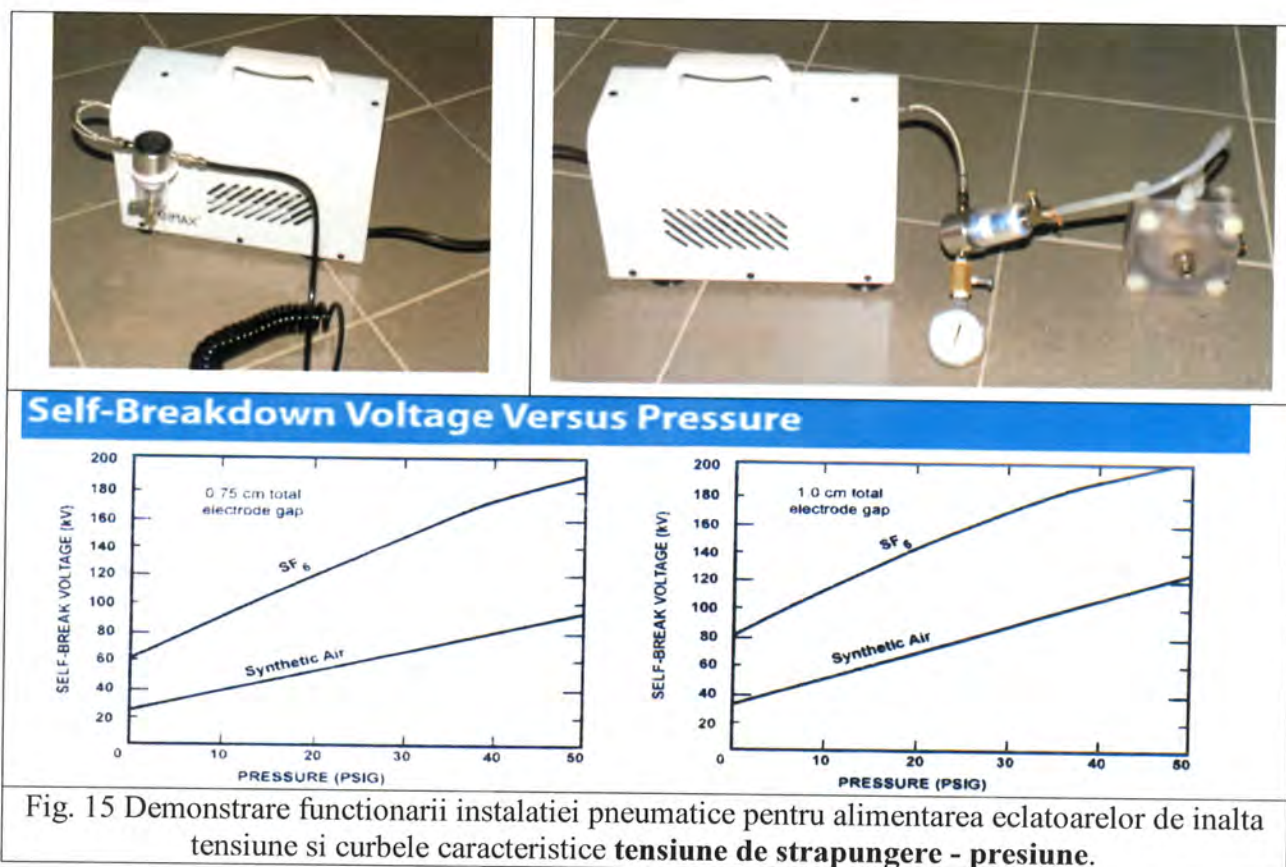


Fig. 15 Demonstrare functionarii instalatiei pneumatice pentru alimentarea eclatoarelor de inalta tensiune si curbele caracteristice **tensiune de strapungere - presiune**.

Demonstrarea tehnologiei aferenta instalatiei de dezasamblare selectiva cu ajutorul impulsurilor electrice repetitive de inalta tensiune, presupune parcurgerea primei etape, de validare a stabilirii descarcarii disruptive in vasul tehnologic - cuva. In figura 16 se poate urmari procesul descarcarii si oscilograma caracteristica.

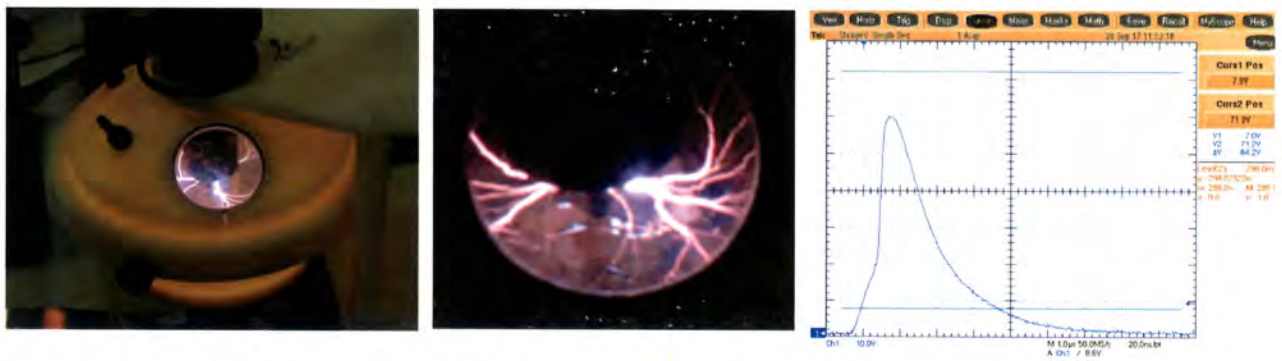


FIG. 16. Captura foto prin "rafala" a descarcarii electrice in vasul tehnologic si oscilogramă caracteristica.



Fig. 17 Succesiunea etapelor de fragmentare selectiva prin aplicarea impulsurilor electrice **repetitive** de inalta tensiune, asa cum este ilustrata de firma *SEFRAG* (pentru comparatie).

In figura 17 de mai sus, pentru comparatie, se arata succesiunea etapelor de fragmentare selectiva prin aplicarea impulsurilor electrice **repetitive** de inalta tensiune, asa cum este ilustrata de firma *SEFRAG*.



Fig. 18 Imagini foto reprezentand etapele succesive pentru fragmentarea selectiva a unui conglomerat, realizata cu ajutorul instalatiei de fragmentare selectiva dezvoltata in cadrul proiectului.

In figura 18 se exemplifica etapele succesive pentru fragmentarea selectiva a unui conglomerat, realizata cu ajutorul instalatiei de fragmentare selectiva dezvoltata in cadrul proiectului.

CONCLUZII

Rezultatele finale ale proiectului, documentate in cele doua capitole ("*Testarea modelului experimental*", respectiv "*Demonstrarea functionala a modelului experimental*"), furnizeaza dovezi privind indeplinirea in totalitate a obiectivelor proiectului, atat din punct de vedere al parametrilor si functionarii generatorului Marx – sursa de alimentare cu impulsuri

electrice repetitive, de înaltă tensiune, cât și din punct de vedere al instalației și tehnologiei aferente, în ansamblul lor.

S-au atins, astfel, parametrii nivelului de tensiune, al formei impulsului (referitor la timpul de creștere < 500 ns), al frecvenței de repetiție a impulsurilor și obiectivul sincronizării eclatoarelor, care constituie principala dificultate tehnică a fazei finale a proiectului.

Caracteristicile/obiectivele privind frecvența de repetiție a impulsurilor și regimurilor de funcționare (armonic amortizat, respectiv regim supra-amortizat), au fost îndeplinite și depășite în mod substanțial.

Vasul tehnologic funcționează corect, împreună cu întreaga instalație, asigurând viabilitatea tehnologiei propuse.

Instalația este susceptibilă de îmbunătățiri în ceea ce privește versatilitatea și ergonomia (manevrabilitatea și reglarea ușoară).

Activitatea 4.4. Elaborare manual de prezentare și utilizare a instalației pentru dezasamblarea selectivă a deșeurilor.

Manual se utilizează pentru cunoașterea, exploatarea, manipularea, depozitarea și transportul *Instalației și tehnologiei pentru reciclarea deșeurilor prin dezasamblarea selectivă cu ajutorul impulsurilor electrice repetitive de înaltă tensiune*.

Instalația are la bază ca procedeu de funcționare fragmentarea selectivă electrodinamică acesta fiind un procedeu de separare a componentelor structurilor compozite, în special, a celor care includ metale. Procedeu se utilizează pentru recuperarea materialelor din deșeurile produselor scoase din uz, dar se poate aplica și în industria de prelucrare a unor minereuri, pentru separarea componentelor utile. Procedeu folosește pentru separarea componentelor energia dezvoltată de descărcările electrice pulsante, de înaltă tensiune, produse selectiv în structurile compozite.

Principalele componente ale Instalației pentru reciclarea deșeurilor prin dezasamblarea selectivă cu ajutorul impulsurilor electrice de înaltă tensiune:

1. Ansamblul generator de impulsuri repetitive de înaltă tensiune care cuprinde:
 - Sursa de înaltă tensiune și mare putere;
 - Generatorul de impulsuri repetitive de înaltă tensiune;
 - Instalația pentru comanda electrică/pneumatică eclatoarelor;
2. Vasul tehnologic (recipientul de procesare) cu electrod reglabil.

Ansamblul generator de impulsuri repetitive de înaltă tensiune (fig. 19) cuprinde o „Sursă de înaltă tensiune și mare putere” care asigură încărcarea condensatorilor din „Generatorul de impulsuri repetitive de înaltă tensiune” cu energia necesară realizării procesului de fragmentare selectivă a probelor de materiale compozite. Elementele de comutație (eclatoarele) ale generatorului de impulsuri repetitive de înaltă tensiune sunt comandate cu ajutorul unei „Instalații pentru comanda electrică/pneumatică eclatoarelor”.

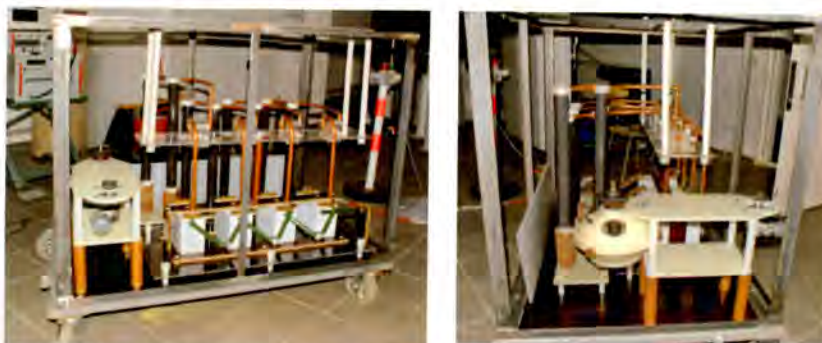


Figura 19 – Ansamblul generator de impulsuri repetitive de înaltă tensiune

Principalele componente ale vasului tehnologic:

Nr. crt.	Componente principale
1.	Suport instalație ans.
2.	Cuvă ansamblu
3.	Mecanism ans.
4.	Mecanism transmisie ans.
5.	Șurub cu cap hexagonal M6x30 mm
6.	Șaibă plată M6
7.	Șaibă Grower M6
8.	Piuliță hexagonală M6
9.	Curea pentru transmisii sincrone

Vasul tehnologic cuprinde un subansamblu “Suport” pe care se montează subansamblurile “Cuvă ansamblu” și “Mecanism ans.”, primul conținând ansamblul anod peste care se așează șarja (deșeur) de prelucrat și cel de al doilea catodul sub forma unui șurub cu filet rotund care poate fi rotit într-o “Bucșă filetată”, prin intermediul subansamblului “Mecanism transmisie ans.” și a “Curelei pentru transmisii sincrone” în scopul reglării distanței dintre cei doi **electrozi** (Fig. 20)

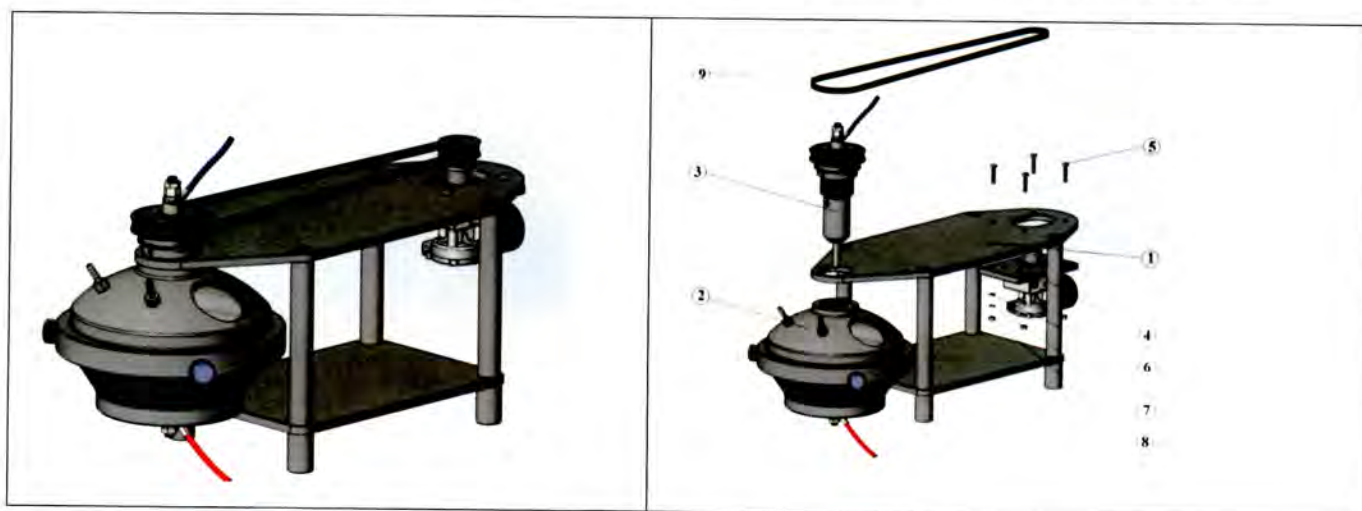


Figura 20 – Vasul tehnologic - componente

- | | | |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Suport instalație ans.; | 4. Mecanism transmisie ans.; | 7. Șaibă Grower M6; |
| 2. Cuvă ansamblu; | 5. Șurub cu cap hexagonal M6; | 8. Piuliță hexagonală M6; |
| 3. Mecanism ans.; | 6. Șaibă plată M6; | 9. Curea pentru transmisii sincrone |

Descrierea sursei de inalta tensiune pentru incarcarea condensatorilor. Sursa de inalta tensiune pentru incarcarea condensatorilor este alcatuita dintr-un transformator ridicator de inalta tensiune si un dispozitiv de redresare a curentului (Fig. 21). Tensiunea de iesire a sursei este de max. 50 kV.

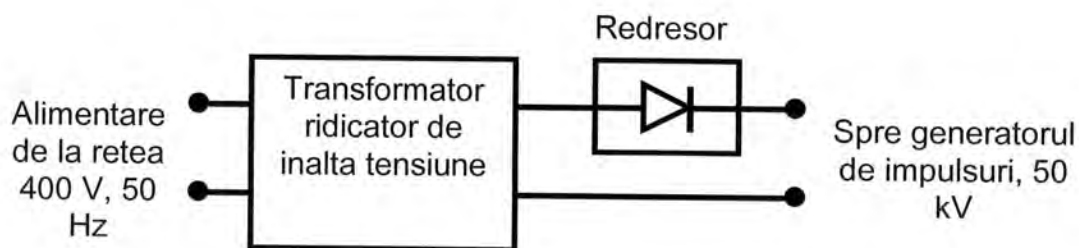


Figura 21 - Schema bloc a sursei de inalta tensiune

Descrierea generatorului de impulsuri repetitive de inalta tensiune. Generatorul de impulsuri repetitive de inalta tensiune este de tip Marx, cu patru etaje. Principiul fundamental al acestui generator consta in incarcarea unor condensatori in paralel si apoi comutarea lor in configuratie serie pentru descarcare. Astfel tensiunea de iesire devine tensiunea de incarcare inmultita cu numarul de etaje. Componentele generatorului de impulsuri sunt (Fig. 22):

- condensatorii de stocare a energiei, C;
- rezistentele de incarcare, R_i ;
- rezistentele de front, R_f ;
- rezistentele de spate, R_t ;
- eclatoarele, SG.

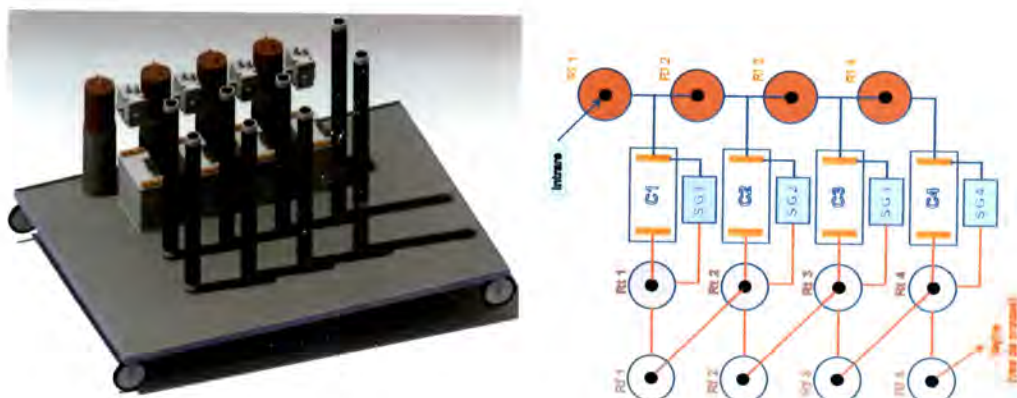


Figura 22 – Componentele generatorului de impulsuri

Legaturile intre componente sunt realizate cu conductoare (teava) de cupru cu sectiune circulara de diametru 18 mm. Componentele sunt fixate pe o platforma-suport mobila (dotata cu roti pivotante) din textolit folosind numai elemente (suruburi, piulite, tije etc.) din materiale izolatoare (textolit, polietilena, plexiglass). Pe aceasi platforma este fixat si vasul tehnologic. Intrarea generatorului de impulsuri este conectata la sursa de inalta tensiune iar iesirea lui este conectata la electrodul central (catodul) care este montat in dispozitivul port-catod (Fig. 23) al vasului tehnologic si prin intermediul caruia se aplica impulsurile de inalta tensiune.

☞ NOTA

Rolul celor doi electrozi poate fi inversat astfel incat electrodul mobil sa fie anod iar cel fix sa fie catod.

Descrierea instalatiei pentru comanda electrica/pneumatica a eclatoarelor. Instalatia pneumatica pentru comanda eclatoarelor este alcatuita dintr-un compresor (presiune intre 2.8 si 4.1 Bar, debit 40 litri/min.), o capcana (filtru) de umiditate si circuitul de conducte care alimenteaza eclatoarele cu aer comprimat, uscat.

Comanda electrica se face prin aplicarea unei tensiuni pe electrozii centrali ai eclatoarelor care

determina o ionizare suficientă a spațiului dintre electrozi încât să activeze trecerea energiei acumulate în condensatorii din circuit prin spațiul dintre electrozi.

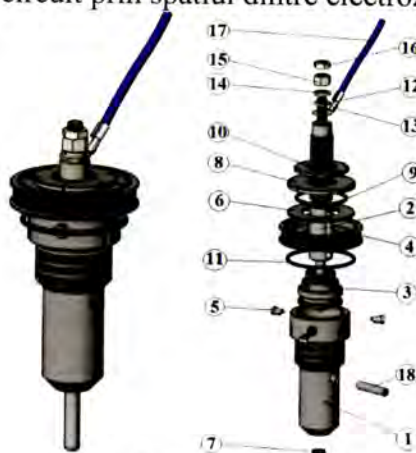


Figura 23 – Mecanism ans.

- | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1 – Port-catod | 7 – Inel “O” 10.8 x 3 | 13 – Conector electric |
| 2 – Catod cu filet | 8 – Placă presiune | 14 – Șaibă Grower M12 |
| 3 – Bucșă filetată | 9 – Inel “O” 56 x 4 | 15 – Piuliță hexagonală M12 |
| 4 – Roată dințată Z61 | 10 – Contrapiuliță | 16 – Contrapiuliță M12 |
| 5 – Știft blocare | 11 – Inel “O” 65 x 4 | 17 – Cablu alimentare catod |
| 6 – Disc fricțiune | 12 – Șaibă plată M12 | 18 – Știft blocare RA |

Asamblarea se realizează prin introducerea în piesa Port-catod poziția 1 în locașul prelucrat a inelului “O” poziția 7. La pasul următor se introduce catodul cu filet poziția 2 și se blochează în port-catod prin intermediul știftului de blocare RA poziția 18. Se introduce bucșa filetată poziția 3 prin înșurubare pe catodul filetat până când aceasta intră în contact cu port-catodul. Bucșa filetată și port-catodul fac corp comun prin intermediul știfturilor de blocare poziția 5 și a inelului “O” poziția 11 care le împiedică să se deplaseze radial. Pe bucșa filetată se montează roata dințată Z61 (pentru transmisii sincrone) poziția 4 și peste aceasta cuplajul prin fricțiune format din reperele disc fricțiune poziția 6, inel “O” poziția 9, placă presiune poziția 8 și contrapiuliță poziția 10.

Cuplajul realizează o forță de presare pe roata dințată Z61 în scopul transmiterii mișcării de rotație prin intermediul curelei pentru transmisii sincrone (poziția 9 din Fig. 7) și a ansamblului mecanism de transmisie ans. (poziția 4 din Fig. 7) și deci de deplasare pe verticală a catodului față de anod pentru realizarea distanței dorite între electrozi.

Rolul cuplajului este de a limita valoarea momentului de transmitere și în situații când acest moment este depășit să nu se mai poată produce deplasarea catodului față de anod. Restul de piese de la pozițiile 12, 14, 15, 16 sunt necesare pentru prinderea conectorului electric poziția 13 și respectiv a cablului de alimentare catod poziția 17. Prin înșurubarea subansamblului mecanism ans. (Figura 24) la subansamblul cuvă ansamblu (Figura 20) se realizează și prinderea acestora pe subansamblul suport instalație ans. (Figura 20).

Descrierea subansamblului “Mecanism de transmisie ans.” (fig.24). Mecanism transmisie este compus din:

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Placă mecanism antrenare; • Suport motor; • Antrenor; • Bucșă mecanism transmisie; • Lagăr teflon; • Roată dințată Z30; • Șurub cu cap înecat M6 x 10; • Șaibă plată M6; | <ul style="list-style-type: none"> • Șaibă Grower M6; • Piuliță hexagonală M6; • Șaibă plată M8; • Șaibă Grower M8; • Motor ștergător parbriz; • Piuliță hexagonală M8; • Șurub cu cap înecat crestă M6 x 20; • Șaibă; • Șplint 3.2 x 22. |
|---|--|

Asamblarea se realizează având la bază reperul placă mecanism de antrenare poziția 1 pe care se montează bușa mecanism transmisie poziția 4 cu ajutorul șuruburilor cu cap înecat M6 x 10 poziția 7. Pe reperul bușa mecanism transmisie se montează reperul lagăr teflon poziția 5 prin intermediul șuruburilor cu cap înecat M6 x 20 poziția 15.

În reperul lagăr teflon este introdus subansamblul roată dințată Z30 ans. poziția 6 și se asigură împotriva deplasării axiale cu șplintul 3,2 x 22 poziția 17.

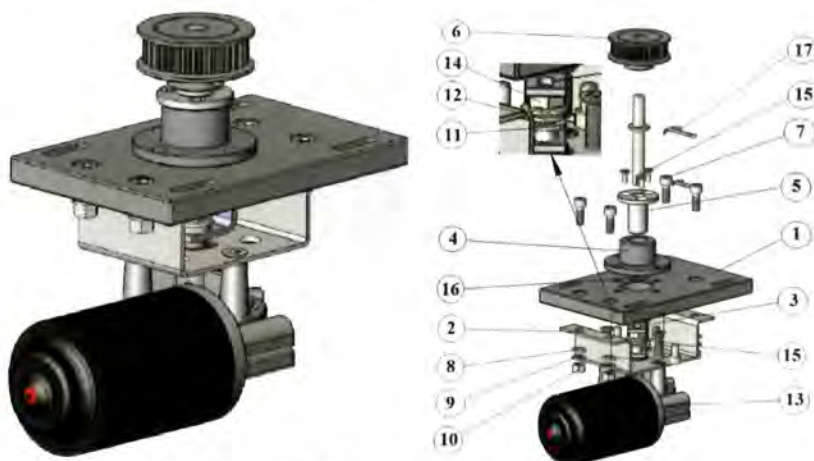


Figura 24 – Mecanism de transmisie ans.

- | | | |
|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 1 – Placă mecanism antrenare | 7 – Șurub M6 x 10 | 13 – Motor ștergător parbriz |
| 2 – Suport motor | 8 – Șaibă plată M6 | 14 – Piuliță hexagonală M8 |
| 3 – Antrenor | 9 – Șaibă Grower M6 | 15 – Șurub M6 x 20 |
| 4 – Bucșă mecanism transmisie | 10 – Piuliță hexagonală M6 | 16 – Șaibă |
| 5 – Lagăr teflon | 11 – Șaibă plată M8 | 17 – Șplint 3,2 x 22 |
| 6 – Roată dințată Z30 ans. | 12 – Șaibă Grower M8 | |

La partea inferioara a mecanismului de transmisie ans. se montează suportul motorului poziția 2 pe care se prinde motorul pentru ștergător de parbriz poziția 13 prin intermediul șuruburilor cu cap înecat M6 x 20 poziția 15. Urmează prinderea "Cuplajului rigid" pe axul filetat al motorului reprezentat de reperul antrenor poziția 3 cu ajutorul șaibei plate M8 poziția 8, a șaibei Grower M8 poziția 9 și a piuliței hexagonale M8 poziția 10. Acest montaj se prinde pe placa mecanismului de antrenare prin intermediul șuruburilor cu cap înecat M6 x 10 poziția 7 dar nu înainte de a potrivi prin rotirea subansamblului roată dințată Z30 ans. axul frezat al acesteia cu gaura alungită prelucrată în piesa antrenor poziția 3.

După acest reglaj se pot strânge și șuruburile M6 x 10 poziția 7 în reperul placă mecanism antrenare poziția 1. Mecanismul de transmitere ans. este utilizat la transmiterea mișcării de rotație (cu un raport de transmisie de $\approx 1/2$) la subansamblul mecanism ans. prezentat în Figura 13, pentru realizarea mișcării de translație a catodului față de anod (reglarea distanței dintre electrozi).

Funcționarea instalației

Fragmentarea selectivă electrodinamică este un procedeu de separare a componentelor structurilor compozite, în special a celor care includ metale. Procedeu se utilizează pentru recuperarea materialelor din deșeurile produselor electrice și electronice scoase din uz, dar se poate aplica și în industria de prelucrare a unor minereuri, pentru separarea componentelor utile. Procedeu folosește pentru separarea componentelor utilizand energia dezvoltată de descărcările electrice în impulsuri, de înaltă tensiune. Arcul electric realizează în canalul de descărcare densități foarte mari de energie, cu efecte termice care transformă solidele în gaze la temperaturi

de peste 10000 K și presiuni de ordinul zecilor de mii de bari. Această transformare fiind foarte scurtă, (realizându-se în 1 ... 5 μ s) produce o undă de șoc de compresie cu dezvoltare normală pe canalul de descărcare. Unda de compresie, uneori combinată și cu reflexii ale ei, produce distrugerea materialului în jurul canalului de descărcare și generează fisuri care se propagă la distanță. Efectul distructiv se amplifică odată cu pătrunderea gazelor sub presiune în fisurile inițiale.

Cuva experimentală de fragmentare selectivă, modelată, proiectată și analizată în cadrul lucrării desfășurate la activitatea 3.1. ce face obiectul contractului 84/2014, funcționează folosind descărcările electrodinamice de înaltă tensiune furnizate de ansamblul generator de impulsuri repetitive de înaltă tensiune.

În general materialele supuse procesării sunt materiale solide compuse care conțin atât metale, cât și materiale dielectrice. Asigurarea conductivității electrice în spațiile goale dintre părțile procesate ale acestora se realizează prin imersarea probelor într-un electrolit. Astfel, din punct de vedere al proprietăților electrice, în cuvă există trei categorii de materiale:

- metale;
- dielectrice;
- electroliti.

Conductivitățile electrice ale celor trei categorii de materiale, foarte diferite, au influențe importante asupra dezvoltării câmpului electric în cuva de procesare.

Caracteristica principală care intervine în procesul de fragmentare selectivă este rigiditatea dielectrică a materialelor, care reprezintă rezistența la străpungere a materialelor, sau tensiunea la care se străpunge electric un strat de material de grosime dată.

Străpungerea dielectrică poate fi privită ca pierdere a proprietăților dielectrice a izolatoarelor solizi, lichizi și gazoși în condițiile în care intensitatea câmpului electric depășește o valoare critică. Această valoare reprezintă rigiditatea dielectrică a materialelor.

În dielectricii solizi străpungerea se produce ca urmare a depășirii energiei limită de polarizare. Pe măsură ce intensitatea locală a câmpului electric crește, în material încep să apară electroni liberi care măresc conducția. Treptat dielectricul devine conductor. Conducția instalată în dielectric crește foarte rapid cu creșterea intensității câmpului electric – creștere exponențială. La un moment dat densitatea de curent în dielectric începe să producă efecte termice. Atunci când energia termică produsă excede energia disipată, se produce încălzirea locală cu efecte tranzitorii de fază, până la faza gazoasă, în stare de plasmă.

La gaze și la lichidele pure conducția apare în funcție de intensitatea câmpului electric. Când potențialul de polarizare este depășit, dipolii se rup și se produce ionizarea. În acest caz, curentul electric este consecință a mișcării ionice. În lichidele care conțin în soluție diferite substanțe și impurități, străpungerea este declanșată în vecinătatea acestora datorită concentrării câmpului.

Activitatea 4.5.”Intocmirea și depunerea documentației de brevetare pentru echipament de dezasamblare selective a deșeurilor cu ajutorul impulsurilor de înaltă tensiune” și activitatea 4.6. “Diseminarea rezultatelor prin publicarea de lucrări științifice, articole, editarea de CD-uri, pliante, postere, participare la conferințe naționale”.

1. În această etapă s-a întocmit și s-a depus o cerere de brevet la OSIM cu nr. **A/00597 28.08.2017 “Instalație pentru reciclarea deșeurilor prin impulsuri electrice de înaltă tensiune”** – autori Badic Mihai, Morari Cristian, Chereches Tudor, Lixandru Paul, Dragnea Daniel

Diseminarea rezultatelor prin publicarea de lucrări științifice, articole, participare la conferințe naționale.

2. Mihai BĂDIC, Cristian MORARI, Jana PINTEA - **Surse de înaltă tensiune pentru aplicații speciale** (High Voltage Sources for Special Applications) – Revista EEA

3. T Cherecheș, P Lixandru, D Dragnea & D M Cherecheș - **Numerical modelling of processes that occur in the selective waste disassembly installation**- International Journal on Modern Manufacturing Technologies ModTech2017-IOP Conference Series- articol publicat on-line
4. Mihai Badic, Jana Pintea, Cristian Morari – Selective Fragmentation- A new technology for waste recycling - 2th International Symposium “Environment and Industry: SIMI 2017- 28-29 September 2017, Bucharest, Romania – prezentare POSTER

Promovarea rezultatelor prin mijloace media

<http://www.asiiromani.com/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune/>

<https://ultima-ora.ro/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune/>

<http://goodnews.info.ro/instalatia-care-ar-putea-pune-capat-problemei-gropilor-de-gunoi/>

<https://www.agerpres.ro/comunicate/2017/09/25/comunicat-de-presa-institutul-national-de-cercetare-dezvoltare-pentru-inginerie-electrica-13-38-13>

<http://centruldepresa.ro/comunicate-de-presa/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune>

<http://www.ecomunicate.ro/comunicat/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune/>

<https://www.marketingromania.ro/comunicate-de-presa/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune>

http://www.webpr.ro/stiri-webreleases_stiinta_cercetare-22019723-icpe-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-inalta-tensiune.htm

<http://www.goodagency.ro/economic/13606-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune.html>

Adpres.ro/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune/html

http://www.marketwatch.ro/articol/15728/Comunicat_de_presa_-_Institutul_National_de_Cercetare-Dezvoltare_pentru_Inginerie_Electrica_ICPE-CA/

REZULTATE FINALE

REALIZAREA OBIECTIVELOR, REZULTATE STIINTIFICE SI TEHNICE

Pe parcursul celor patru faze de desfasurarea a proiectului *ITESEDEZ* au fost indeplinite obiectivele proiectului dupa cum urmeaza:

- **ETAPELE 1 si 2 - cercetare industriala** - in care s-a fundamentat teoretic modul de calcul pentru generatorul de impuls de inalta tensiune (monoimpuls si impulsuri repetabile) si s-au realizat experimente premergatoare pentru diferite variante constructive de generatoare de inalta tensiune, aferente tehnologiei de fragmentare selectiva. De asemenea, s-au realizat modelari/simulari cu *soft-uri* specializate privind procesele complexe (presiune, temperatura, soc electric/mecanic) care au loc in vasul tehnologic in care se produce fragmentarea selectiva. **Toate acestea sunt documentate riguros in rapoartele de faza, respectiv in raportul final, cu ecuatii, scheme, diagrame/soft, fotografii, oscilograme.**

- **ETAPELE 3 si 4 - cercetare industriala, dezvoltare experimentală** - s-a proiectat si realizat vasul tehnologic pentru fragmentarea selectiva, generatorul Marx cu 4 etaje pentru generarea impulsurilor repetabile de inalta tensiune (tensiune maxima 200 kV, frecventa de repetitie a impulsurilor 1 - 10Hz, timp de crestere a impulsurilor <300 ns). De asemenea, s-a testat si demonstrat functionarea generatorului si a intregii instalatii si a fost intocmit manualul de prezentare si utilizare a instalatiei pentru dezasamblare selectiva a deseurilor. **Toate acestea sunt documentate riguros in rapoartele de faza, respectiv in raportul final, cu ecuatii, scheme, diagrame/soft, fotografii, oscilograme.**

Ca rezultate generale ale proiectului se evidentiaza: **3 produse si 1 tehnologie**

- **vas tehnologic pentru procesarea deseurilor;**
- **generator Marx** - impulsuri repetabile IT (U_{max} 200 kV, frecventa 1- 10 Hz, *risetime* < 300 ns) - o premiera nationala absoluta, neexistand in tara nici preocupari nici realizari de astfel de generatoare cu parametrii specificati;
- **instalatie pentru dezasamblarea selectiva a deseurilor (inglobeaza vasul tehnologic si generatorul Marx);**
- **tehnologie pentru fragmentarea selectiva a conglomeratelor/deseurilor.**

Asa cum s-a mentionat instalatia si tehnologia realizate constituie o premiera nationala, o singura firma din *UE* promovand aceasta tehnologie si construind echipamente specifice.

Diseminarea a fost realizata prin (disponibile pe pagina web a INCDIE ICPE-CA):

Articole in reviste de specialitate:

- Mihai Badic, Cristian Morari, Jana Pintea, "*High voltage sources for special applications*", Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA), vol. 65 (2017), nr. 3, pp. 55-62, 2017.
- Mihai Badic, Jana Pintea, "*Fragmentarea selectiva cu impulsuri de inalta tensiune: o tehnologie de varf*", Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA), vol. 64 (2016), nr. 1, pp. 117-127, 2016.

Comunicari la conferinte internationale:

- Mihai Badic, Jana Pintea, Cristian Morari, "*Selective fragmentation - a new technology for waste recycling*", 20th International Symposium - SIMI 2017 "The Environment and the Industry", Bucharest, 28 - 29 September 2017.
- T. Chereches, P. Lixandru, D. Dragnea, D.M. Chereches, "*Numerical modelling of processes that occur in the selective waste disassembly installation*", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 227, 012022, 2017.

Rezultatele originale obtinute in proiect fac obiectul unei cereri de brevet cu titlul ***Instalatie pentru reciclarea deseurilor prin impulsuri electrice de inalta tensiune***, inregistrat la OSIM cu numarul A/00597/28.08.2017, autori Badic Mihai, Morari Cristian, Chereches Tudor, Lixandru Paul, Dragnea Daniel.

Promovarea rezultatelor prin mijloace media

- <http://www.asiiromani.com/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune/>
- <https://ultima-ora.ro/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune/>
- <http://goodnews.info.ro/instalatia-care-ar-putea-pune-capat-problemei-gropilor-de-gunoi/>
- <https://www.agerpres.ro/comunicate/2017/09/25/comunicat-de-presa-institutul-national-de-cercetare-dezvoltare-pentru-inginerie-electrica-13-38-13>
- <http://centruldepresa.ro/comunicate-de-presa/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune>
- <http://www.ecomunicate.ro/comunicat/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune/>
- <https://www.marketingromania.ro/comunicate-de-presa/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune>
- <http://www.webpr.ro/stiri-webreleases stiinta cercetare-22019723-icpe-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-inalta-tensiune.htm>
- <http://www.goodagency.ro/economic/13606-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune.html>
- [Adpres.ro\icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune\html](http://adpres.ro/icpe-ca-instalatie-pentru-reciclarea-deseurilor-prin-impulsuri-electrice-de-inalta-tensiune/html)
- [http://www.marketwatch.ro/articol/15728/Comunicat de presa - Institutul National de Cercetare-Dezvoltare pentru Inginerie Electrica ICPE-CA/](http://www.marketwatch.ro/articol/15728/Comunicat-de-presa-Institutul-National-de-Cercetare-Dezvoltare-pentru-Inginerie-Electrica-ICPE-CA/)

Pag. Articole

89> Sursă de tensiune controlată cu frecvență extrem de joasă pentru studii microbiologice (Full text in Romanian)
Daniel LIPCINSKI, Daniel LINGVAY, Elena RADU, Andreea VOINA

97> The Quality of the Prediction for the NVIS Propagation with ITS-HF Propagation (Full text in English)
Iulian BOULEANU, Marius GHEORGHEVICI, Robert HELBET

105> Sensor Placement for Monitoring Systems Modelled by Bond Graph (Full text in English)
Mounira BENALLEL, Hafid HAFFAF, Abdelmadjid MEGHEBBAR

117> Fragmentarea selectivă cu impulsuri de înaltă tensiune: o tehnologie de vârf (Full text in Romanian)
Mihai BĂDIC, Jana PINTEA

128> Design of Quasi-Orthogonal STBCs with Full Rate and Full Diversity (Full text in English)
Feng HU, Libiao JIN, Shufeng LI

133> Disturbance Observer Based Approximate Linearization Control of Gun Launched MAV (Full text in English)
Mohammed RIDA MOKHTARI, Amal CHOUKCHOU BRAHAM

143> The Effect of Error Transmission on Compressed Image using Vector Quantization with Different Codebooks (Full text in English)
Iman ELAWADY, Abdelmounaim MOULAY LAKHDAR, Mohammed BELADGHAM, Yassine HABCHI, Abdesselam BASSOU

150> Experimental Validation of Travel Time Models for Multi Aisle Automated Storage and Retrieval System in Class-Based Storage (Full text in English)
Amina OUHOUD, Amine GUEZZEN, Zaki SARI

MISCELLANEA SECTION

161> Mediul ambiant: obiectiv primordial pentru un viitor durabil (partea 2) (Full text in Romanian)
Eugeniu Alexandru STERE, Ionel POPA

177> Implementation of a Neural Classifier on a FPGA-based Reconfigurable System of Cardiac Arrhythmias (Full text in English)
Amel BABA HAMED, Hassane BECHAR, Mohammed Amine CHIKH



www.icpe.ro



Redacția EEA
Splaiul Unirii, nr. 313; 030138 București, România
Tel. +4021 589 33 00 | Mobil: +40749 070 395
Fax: +4021 589 34 77
e-mail: eea-journal@icpe.ro
Internet: www.eea-journal.ro

vol. 64 nr. 1 ianuarie-martie 2016

publicație a ICPE

ISSN: 1582-5175

Revista EEA este clasificată B* de CNCIS și indexată în bazele internaționale de date:
Elsevier, Scopus, Compendex, ProQuest, EBSCO, Ulrich's, Index Copernicus International

Pag. Articole

07> Analiza armonicilor în curent ale unui convertizor de frecvență cu PWM pentru un motor asincron de medie tensiune (Full text in English)
Laurențiu CIUFU, Mihai Octavian POPESCU

15> Adaptive Backstepping Order of Asynchronous Monophased Machine (Full text in English)
Mohammed ELMIR, Abderrahmane KECHICH, Brahim ZOUI

24> Nonlinear Integral Backstepping Control for Induction Motor drive with Adaptive Speed Observer using Super Twisting Strategy (Full text in English)
Mohamed HORCH, Abdelmadjid BOUMEDIENE, Lotfi BAGHLI

33> Noise and Vibrations of Switched Reluctance Machine Drives: Influence of Current Hysteresis Control (Full text in English)
Yves MOLLET, Mathieu SARRAZIN, Herman VAN DER AUWERAER, Johan GYSELINCK

42> Heterostructure nanowires/amorphous thin-film for solar cells (Full text in English)
Fatiha BENBEKHTI, Abdel Halim BENMANSOUR

48> The Nonlinear and Unbalanced Loads Quantitative Impact on the Neutral Conductor Current (Full text in English)
Lucian PETRESCU, Emil CAZACU and Maria-Cătălina PETRESCU

55> A Swarm Algorithm Intelligent Optimization PSO in Power Network Real, West Algeria 220 kV (Full text in English)
Youssef MOULOUDI, Mohammed Amine MEZIANE, Abdellah LAOUFI, Bousmaha BOUCHIBA, Othmane HARISI

61> Some Particular Aspects of Manufactured MEMS and their Reliability (Full text in English)
Titu-Marius I. BĂJENESCU

70> Closed-Loop Handling Performance Evaluations for Heavy-Duty Vehicles using Driver-in-the-Loop Simulations (Full text in English)
Yiting KANG, Jinggao LIN, Jue YANG, Xuan ZHAO, Wenming ZHANG

79> Intelligent Control using Type-2 Fuzzy for Diagnosis of Inter-Turn Short Circuit Fault in PMSM (Full text in English)
Amar BECHKAOUI, Aissa AMEUR, Slimane BOURAS, Djamel TAIBI, Kahina OUAMRANE

[Continuare pe coperta 4]



www.icpe.ro

Scopul revistei

Revista EEA își propune să publice numai acele articole care atât prin ideile noi, cât și prin rezultatele prezentate, să aducă contribuții importante la cercetarea românească de avangardă din electronică, electrotehnică, automatică, informatică și din celelalte domenii ale științelor ingineresti.

Articolele, publicate în două versiuni pe suport de hârtie și online, sunt identice. Accesul liber online asigură o mare vizibilitate articolelor.

Prezentare

Revista EEA a fost fondată în anul **1950** sub numele de „Electricitatea” (ISSN 1220-2533; vol. 1-3) care, în 1953, și-a schimbat numele în „Electrotehnica” (ISSN 0013-5321; vol. 1-22), care, în 1975, după integrarea „Automatica și Electronica (ISSN 1220-2584) apare cu numele actual **Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA)** [ISSN 1582-5175; e-ISSN 2392-828X] (pentru detalii, a se naviga pe site-ul www.eea-journal.ro).

Încă de la primele numere, deși era unica revistă specializată din domeniul electrotehnicii, EEA a fost constant apreciată pentru nivelul științific ridicat al articolelor publicate.

În prezent, EEA este recunoscută ca lider printre publicațiile științifice, pentru calitatea și standardele înalte ale articolelor apărute în domeniul științelor ingineresti. Printre autori se numără specialiști, cercetători și cadre didactice din Algeria, Belgia, R.P. China, Finlanda, Franța, Germania, Italia, Moldova, Slovacia, Ungaria etc.

În paginile revistei, se regăsesc lucrări științifice originale care nu au mai fost publicate și care nu sunt luate în considerare pentru publicare în altă parte, cât și articolele prezentate la conferințe, cu condiția să nu fi fost publicate (parțial sau integral) în volumele manifestărilor științifice (min. 6 pagini-max. 16 pagini), sinteze ale unor proiecte de cercetare, dezbateri științifice și sinteze pe teme prioritare din cercetarea fundamentală și aplicativă (max. 20 pagini), recenzii / note de lectură ale celor mai recente apariții de cărți tehnico-științifice (max. 1 pagină), liste de resurse bibliografice comentate din domeniul științelor ingineresti (max. 8 pagini).

Pentru a dovedi deschiderea către noile domenii de frontieră, Colegiul editorial a creat o secțiune-varia (*Miscellanea Section*), în care sunt publicate articole a căror tematică aparține altor domenii (matematică, științe socio-umane, științe economice, științele vieții și ale pământului (inclusiv mediul), științe agricole, științe medicale etc.) și care, *tangential*, pot fi corelate cu domeniul științelor ingineresti datorită viziunii, conexiunilor și al abordării inedite a subiectelor.

Revista este un *Colegiu de redacție* format din academicieni, profesori universitari și cercetători științifici din România și din străinătate — personalități recunoscute din domeniul științelor ingineresti (în special, din electrotehnică, electronică, automatică și din celelalte domenii ale ingineriei).

Revista EEA este clasificată **B*** de Consiliul Național al Cercetării Științifice din Învățământul Superior (CNCSIS) și este indexată în bazele internaționale de date: **Elsevier, Scopus, Compendex, ProQuest, EBSCO, Ulrich's, Index Copernicus International**.

În prezent, este în proces de evaluare de Thomson Reuters - ISI.

Scope

The EEA Journal aims to publish only those papers that by the new ideas and the results shown to bring significant contributions to research in the Romanian avant-garde engineering as electrical engineering, electronics, automation and other engineering sciences.

The papers that published in two versions on paper and online are identical. The online open access ensures a high visibility of the papers.

Description

The EEA Journal is founded in **1950** under the title „Electricitatea” (ISSN 1220-2533; vol. 1-3) that, in 1953, changed its title in „Electrotehnica” (ISSN 0013-5321; vol. 1-22) that, in 1975, after merging „Automatica și Electronica (ISSN 1220-2584) is published under the present title **Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA)** [ISSN 1582-5175; e-ISSN 2392-828X] (for further details, please navigate on the site www.eea-journal.ro).

Since the early issues, although it was the only scientific journal specialized in the field of electrical engineering, the EEA has been consistently highly rated for the level of its scientific papers.

At present, the EEA is recognized as a leader among the scientific publications for the quality and high standards of the papers belonging to the field of engineering sciences. The authors are specialists, researchers and academics from Algeria, Belgium, PR of China, Finland, France, Germany, Italy, Moldova, Slovakia, Hungary, etc.

In the EEA, there are published original papers that haven't been previously published and are not under consideration for publication somewhere else, as well as papers presented at conferences, only if they have not been published (partially or fully) in the proceedings of that scientific event (min. 6 pages, max. 16 pages), syntheses of research projects, scientific debates and syntheses on priority themes of fundamental and applied research (max. 20 pages), reviews / reading notes of the latest scientific and technical books (max. 1 page), commented lists of bibliographic resources in engineering sciences (max. 8 pages).

To prove the openness to new frontier areas, the Editorial Board has created a *varia* section (*Miscellanea Section*) for papers belonging to other thematic areas (mathematics, social studies, economics, life and earth sciences (including the environment), agricultural sciences, medical sciences, etc.) and, *tangentially*, they are related to engineering sciences thanks to vision, connections and novel approach of the topics.

The *Editorial Board* includes academicians, university professors and researchers from Romania and abroad that are well-known personalities in the field of engineering sciences (especially, in electrical, electronics, automation, computer science and other fields of engineering).

The EEA journal is included in the **B*** category by the National Council of Scientific Research in Higher Education (CNCSIS) and indexed in international data bases: **Elsevier, Scopus, Compendex, ProQuest, EBSCO, Ulrich's, Index Copernicus International**. Currently, EEA is under evaluation by Thomson Reuters - ISI.



EDITORIAL BOARD

Editorial Consortium - ICPE - Electrical Engineering Faculty (FIE) within University Politehnica of Bucharest (UPB) - Scientific Society of ICPE (SS ICPE)	Editors Mihaela CHEFNEUX, eng., ICPE Ioan Florea HĂNȚILĂ, professor, UPB, Technical Sciences Academy of Romania Valentin NĂVRĂPESCU, professor, UPB Ionel POPA, PhD, ICPE Mihai Octavian POPESCU, professor, UPB
--	--

Scientific Board

President: Mihai Octavian POPESCU, professor, UPB
General Secretary of the Editorial Board: Ionel POPA, PhD, ICPE

Florin FILIP, academician, vice-president, Romanian Academy Toma DORDEA, academician, Romanian Academy Marius PECULEA, academician, Romanian Academy Andrei ȚUGULEA, academician, Romanian Academy Xi WENHUA, academician, Sciences Academy of Gansu, P.R. of China Adrian-Alexandru BADEA, professor, UPB, vice-president of Scientists Academy of Romania Aurel CÂMPEANU, professor, University of Craiova; vice-president of Technical Sciences Academy of Romania Ion CHIUȚĂ, professor, UPB; Scientists Academy of Romania (president of Section VI - Technical Sciences) Nicolae GOLOVANOV, professor, UPB; president of the Technical Sciences Academy of Romania Dumitru Felician LĂZĂROIU, professor, technical and scientific consultant, Paris (France); honorary member of the Technical Sciences Academy of Romania Teodor LEUCA, professor, University of Oradea; Scientists Academy of Romania; Technical Sciences Academy of Romania Andrei MARINESCU, professor, University of Craiova; Technical Sciences Academy of Romania Radu MUNTEANU, professor, Technical University of Cluj-Napoca; vice-president of the Technical Sciences Academy of Romania Florin Teodor TĂNĂSESCU, professor, president of Romanian Electrotechnical Committee (CER); vice-president of the Technical Sciences Academy of Romania; honorary member of the Sciences Academy of Moldova Horia Leonard ANDREI, professor, „Valahia” University of Târgoviște Jozef BALOGH, professor, Technical University of Košice, Slovakia George BEREZNAI, professor, University of Ontario, Institute of Technology (UOIT), Canada Mihail CECLAN, professor, UPB Rodica Elena CECLAN, professor, UPB Costin CEPIȘCĂ, professor, UPB Amit CHAUDHRY, PhD, University of Panjab (UIET), Chandigarh, India	Roman CIMBALA, professor, Technical University of Košice, Slovakia Grigore DANCUI, professor, UPB Jaroslav DŽMURA, professor, Technical University of Košice, Slovakia Vasile DOBREF, professor, „Mircea cel Bătrân” National Academy of Constanța Istvan FARKAS, professor, „Szent Istvan” University of Gödöllő, Hungary Stergios GANATSIOS, professor, Technological Education Institute (TEI) of Kozani, Greece Horia IOVU, professor, UPB Nicolae JULA, professor, Technical Military Academy of București Hans-Georg KOGLMAYR, professor, University of Pforzheim, Germany Iosif LINGVAY, PhD, INCIE ICPE-CA Mihai LUCANU, professor, „Gh. Asachi” Technical University of Iași Aurelia MEGHEA, professor, UPB Simona MICLĂUȘ, professor, „Nicolae Balcescu” Land Forces Academy of Sibiu Etienne MILENT, professor, University of Lille, Franța Dan MOROLDO, professor, Technical University of Civil Engineering of București Valentin NĂVRĂPESCU, professor, UPB Nicolae OLARIU, professor, „Valahia” University Târgoviște Jaroslav PETRÁŠ, professor PhD, Technical University of Košice, Slovakia Emil POP, prof. PhD, University of Petroșani Claudia Laurenția POPESCU, professor, UPB Luminița Georgeta POPESCU, professor, „Constantin Brâncuși” University of Târgul Jiu Alexandru SOTIR, professor, „Mircea cel Bătrân” National Academy of Constanța Ion STRATAN, professor, Technical University of Moldova, Chișinău, Moldova Janos TAKACS, professor, Technical University of Bratislava, Slovakia Andrei VLADIMIRESCU, professor, University of California, Berkeley, SUA; Institut Supérieur d'Electronique de Paris
---	--

Scientific Reviewers

Paula ANGHELIȚĂ, PhD, ICPE Jănel ARHIP, CS II, Technical Military Academy of Constanța Mihai BĂDIC, PhD, INCIE ICPE-CA Mihai CISTELECAN, PhD, UPB Gheorghe DUMITRESCU, PhD, ICPE Cornel JIVAN, PhD, ICPE Paul MINCIUNESCU, PhD, ICPE Nicolae MOCIOI, PhD ICPE	Mihăiță Gabriel NEACȘU, PhD, ICPE Dan PAVELESCU, professor, UPB Paul PENCIOIU, PhD, ICPE Alexandru RADULIAN, PhD ICPE Nicolae VASILE, professor, „Valahia” University of Târgoviște; Technical Sciences Academy of România Bogdan Dumitru VĂRĂTICEANU, PhD, ICPE Ion VONCILĂ, professor, „Dunărea de Jos” University of Galați
--	--

Editor-in-Chief

Elena POPA, senior scientist

Sponsorship:

Publisher: Editura „ELECTRA” (as part of ICPE)

Issuing body: ICPE

Editorial Office:

Editura „ELECTRA”
 Splaiul Unirii, nr. 313; 030138 București, Romania
 Tel.: +4021 589 34 82 // Mobile: +40749 070 395
 e-mail: eea-journal@icpe.ro
 internet: www.eea-journal.ro



ELECTRA
EDITURA

Contents

Pag.

Analiza armonicilor în curent ale unui convertizor de frecvență cu PWM pentru un motor asincron de medie tensiune (Current Harmonics Analysis of a PWM Variable Frequency Drive designed for a Medium Voltage Asynchronous Motor) (Full text in Romanian) Authors: Laurențiu CIUFU, Mihai Octavian POPESCU	07
Adaptive Backstepping Order of Asynchronous Monophased Machine (Full text in English) Authors: Mohammed ELMIR, Abderrahmane KECHICH, Brahim ZOU	15
Nonlinear Integral Backstepping Control for Induction Motor drive with Adaptive Speed Observer using Super Twisting Strategy (Full text in English) Authors: Mohamed HORCH, Abdelmadjid BOUMEDIENE, Lotfi BAGHLI	24
Noise and Vibrations of Switched Reluctance Machine Drives: Influence of Current Hysteresis Control (Full text in English) Authors: Yves MOLLET, Mathieu SARRAZIN, Herman VAN DER AUWERAER, Johan GYSELINCK	33
Heterostructure nanowires/amorphous thin-film for solar cells (Full text in English) Authors: Fatiha BENBEKHTI, Abdel Halim BENMANSOUR	42
The Nonlinear and Unbalanced Loads Quantitative Impact on the Neutral Conductor Current (Full text in English) Authors: Lucian PETRESCU, Emil CAZACU and Maria-Cătălina PETRESCU	48
A Swarm Algorithm Intelligent Optimization PSO in Power Network Real, West Algeria 220 kV (Full text in English) Authors: Youssef MOULOUDI, Mohammed Amine MEZIANE, Abdellah LAOUFI, Bousmaha BOUCHIBA, Othmane HARISI	55
Some Particular Aspects of Manufactured MEMS and their Reliability (Full text in English) Author: Titu-Marius I. BĂJENESCU	61
Closed-Loop Handling Performance Evaluations for Heavy-Duty Vehicles using Driver-in-the-Loop Simulations (Full text in English) Authors: Yiting KANG, Jinggao LIN, Jue YANG, Xuan ZHAO, Wenming ZHANG	70
Intelligent Control using Type-2 Fuzzy for Diagnosis of Inter-Turn Short Circuit Fault in PMSM (Full text in English) Authors: Amar BECHKAOU, Aissa AMEUR, Slimane BOURAS, Djamel TAIBI, Kahina OUAMRANE	79
Sursă de tensiune controlată cu frecvență extrem de joasă pentru studii microbiologice (Extremely Low Frequency Controlled Voltage Supply for Microbiological Studies) (Full text in Romanian) Authors: Daniel LIPCINSKI, Daniel LINGVAY, Elena RADU, Andreea VOINA	89
The Quality of the Prediction for the NVIS Propagation with ITS-HF Propagation (Full text in English) Authors: Iulian BOULEANU, Marius GHEORGHEVICI, Robert HELBET	97

Sensor Placement for Monitoring Systems Modelled by Bond Graph (Full text in English) Authors: Mounira BENALLEL, Hafid HAFFAF, Abdelmadjid MEGHEBBAR	105
Fragmentarea selectivă cu impulsuri de înaltă tensiune: o tehnologie de vârf (Selective Fragmentation by High Voltage Impulses - a Cutting-Edge Technology) (Full text in Romanian) Authors: Mihai BĂDIC, Jana PINTEA	117
Design of Quasi-Orthogonal STBCs with Full Rate and Full Diversity (Full text in English) Authors: Feng HU, Libiao JIN, Shufeng LI	128
Disturbance Observer based Approximate Linearization Control of Gun Launched MAV (Full text in English) Authors: Mohammed RIDA MOKHTARI, Amal CHOUKCHOU BRAHAM	133
The Effect of Error Transmission on Compressed Image using Vector Quantization with Different Codebooks (Full text in English) Authors: Iman ELAWADY, Abdelmounaim MOULAY LAKHDAR, Mohammed BELADGHAM, Yassine HABCHI, Abdesselam BASSOU	143
Experimental Validation of Travel Time Models for Multi Aisle Automated Storage and Retrieval System in Class-Based Storage (Full text in English) Authors: Amina OUHOUD, Amine GUEZZEN, Zaki SARI	150

MISCELLANEA SECTION

Mediul ambiant: obiectiv primordial pentru un viitor durabil (partea 2) (Environment: Primordial Condition for a Sustainable Future) (Part 2) (Full text in Romanian) Authors: Eugeniu Alexandru STERE, Ionel POPA	161
Implementation of a Neural Classifier on a FPGA-based Reconfigurable System of Cardiac Arrhythmias (Full text in English) Authors: Amel BABA HAMED, Hassane BECHAR, Mohammed Amine CHIKH	177

Fragmentarea selectivă cu impulsuri de înaltă tensiune: o tehnologie de vârf

(Selective Fragmentation by High Voltage Impulses - a Cutting-Edge Technology)

(Full text in Romanian)

Mihai BĂDIC¹, Jana PINTEA¹

¹INCIDIE-ICPE-CA, București, Romania

Abstract

In the context of global industrial development waste problem is becoming increasingly importunate. On the other hand, is looking for ways of becoming more advanced and efficient processing and recycling. The article deals with presenting a cutting-edge electro-technology - selective fragmentation by means of high voltage repetitive impulses - in the context of classical and other newer technologies. They describe theoretical and technical principles of this method, state of the art developments and also preliminary experiments in order to achieve an experimental model. Physical and mathematical model is based on solving second-order equation of classic oscillator and the experimental technique belongs to high voltages domain.

Keywords: fragmentation, impulse generator, high voltage, electrical and electronical waste

Received: October, 02, 2015

1. Introducere

O problemă acută și în același timp de perspectivă a civilizației moderne o constituie gestionarea, procesarea și, respectiv, reciclarea deșeurilor. Deșeurile au fost clasificate conform fig.1. [1].

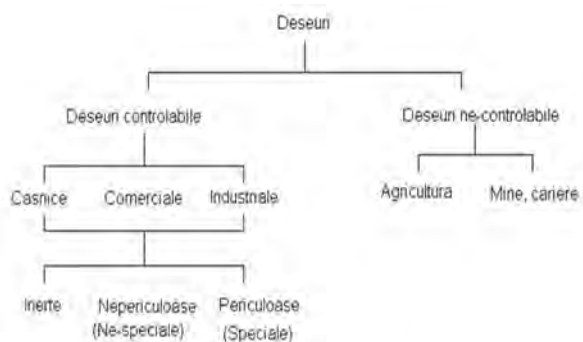


Figura 1. Clasificarea deșeurilor

Astfel, deșeurile industriale sunt parte dintr-o materie/material ce rezultă în urma unui proces tehnologic de realizare a unui produs și sunt neutilizabile în cadrul aceluiași proces.

Toate tipurile de deșeurii pun probleme de depozitare sau de estetică, dar sunt și o sursă de poluare ce amenință sănătatea oamenilor și a mediului înconjurător. Toate deșeurile degradează mediul înconjurător, contaminând, de exemplu, apele subterane (modul de depozitare face posibilă infiltrarea apei de ploaie, care antrenează substanțele poluante și germenii patogeni). Dezvoltarea industriei, de orice fel, a dus la creșterea cantității de

deșeurii, precum și la varietatea acestora.

Un exemplu, care poate ilustra atât cantitatea de deșeurii, cât și varietatea acestora, este cel al SUA unde, anual, iau drumul gunoierului 7 miliarde de cutii de conserve, 38 milioane de cauciucuri uzate, 7 milioane de televizoare scoase din uz, 7 milioane automobile uzate, 35 milioane de tone de hârtie, iar dintre aceste deșeurii doar hârtia este biodegradabilă, celelalte deșeurii fiind nedegradabile.

Pentru menținerea unui mediu de viață sănătos, deșeurile trebuie eliminate prin diferite metode sau reciclate. Pe plan mondial și național, se utilizează din ce în ce mai mult depozitarea deșeurilor în gropi ecologice realizate în afara marilor orașe. Prin diferite mijloace specifice, se izolează stratul de gunoier de sol pentru a evita contaminarea acestuia. Gropile de gunoier se acoperă apoi cu pământ, ceea ce ușurează și accelerează activitatea de descompunere. După un număr de ani, gropile ecologice devin terenuri apte de a fi transformate în parcuri, grădini etc.

Arderea deșeurilor este o soluție definitivă de înlăturare a acestora. Transformarea deșeurilor biodegradabile în compost este o altă metodă de reciclare, prin care aceste deșeurii devin îngrășământ natural.

Deșeurile menajere sunt reziduuri solide, colectate din locuințele populației și sunt constituite, în general, din hârtie, plastic, materiale textile, ceramică, metale, sticlă, ambalaje, baterii, anvelope, uleiuri și nu în ultimul rând resturi alimentare. Majoritatea

acestora sunt biodegradabile, dar recipientele de metal, aluminiu, plasticul și sticla se degradează după un interval de timp foarte mare.

De aceea, se impune ca aceste deșeuri să fie colectate, recuperate, reciclate și prelucrate pentru a face posibilă refolosirea lor. Ținând cont de caracterul limitat al resurselor naturale, reciclarea deșeurilor prezintă atât avantaje ecologice (înlătură poluarea mediului), cât și economice (economisirea de materii prime și energie).

Deșeurile care se valorifică parțial sau integral sunt metalele feroase, neferoase și prețioase, deșeurile chimice (deșeurile din cauciuc), deșeurile din hârtie, textile, sticlă.

De exemplu, numai prin reintroducerea în procesul de fabricație a cioburilor de sticlă se pot obține 20 % reduceri la consumul de energie, 10 % reduceri de combustibil, 50 % reducerea costului de materii prime (nisip de cuarț, piatră de var, carbonat de sodiu și alte materiale auxiliare), iar prin reciclarea unei cutii de aluminiu se economisește aproximativ 95 % din energia necesară pentru producerea aceleiași cutii din materii prime.

Prin urmare, principalele operațiuni de gestionare a deșeurilor pe plan mondial sunt reciclarea și recuperarea deșeurilor, iar utilizarea depozitelor de deșeuri fiind din ce în ce mai redusă. Asta înseamnă că au apărut industrii puternice de gestionare și reciclarea deșeurilor, care au în prezent o cifră de afaceri de aproximativ 137 miliarde de euro, ceea ce înseamnă puțin peste 1,1 % din produsul intern brut al Uniunii Europene și mai înseamnă, de asemenea, peste 2 milioane de locuri de muncă.

2. Legislația europeană și națională privind deșeurile. Procesarea și gestionarea lor

Politica UE referitoare la deșeuri, urmărește, utilizarea acestora pe cât posibil ca materii prime în obținerea de noi produse. De asemenea, prin reciclare, se realizează și o economie de energie. UE a stabilit ținte de reciclare pentru multe tipuri de deșeuri, inclusiv vehicule vechi, echipamente electronice, baterii și ambalaje, deșeuri municipale și deșeuri provenite din construcții și demolări.

Statele membre se străduiesc să pună în aplicare sisteme pentru a asigura îndeplinirea acestor obiective. Aceste sisteme includ responsabilitatea extinsă a producătorilor, atribuind acestora responsabilitatea pentru întregul ciclu de viață al produselor și pentru

ambalajele pe care le produc, inclusiv ultima etapa a ciclului de viață atunci când acestea devin deșeuri.

De asemenea, persoanele fizice joacă un rol foarte important în multe state membre, localnicii fiind îndemnați să separe deșeurile pe diferite tipuri de materiale (sticlă, hârtie, plastic, metal, deșeuri de grădină și altele). Această abordare ajută la obținerea unei înalte calități posibile a materialelor la finalul procesului de reciclare, maximizând valoarea materialelor și crescând numărul de produse care pot fi realizate din acestea.

În Uniunea Europeană, s-a creat un cadru legislativ ce urmărește reducerea efectelor negative asupra mediului și a sănătății și crearea unei economii eficiente din punct de vedere al resurselor și energiei.

Obiectivul principal al celui de-al șaselea Program de Acțiune pentru Mediu al UE (2002-2012) este de a se asigura că actuala creștere economică nu va conduce la generarea a tot mai multe deșeuri. Acest lucru a condus la dezvoltarea unei strategii pe termen lung. *Strategia Tematică privind Prevenirea și Reciclarea Deșeurilor* elaborată în 2005 a dus la revizuirea Directivei cadru privind Deșeurile [2].

Noua directivă-cadru, Directiva 2008/98/CE privind deșeurile, se concentrează atât asupra prevenirii producerii de deșeuri, a reducerii impactului asociat al acestora asupra mediului, cât și asupra creșterii capacității de recuperare și a eficienței utilizării acestora. De asemenea, stabilește noi obiective ce vor ajuta UE avansarea spre obiectivul ei, acela de a deveni o societate a reciclării. Aceasta include ținte de reciclare a 50 % din deșeurile municipale pentru statele membre UE și a 70 % din deșeurile din construcții, până în 2020.

Conform cerințelor legislației Uniunii Europene, documentele strategice naționale de gestionare a deșeurilor, cuprind două componente principale:

- Strategia Națională de Gestionare a Deșeurilor (SNGD) este cadrul ce stabilește obiectivele României în domeniul gestionării deșeurilor;
- Planul Național de Gestionare a Deșeurilor (PNGD) reprezintă planul de implementare a strategiei și conține detalii referitoare la acțiunile ce trebuie întreprinse pentru îndeplinirea obiectivelor strategiei, la modul de desfășurare a acestor acțiuni, inclusiv termene și responsabilități.

Strategia Națională de Gestionare a Deșeurilor și Planul Național de Gestionare a Deșeurilor au fost elaborate de Ministerul Mediului și Dezvoltării Durabile, în conformitate cu responsabilitățile ce îi revin, ca urmare a transpunerii legislației europene în domeniul gestionării deșeurilor și conform prevederilor *Ordonanței de Urgență a Guvernului nr. 78/2000 privind regimul deșeurilor, cu completările și modificările ulterioare*.

Elaborarea Strategiei Naționale și a Planului Național de Gestionare a Deșeurilor a avut drept scop crearea cadrului necesar pentru dezvoltarea și implementarea unui sistem integrat de gestionare a deșeurilor, eficient din punct de vedere ecologic și economic.

3. Problematica gestionării deșeurilor

Principiile generale ale gestionării deșeurilor sunt concentrate în așa-numita „ierarhie a gestionării deșeurilor” (fig. 2.).

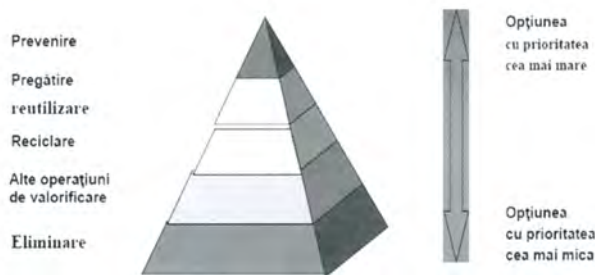


Figura 2. Ierarhia opțiunilor de gestionare a deșeurilor [3]

Principalele priorități sunt prevenirea producției de deșeuri și reducerea nocivității lor. Când nu se poate realiza nici una nici alta, deșeurile trebuie reutilizate, reciclate sau folosite ca sursă de energie (prin incinerare). În ultimă instanță, deșeurile trebuie eliminate în condiții de siguranță.

Strategia tematică a UE privind utilizarea durabilă a resurselor naturale ia în considerare tot ciclul de viață al unui produs și caută să se evite mutarea impactului de la o etapă la alta a vieții produsului și dintr-un loc în altul sau dintr-un mediu în altul. Impactul asupra mediului este luat în considerare de-a lungul întregului ciclu de viață al produselor și al serviciilor, pentru a evita sau a minimiza deplasarea sarcinii de mediu între diferitele faze ale ciclului de viață și de la o fază la alta.

Un sistem de gestionare și management a produselor la ieșirea din uz, care să ducă la o reciclare totală a acestora, presupune mai multe etape (fig. 3)

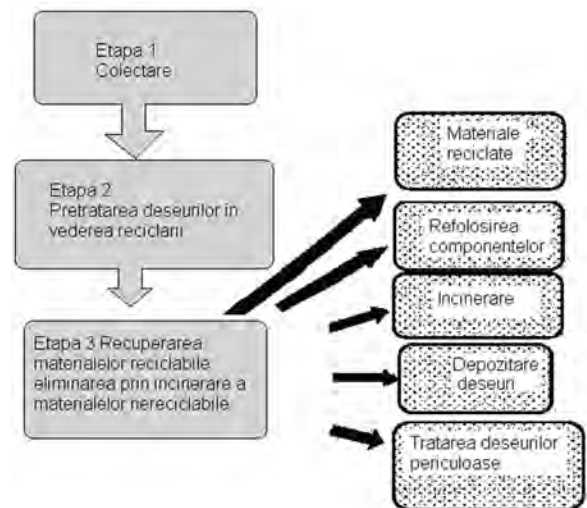


Figura 3. Etapele procesului de reciclare a produselor ieșite din uz [4]

Prima etapă se referă la colectarea și preluarea produsului devenit deșeu.

A doua etapă se efectuează de către companiile specializate de reciclare și are drept scop o sortare și o pre-tratare a acestor deșeuri în vederea reciclării. Această etapă poate include tehnici diferite, variind de la demontarea manuală pentru procesarea pre-mecanică și chimică, sortarea și separarea diferitelor componente. Materialele non-reciclabile pot fi utilizate pentru producerea de energie, prin incinerare sau vor fi depozitate în depozitele de deșeuri.

În a treia etapă, prin reciclarea propriu-zisă a materialelor provenite din deșeuri, acestea sunt dirijate spre diferite procese de reciclare și valorificare [4].

Prima etapă de colectare se produce întotdeauna la nivel local. Colectarea și transportul deșeurilor și al materialelor reciclabile reprezintă o componentă importantă de gestionare a deșeurilor, deși aceasta este de cele mai multe ori subevaluată. Această etapă reprezintă între 60 % și 80 % din costul total de gestionare a deșeurilor și materialelor reciclabile; de aceea orice îmbunătățire adusă acestei componente poate reduce mult acest cost.

A doua etapă, pre-tratarea, se poate face la nivel local sau la nivel regional, în funcție de disponibilitatea de reciclare și facilitățile existente.

O parte din a treia etapă implică, de obicei, tehnici speciale (de exemplu, procesul de rafinare de metale prețioase sau metale de tipul pământurilor rare). Din acest motiv, etapa a treia se poate realiza în mod corespunzător numai la nivel național sau chiar internațional.

Această etapă poate genera un profit prin vânzarea materialelor recuperate sau din reutilizarea unor componente pentru producerea de noi produse.

Din punct de vedere economic, incinerarea materiilor reziduale pentru generarea de energie este de obicei o activitate cu profit zero, dar aceasta este recomandată în anumite situații, deoarece depozitarea sau tratamentul deșeurilor periculoase de materiale care nu pot fi reciclate va genera costuri.

4. Sortarea și clasarea deșeurilor

Sortarea reprezintă procesul de separare și clasare a deșeurilor în funcție de diferențele dintre caracteristicile lor fizice. Sortarea poate avea loc manual sau mecanic.

O primă sortare este sortarea dimensională. Aceasta se poate face, de exemplu, cu ajutorul unor site tambur și site de vibrație. Sortarea densimetrică este o metoda de clasificare ce se bazează pe echivalența specifică a materialelor asemănătoare într-un curent de aer ascendent. Acest proces se numește clasare. Echivalența înseamnă că particule cu aceleași proprietăți vor atinge aceeași viteză, aceeași traiectorie și respectiv aceeași viteză de cădere. Separarea se realizează în funcție de viteza de cădere a particulelor. Viteza de cădere depinde de forma și greutatea specifică a fiecărui material.

O serie de instalații cu funcționare pe baza curentului de aer au fost testate în Uniunea Europeană. Dintre acestea menționăm separatorul rotativ cu curent de aer și separatorul magnetic.

În afara procedeelor mecanice pentru sortare, clasare, compactare, există numeroase alte metode bazate pe procedee mecanice /hidraulice și chimice, pentru fragmentarea, respectiv reciclarea deșeurilor (separarea pe bază de formă sau densitate etc.). Toate acestea pot fi considerate procedee clasice.

În clasa procedeelor noi pentru dezasamblarea ecologică a deșeurilor, putem include cel puțin trei metode ce pot fi folosite distinct sau combinat:

- separarea electrostatică prin efect corona;
- separarea cu ajutorul microundelor;
- fragmentarea selectivă cu impulsuri repetitive de înaltă tensiune.

Metodele noi s-au afirmat în ultimul timp, pentru că cele clasice prezintă inconveniente fie sunt mari consumatoare de energie, fie au un impact asupra mediului prin emisii toxice

(lichide, gaze).

Totuși, nu este exclus ca procedeele noi să lucreze în tandem cu procedeele clasice pentru mărirea productivității/rendamentului.

Separarea electrostatică prin efect corona se bazează pe efectul combinat al forțelor electrice și mecanice [5].

Particulele de metal și nemetal sunt supuse unui câmp datorat inducției electrostatice și, respectiv, bombardate cu ioni (sarcina corona) (fig. 4).

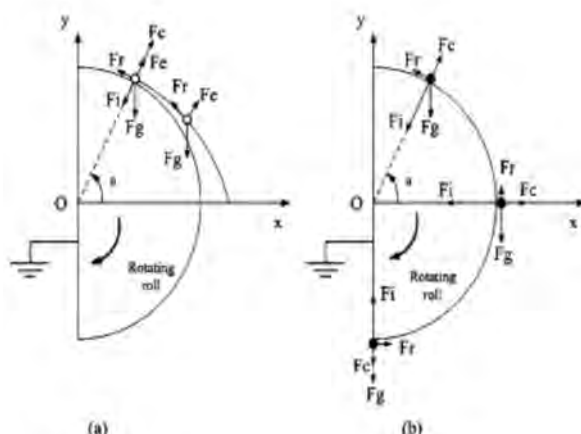


Figura 4. Particule de metal (a) și nemetalice (b) pe rola rotativă [5]

Legenda: F_r (forța de frecare a aerului), F_e (forța electrostatică), F_c (forța centrifugă), F_g (forța gravitațională), F_i (forța de câmp electric)

Particulele de metal se descarcă rapid pe electrodul de împământare și se detașează de rola rotativă sub acțiunea forțelor mecanice și electrice ce se exercită pentru a satisface condiția (vezi fig. 4a):

$$F_g \sin(\theta) = F_e + F_c - F_i \quad (1)$$

unde:

F_i este forța de câmp electric,

F_g este forța gravitațională a particulei; F_e este forța electrostatică;

F_c este forța centrifugă.

Particulele nemetalice sunt fixate pe rola rotativă, asupra lor acționând forțele (vezi fig. 4b):

$$F_i \geq F_g + F_c \quad (2)$$

Particula se va deplasa odată cu rola rotativă și, în final, va cădea în tancul de colectare. Forțele de câmp electric acționează diferit asupra celor două tipuri de particule, astfel realizându-se separarea lor. Suprafața electrică vibratoare asigură doar un strat de material granular pe suprafața rolei rotative (electrodul de împământare).

Metoda bazată pe microunde folosește astfel câmpul de radiofrecvență de mare putere pentru topirea accelerată, într-un timp foarte scurt, a deșeurilor electrice și electronice, încât materia organică este arsă (în cea mai mare parte transformată în gaze și prelucrate ulterior pentru a nu fi toxice), zgura obținută fiind procesată prin alte metode specifice pentru a realiza dezideratul separării selective a metalelor.

Metoda fragmentării selective cu impulsuri repetitive de înaltă tensiune se bazează oarecum pe o metodă mai veche de fragmentare a materialelor solide cu ajutorul impulsurilor electrice de mare putere (aplicații în minerit, demolări, geologie, etc.). Metoda fragmentării cu impulsuri electrice admite două principii de funcționare (fig. 5.).

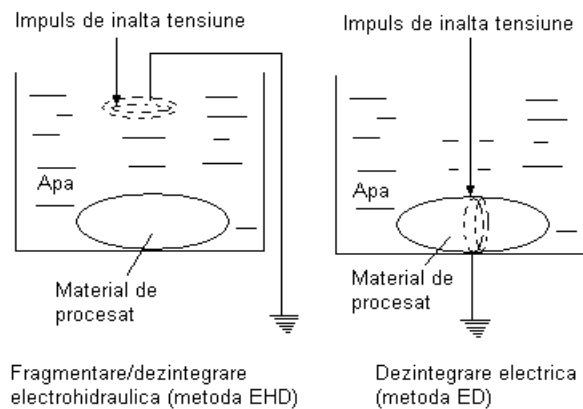


Figura 5. Comparatie între metoda EHD și metoda ED

Pentru ca fragmentarea să admită atributul de *selectivă*, este necesar ca impulsurile de înaltă tensiune și respectiv de mare putere să fie repetitive și să aibă o anumită formă.

Această din urmă caracteristică se traduce prin existența unui *rise time* mai scurt decât 500 ns, performanță destul de greu de atins în practică. Aceste impulsuri se aplică într-un mediu dielectric (apă deionizată, ulei), fără ca electrodul să aibă contact direct cu masa solidă supusă procesării. În urma descărcărilor electrice și a creării unor canale de plasmă, iau naștere fenomene electrice, chimice și mecanice care conduc la fragmentarea materialului solid, preponderent după suprafețele de separație dintre componente. Procesul necesită aplicarea unor trenuri de impulsuri de ordinul sutelor, cu parametri specifici.

Deși nu s-a afirmat suficient din punct de vedere comercial, ea este de departe cea mai performantă metodă, cel puțin din punct de vedere al calității separării selective.

5. Fragmentarea electrică selectivă

Deoarece metoda separării prin descărcare corona nu dă rezultate mulțumitoare, în ultimii ani, a crescut interesul pentru aplicarea metodei prin impulsuri de înaltă tensiune la dezasamblarea plăcilor de circuit imprimat și/sau pentru recuperarea metalelor din zgura rezultată prin arderea gunoiului menajer. Comparativ cu metoda citată anterior, aceasta din urmă oferă avantaje net superioare, fiind superioară și metodei clasice de separare mecanică.

Metodele de dezasamblare selectivă a deșeurilor electrice devin din ce în ce mai necesare deoarece, de exemplu, rata medie de creștere pe plan internațional a producției de circuite imprimate este de cca. 8,7 %, ceva mai mare în sud-estul Asiei (10,8 %), respectiv China cu 14,4 %. În China, valoarea totală a producției de plăci de circuit imprimat (PCB) depășește 10 Mld dolari.

În momentul de față, una dintre cele mai utilizate metode de procesare a deșeurilor pe care le generează în timp această industrie este, așa cum am arătat, metoda chimică care presupune procese precum piroliza, combustia, hidratarea și electroliza. Însă toate aceste procese sunt la rândul lor, generatoare de poluare.

Metodele mecanice la rândul lor, chiar dacă implică un grad mai redus de poluare, nu sunt foarte eficiente sau, în cel mai bun caz, se recomandă ca metode complementare.

Deșeurile PCB sunt, în mod uzual, alcătuite din fibre de sticlă, rășini epoxidice și multe metale din care majoritar este cuprul. Această compoziție se pretează foarte bine metodelor de dezasamblare selectivă prin impulsuri de înaltă tensiune.

Pentru procesare, în mod normal plăcile de PCB se taie în bucăți cu o suprafață în jur de 100 cm² ce se introduc în tancul de reacție al instalației.

Spre deosebire de alte tipuri de fragmentare cu impulsuri electrice de înaltă tensiune/mare putere, fragmentarea selectivă necesită caracteristici speciale ale impulsului, în special în ceea ce privește timpul de creștere (*rise time*).

Astfel, așa cum se observă din fig. 6., pentru ca descărcarea să se producă preponderent prin solid și nu prin mediul dielectric (apă sau ulei), este necesar ca timpul de creștere să fie mai mic de 500 ns.

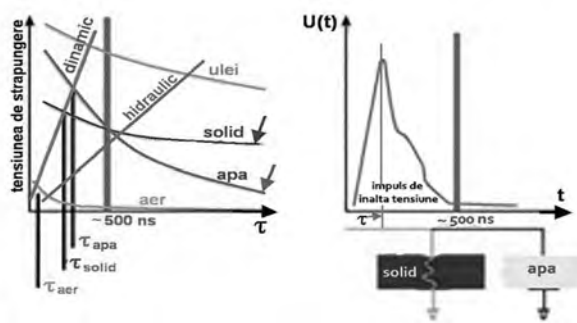


Figura 6. Fenomenologia fragmentării selective cu impulsuri de înaltă tensiune și rezistența la strângere pentru diferite materiale în funcție de timpul de creștere al impulsului

Valoarea tensiunii maxime a impulsurilor repetitive se găsește în intervalul 150 kV-500 kV. Peste această tensiune încep să apară probleme restrictive privind izolația.

Schema-bloc a instalației se poate urmări în fig. 7.

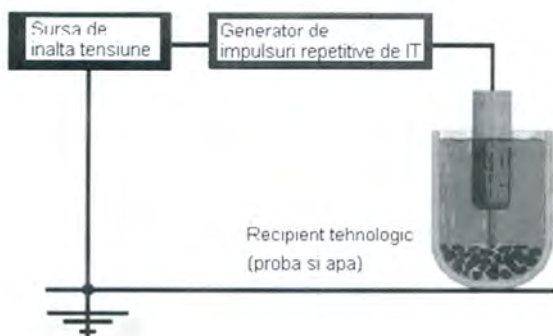


Figura 7. Reprezentarea principiului de fragmentare selectivă, cu ajutorul impulsurilor repetabile de înaltă tensiune

Ea cuprinde sursa de înaltă tensiune și relativ mare putere ce asigură încărcarea condensatorilor, generatorul de impulsuri repetitive cu timp de creștere corespunzător și recipientul de procesare în care se află mediul dielectric (apă, ulei, etc.), respectiv materialul de procesat.

În faza inițială a descărcării, a formării canalului, datorită coliziunilor, asistăm la o creștere a temperaturii și a presiunii mediului, (presiune de 10^2 MPa- 10^3 MPa, și temperatură de până la 10^4 K) [6].

Inițial, canalul de descărcare format are o lățime de numai câteva zeci de micrometri.

Temperatura înaltă și presiunea mare a canalului de descărcare, generează o forță de expansiune mai mare decât forța de legătură dintre cupru și rășina epoxidică, de exemplu, sau dintre forța de la interfața dintre sticlă și rășină, producând fisuri.

Fisurile produse la fiecare descărcare în materialele casante sunt pe o rază de 3 mm în jurul canalului de descărcare [6]. Fisurile generate la interfață, sau cele care se extind către interfață ramificându-se, separă de pe placa de circuit, metalele, adică cuprul de rășina epoxidică și/sau sticla de rășina epoxidică.

Conform studiilor, în timpul cuprins între impulsurile HV aplicate plăcii PCB, o parte din energie este eliberată sub formă de energie cinetică. Energia cinetică acționează pe canalul de descărcare sub formă de forțe de câmp electric, electromotoare, fluidice și mecanice [7].

Lucrările experimentale efectuate, sugerează că temperatura înaltă și presiunea mediului din canalul de descărcare, pirolizează și ionizează rășina epoxidică în canale de plasmă. Mai mult, temperatura înaltă descompune rășina epoxidică și produce mici molecule de gaz, conducând la o creștere rapidă a presiunii în canalele de plasmă. Suplimentar, canalele de plasmă suferă tensiuni din cauza reacțiilor chimice dintre cupru și rășina epoxidică, deoarece aria transversală a canalului de descărcare este foarte mică în starea inițială, iar presiunea din interiorul canalului de descărcare este foarte mare. În timpul generării plasmei, plasma din interiorul canalului de descărcare prezintă o rezistență mare, generând la rândul ei o undă de șoc. Unda de compresie dintre folia de cupru și rășina epoxidică și/sau fibra de sticlă și rășina epoxidică, din cauza impedanțelor acustice diferite generează unde de tracțiune prin reflexie și refracție ce cauzează și mai mult mărirea fisurilor în lungul interfeței dintre cupru și rășina epoxidică și/sau fibra de sticlă și rășina epoxidică, separând sau disociind complet diferitele componente ale PCB.

Mai mult, sub efectul undei de tracțiune, fisurile existente în PCB continuă să crească până la ruperea PCB, sau se combină cu alte fisuri pentru continuarea propagării.

În plus, sub acțiunea câmpului electric extern, dielectricul (rășina epoxidică, fibra de sticlă) se deformează proporțional cu pătratul intensității câmpului electric (efectul electrostrictiv). Acest efect poate ajuta în continuare la disocierea dintre cupru și rășina epoxidică și/sau fibra de sticlă și rășina epoxidică.

La trecerea energiei electrice prin canalele de descărcare, se generează și energie termică,

pe lângă energia cinetică și energia electromagnetică. Aceasta produce, la rândul ei, unde de șoc cu densitate de energie mare, dar produce și o încălzire a mediului. Temperatura canalului poate fi de ordinul a 10^4 K. Prin urmare, unele materiale din apropierea canalului de descărcare se topesc parțial. În același timp, o parte din energia termică este pierdută prin radiație și conducție.

În comparație cu sfărâmarea mecanică a PCB-urilor, temperatura mare a mediului duce la topirea și pirolizarea rășinii epoxidice prin impulsuri HV. Gazele de piroliză, H_2 , CH_4 și CO [8] formează multe cavități pe suprafața topită a rășinii epoxidice și pot difuza rapid în fisuri punând presiune pe pereții fisurilor, mărindu-le astfel secțiunea. Pe de altă parte, temperatura mare din canalul de descărcare este suficientă pentru a topi cuprul de pe placă. Cuprul din apropierea canalului de descărcare se topește sub acțiunea temperaturii mari, promovând în continuare disocierea metalului și nemetalului de pe placă. Așa cum era de așteptat, cuprul topit se resolidifică la finalul descărcării. O altă aplicație a fragmentării selective este cea referitoare la zgura rezultată de la incineratoarele municipale de gunoi menajer.

Această zgură conține componente de natură organică, minerală precum și metale. Astfel, recuperarea metalelor se poate face fără a mai fi necesară măcinarea zgurii, respectiv obținerea unei pulberi fine.

După fragmentarea selectivă se pot aplica procedee de sortare densitometrică, respectiv separarea magnetică în vederea definitivării procesului de recuperare a metalelor feroase și neferoase.

6. Producători de utilaje pe piața internațională

Distrugerea materialelor solide prin descărcări electrice în impulsuri, numită uneori „fragmentare electrodinamică”, a fost investigată pentru prima dată la începutul anilor '60 în fosta Uniune Sovietică, la Universitatea Politehnică din Tomsk [9]. În principal, s-a urmărit aplicarea acestei tehnologii la dezintegrarea rocilor pentru obținerea unei producții mai mari de minerale și cristale prețioase, păstrând forma și dimensiunile originale.

Tot la Universitatea Politehnică din Tomsk, s-a descoperit pentru prima dată efectul de

creștere a rezistenței la străpungere a apei față de cea a materialului solid imersat în apă în cazul aplicării unor impulsuri cu timpi de creștere mici [10].

La AWE (Atomic Weapons Establishment) din Aldermaston (UK), acest efect a fost folosit la proiectarea liniilor de formare a impulsurilor de mare putere, de impedanță mică, cu apă drept dielectric [11].

În 1995, Centrul German de Cercetări din Karlsruhe (Forschungszentrum Karlsruhe, FZK) (Germania) s-a angajat într-un program de cercetare & dezvoltare de anvergură pentru a explora posibilele aplicații industriale ale fragmentării selective. De atunci, FZK a construit câteva instalații pilot (FRANKA 0, FRANKA 1, FRANKA 2 numit și FRANKA-Stein) și a investigat fragmentarea multor materiale din domeniul mineralogiei, materiilor prime și compozitelor. FZK a demonstrat avantajele în comparație cu fragmentarea mecanică și marele potențial de comercializare al acestei tehnologii [10] [12].

Acum, grupul Ammann (Ammann-Group) (Elveția) produce, sub licență globală a FZK, această tehnologie patentată, disponibilă în comerț. Echipamentele realizate de Ammann-Group sunt cunoscute sub denumirea de SelFrag Lab și au următoarele domenii de aplicație:

- Cercetare academică în domeniul geostiinței;
- Explorarea așezărilor miniere;
- Analiza compoziției materiilor prime;
- Analiza și recuperarea metalelor din deșeuri ca materii prime secundare.

7. Parametrii cunoscuți ai instalațiilor pentru dezasamblarea selectivă a deșeurilor cu ajutorul impulsurilor de înaltă tensiune

Așa cum am arătat, dezvoltarea conceptuală și experimentală privind fragmentarea selectivă cu ajutorul impulsurilor electrice de înaltă tensiune/mare putere s-a desfășurat în principal pe 4 direcții:

- școala de la Tomsk
- școala de la Karlsruhe
- compania selFrag AG Elveția.
- contribuții ale cercetătorilor din Canada și Marea Britanie.

Ținând seama de articolele și documentațiile emergente din cele patru surse menționate se pot comunica parametrii de bază ai unei astfel de instalații (Tabelul 1).

Tabelul 1. Parametrii de bază ai unei instalații de fragmentare selectivă cu ajutorul impulsurilor de înaltă tensiune

Parametru	Valoare	Observație
Tensiunea maximă (de vârf) a impulsurilor	150 kV-500 kV	Tipic 200 kV; peste 500 kV costurile cu izolația devin prohibitive
Frecvența de repetiție a impulsurilor	1 Hz-45 Hz	Tipic 5 Hz-10 Hz
Durata unui impuls	<5 μ s	-
Energia unui impuls	0.8 kJ-20kJ	Tipic 5 kJ (de exemplu 7 kJ-19 kJ pentru procesarea betonului)
Puterea instalației	3 kVA-15 kVA	Tipic 12 kVA (<i>selFrag</i>)
Timp de creștere al impulsului	<500 ns	Tipic 300 ns
Valoarea condensatorului de stocare a energiei	1 nF-100 nF	Tipic 20 nF
Distanța dintre electrod și obiect	1 mm-120 mm	Tipic 5 mm
Volumul tancului de procesare	2 dm-5 dm ³	Tipic 3 dm ³
Volumul materialului de procesat.	cca 1 dm ³	-

Vasul/tancul de procesare este umplut cu un mediu lichid care poate fi apă, apă deionizată, ulei sau alt lichid dielectric. Procesul are loc în regim închis, deschis sau etanș, în funcție de aplicație.

8. Analiza critică

Pentru producerea impulsurilor repetitive de înaltă tensiune/mare putere se folosesc mai multe soluții constructive, fiecare având caracteristici tehnice ce prezintă avantaje /dezavantaje în raport cu scopul propus:

- soluții constructive derivate din schema clasică a generatoarelor de impuls de tensiune - generatoare de tip Marx;
- soluții constructive derivate din schema clasică a generatorului de impuls de curent;
- scheme de producere a impulsurilor cu transformator și element de comutație de tip tiristor/tiratron;
- montaje electronice având la bază elemente de amplificare/comutație moderne (IGCT - *Integrated Gate-Comutated Thyristor*, IGBT - *Insulated Gate Bipolar Transistor*).

Generatorul de impuls de curent - schema echivalentă pentru generatorul de impuls de tensiune (în speță, generatorul de tip Marx) este în esență schema de descărcare a unui condensator, într-un circuit RC/RLC, în diferite configurații. Din acest punct de vedere, schema echivalentă a generatorului de impuls de curent este în esență aceeași, cu observația că, în acest caz, se consideră descărcarea condensatorului într-un circuit RL. Diferența de concepție este justificată prin faptul că inductivitatea circuitului joacă un rol determinant în stabilirea pantei (*rise time*) impulsului de curent, în timp ce capacitatea

circuitului de descărcare este nesemnificativă (impedanța capacitivă este mult mai mare în raport cu rezistența de sarcină).

Schema principală tipică a generatoarelor de impuls de curent este de tipul RLC serie (fig. 8.).

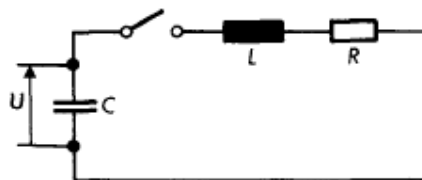


Figura 8. Principiul generatorului de impuls de curent

Schema are următoarele ecuații de funcționare:

- pentru rezistența liniară:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = U \quad (3)$$

- pentru rezistența neliniară:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt + ki^\alpha = U \quad (4)$$

În ecuația (4), $ki^\alpha = U_r$ este căderea de tensiune pe rezistența neliniară, ecuația (4) reprezentând aplicația specifică a generatorului de impuls de curent pentru testarea varistoarelor /descărcătoarelor cu oxizi metalici (ZnO).

Din ecuația (3), după diferențiere și rearanjare, obținem ecuația omogenă:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{1}{LC} i = 0 \quad (5)$$

Această ecuație are 3 tipuri de soluții care corespund celor 3 condiții principale ale descărcării în impuls, determinate de valoarea termenului $R^2 - 4L/C$.

Dacă valoarea rezistenței R este aleasă astfel, încât termenul respectiv să se anuleze ($R^2 = 4L/C$), atunci impulsul/oscilația este amortizată critic (*damped*).

Pentru o valoare mai mare a rezistenței, termenul devine pozitiv și oscilația este supra-amortizată (*over-damped*), în timp ce pentru o valoare mai mică a rezistenței, termenul este negativ și oscilația este sub-amortizată (*under-damped*).

În practică, regimul amortizat critic este exclus, deoarece nu vom putea avea o egalitate perfectă $R^2 = 4L/C$. În consecință, vom avea următoarele echivalențe:

- regim supra-amortizat = regim aperiodic
 $R^2 - 4L/C > 0$;
- regim sub-amortizat = regim armonic amortizat
 $R^2 - 4L/C < 0$.

Generatoare de impuls cu transformator și element de comutație de tip tiristor /tiratron. Schema de principiu a unui astfel de generator este prezentată în fig. 9 [13].

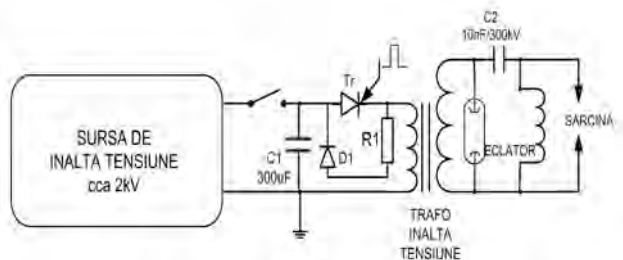


Figura 9. Schema de principiu a generatorului de impuls cu transformator și element de comutație

Echipamentul este format din mai multe blocuri funcționale:

- modulul de joasă tensiune;
- modulul de înaltă tensiune;
- linia coaxială;
- camera de procesare;
- sistemul de control.

Modulul de joasă tensiune cuprinde un capacitor, C_1 , de 300 μ F (12 condensatori conectați în paralel) și un element de comutație (tiristor). Tensiunea maximă de

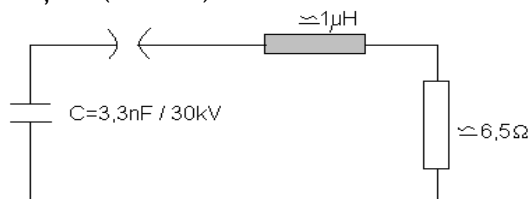


Figura 10. Configurația serie-paralel a condensatorilor ceramici de înaltă tensiune

încărcare este de 2 kV, energia stocată putând atinge 600 J. Sursa de cc (2 kV/8 kJ/s) asigură încărcarea condensatorului C_1 în cca 80 μ s.

Modulul de înaltă tensiune cuprinde, în principal, transformatorul de impuls de înaltă tensiune, condensatorul de stocare, C_2 , (asamblat, de exemplu, din 384 condensatoare ceramice de 1,7 nF/50 kV) cu valoarea de cca 10 nF/300 kV. Acest bloc este caracterizat de o energie stocată de cca 500 J, tensiunea de ieșire maximă de 300 kV și *rise time* $\approx$ 50 ns. Amplitudinea curentului pe o sarcină de 40 Ω este de cca 6 kA, respectiv 20 kA, în regim tipic de funcționare. Tr este un tiristor rapid (TB-353 A-1000 A-1800 V), iar dioda D_1 (DCH-353 A-800 A-3600 V) împreună cu $R_1 = 0,08 \Omega$ asigură supresarea alternanței inverse.

Modul de funcționare al generatorului prezentat mai sus, presupune triggerarea tiristorului, respectiv descărcarea condensatorului C_1 , în primarul transformatorului de impuls, adică transferul energiei electrice de pe C_1 pe C_2 ce se va încărca la aproximativ 300 kV în cca 80 μ s. Amplitudinea impulsului de curent (JT) este de aproximativ 11 kA cu o durată de cca 85 μ s. Când tensiunea la bornele lui C_2 atinge valoarea tensiunii disruptive a eclatorului, acest condensator (C_2) se va descărca în circuitul respectiv și va da naștere impulsului util, cu parametrii precizați mai sus.

9. Rezultate

S-au realizat experimentări preliminare, pentru a verifica posibilitatea obținerii unor impulsuri de curent cu timpi de vârf, respectiv timpi de front cu o valoare mai mică de 500 ns. S-a urmărit, de asemenea, validarea calculelor teoretice prin măsurători efective într-un circuit RLC.

În fig. 10 și fig. 11, se arată configurația serie-paralel corespunzătoare condensatorilor ceramici de înaltă tensiune și se dau valorile parametrilor RLC, folosiți în cadrul experimentelor.



Figura 11. Dispunerea condensatorilor ceramici în montaj serie-paralel

Configurația respectivă a urmărit obținerea unei tensiuni mărite de lucru (30kV) simultan cu păstrarea unei valori relativ ridicate pentru capacitate.

În oscilogramele din fig. 12., se arată

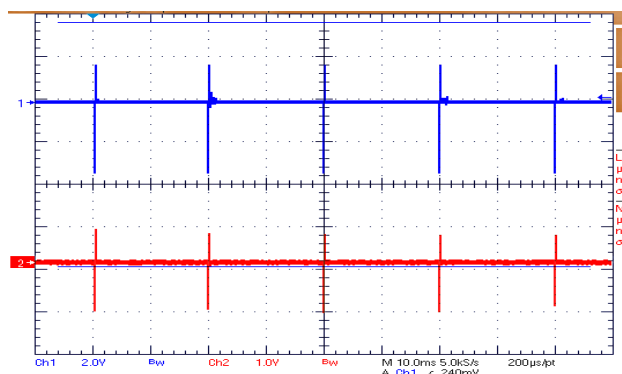
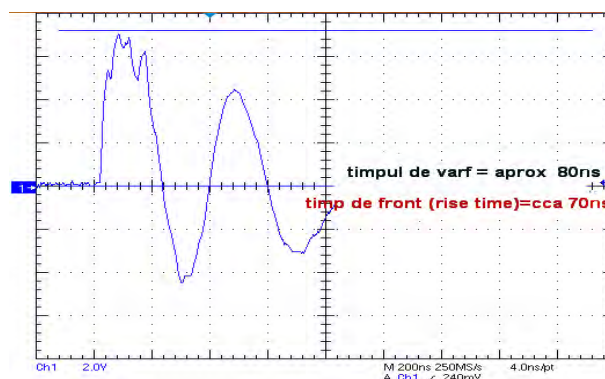


Figura 12. Oscilogramе obținute cu montajul din fig. 10

Există o foarte bună concordanță între calculele teoretice care dau un timp de vârf de 80,869 ns, respectiv valoarea timpului de vârf al regimului armonic amortizat obținut în cadrul experimentului (aprox. 80 ns). Valoarea de vârf a tensiunii măsurate cu sonda de înaltă

obținerea impulsurilor de curent repetitive, respectiv oscilograma unei descărcări corespunzătoare unui impuls cu evaluarea timpului de vârf și a timpului de front.



tensiune este de cca 7 kV pe o rezistență neinductivă de 5 ohmi.

S-a realizat, de asemenea, un al doilea set de experimente cu un generator de impuls cu elemente de comutație (tiratron) obținându-se oscilogramele prezentate în figura 13.

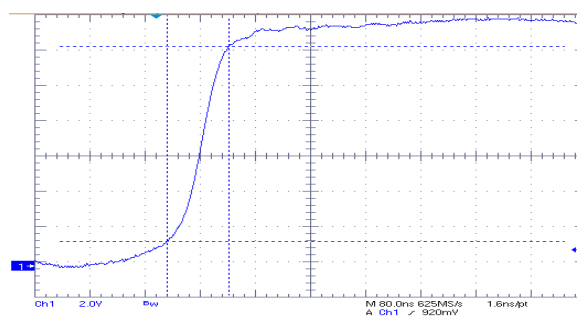
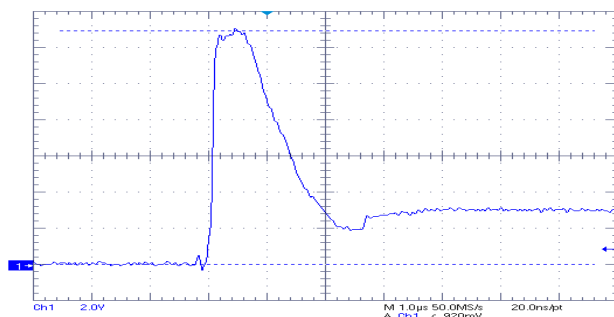


Figura 13. Demonstrarea obținerii timpului de creștere (rise time) cel mai scurt (89,6 ns)

Se observă că și în acest caz s-au obținut timpi de front foarte mici (aprox. 89,6 ns).

10. Concluzii

Analiza critică a soluțiilor actuale privind dezasamblarea selectivă a deșeurilor cu ajutorul impulsurilor electrice de înaltă tensiune, pe de o parte, a urmărit să demonstreze necesitatea studierii și a promovării unor metode moderne de procesare a deșeurilor, inclusiv cele menajere, considerând aici și recuperarea metalelor (inclusiv metale prețioase și metale grele/toxice), iar pe de altă parte, să stabilească soluția optimă din punct de vedere electric pentru schema de principiu a generatorului de impulsuri repetitive, dedicat

aplicației ce face obiectul prezentului studiu.

Așa cum am arătat, au fost luate în considerație toate cele patru scheme principale de producere a impulsurilor de înaltă tensiune /mare putere.

În urma analizei, au fost eliminate soluțiile corespunzătoare generatorului de impuls de tensiune de tip Marx și generatorul de impuls cu elemente de comutație solid state moderne (IGBT, IGCT etc.).

Generatorul de tip Marx, deși se utilizează pentru fragmentarea materialelor solide în unele centre de cercetări, nu este cel mai adecvat pentru metoda EHD, deoarece, pe de o parte, el se folosește preponderent pentru tensiuni mai mari de 2-300 kV, iar pe altă

parte, concepția etajelor multiple presupune inductivități prea mari pentru un impuls cu *rise-time* mai mic de 500ns (tipic 300 ns).

Generatoarele cu IGBT, IGCT etc. nu pot atinge tensiuni de comutație de ordinul sutelor de kV și, chiar dacă acest lucru ar fi posibil, schemele electronice de principiu sunt extrem de complexe.

11. Acknowledgement

This work was supported by Partnership Program in priority areas PNII with MEN-UEFISCDI support, project no 84/2014.

12. References

- [1] <http://scoalaverde.webgarden.ro/menu/mediu-l-un-semnal-de-alarma/deseurile>
- [2] <http://www.environ.ro/politica-uniunii-europene-de-management-al-deseurilor>
- [3] *Starea factorilor de mediu în România*, Raport anual, 2010.
- [4] Pipas N.-I., E.M. Pica, Riti-Mihoc, Bejan M., „Gestionarea și reciclarea E. deșeurilor electronice”, A XII-a Conferință Națională multidisciplinară, cu participare internațională „Profesorul Dorin Pavel: fondatorul hidroenergeticii românești”, Sebeș, 2013
- [5] Jiali, Hongzhou Lu, Jieguo, Zhenmingxu, Andya Ohezhou „Recycle Technology for Recovering Resources and Products from Waste Printed Circuit Boards”, *Environ. Sci. Technol.* 2007, 41, 1995-2000
- [6] Bluhm, H., Frey, W., Giese, H., Hoppe, P., Schultheiss, C., Strassner, R., „Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling”. *IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul.* 2000, 7, pp. 625-636.
- [7] Mohabuth, N., Hall, P., Miles, N., „Investigating the use of vertical vibration to recover metal from electrical and electronic waste”. *Miner. Eng.* 2007. 20 (9), pp. 926-93.
- [8] Duan, C., Zhao, Y., Wen, X., Ye, C., Wang, Q., „Research on the gas from pyrolysis during crushing of discarded printed circuit boards”. *J. China Univ. Min. Technol.* 2005. 34 (06), pp. 730-734.
- [9] Sjomkin B.W., Ussow A.E., Kurets V.I., "The Principles of Electric Impulse Destruction of Materials", Russian Academy of Sciences, Kola Science Center, Editor N. E Tusow, 1995.
- [10] Bluhm H., Frey W., Giese H., Hoppé P., Schultheiss C., Strässner, „Application of Pulsed HV Discharges to R. Material Fragmentation and Recycling”, *IEEE Trans. Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 7, no. 5, 2000.
- [11] Martin T.H., Gnenther A.H., Kristiansen M., Editors, Martin J.C., *On Pulsed Power*, Plenum Press, New York, 1996.
- [12] Selfrag, “Selective Fragmentation of Materials by Means of Electric Pulsed Power”.
- [13] Vizir V.A., Kovalchuk B.M. *et al.* „High Voltage Generator for Dynamic Fragmentation of Rocks”, *Pulsed Power Technology, Review of Scientific Instruments*; Oct. 2010, Vol. 81 Issue 10, p. 103506.

13. Biography



Mihai BĂDIC is born in Bucharest, Romania, on June 15, 1951.

He graduated from the University Politehnica of Bucharest in 1975.

He received the PhD degree in electrical engineering, from the University Politehnica of Bucharest in 2001.

At present, he coordinates research on Electromagnetic Compatibility Laboratory attempts of ICPE-CA and high voltage testing laboratory in O-ICPE.

His research interests concern: electromagnetic compatibility, electromagnetic shielding, high voltage and current impulse generators, electromagnetic and high engineering measurement.

Correspondence address: INCIDIE ICPE-CA, Bucharest, Splaiul Unirii, nr. 313, sector 3, e-mail: mihai.badic@icpe-ca.ro



Jana PINTEA is born in Pochidia, Romania, on Oct. 5, 1957. She graduated from the University Politehnica of Bucharest in 1982.

She received the PhD degree in

electrical engineering, from the University Politehnica of Bucharest in 2007.

She is a researcher for INCIDIE ICPE-CA, Bucharest. Her research interests concern: the development of composite materials for actuators type piezoelectric PZT piezoelectric sensors, and research on materials of used as shields electromagnetic.

Correspondence address: INCIDIE ICPE-CA, Bucharest, Splaiul Unirii, nr. 313, sector 3, e-mail: jana.pintea@icpe-ca.ro

Revista EEA este clasificată B⁺ de CNCIS și indexată în bazele internaționale de date:
Elsevier, Scopus, Compendex, ProQuest, EBSCO, Ulrich's, Index Copernicus International

pag.	Articole
05-10>	Elemente de izolare electrică performante destinate instalațiilor de gaze (High Performance Electrical Insulation Elements for Gas Installations) (Full text in Romanian) Iosif LINGVAY, Octavian TĂNĂSESCU, Ladislau RADERMACHER, Andrei-Tiberiu MATEI, Daniel LINGVAY, Adriana-Mariana BORȘ
11-16>	Skyrmioni magnetici (Magnetic Skyrmions) (Full text in Romanian) Titu-Marius I. BĂJENESCU
17-25>	Three-Phase four-Wire Active Power Filter fed by PV System using Fuzzy MPPT Controller Rachid Belaidi, Ali Haddouche
26-33>	Power Quality Monitoring and Analysis of a Grid-Connected PV Power Plant Lucia-Andreea EL-LEATHEY, Adrian NEDELCU, Marin DORIAN
34-41>	Sensorless Optimal Power Control of Doubly Fed Induction Wind Generator based on Extended Kalman Filter Serhoud Hicham, Djilani Benattous
42-48>	Analysis of Traction Control System in Hybrid Electric Vehicle based on Engine-Motor Coordinated Control Strategy Xingzhi Hu
49-54>	Nonlinear Modelling Analysis of Engineering Vehicle Hydro-Pneumatic Suspension based on ADAMS and Simulink Wenlong Ma, Guojun Zhang, Xiangzhu Wang
55-62>	Surse de înaltă tensiune pentru aplicații speciale (High Voltage Sources for Special Applications) (Full text in Romanian) Mihai BĂDIC, Cristian MORARI, Jana PINTEA
63-69>	Modelling and Analysis of Two-Degree of Freedom Permanent Magnet Synchronous Generator Zheng Li, Lingwei Zhang, Xiaoxue Yu, Qunjing Wang
70-75>	Continuous Trajectory Planning of Permanent Magnet Spherical Motor by Cubic Spline Interpolation Xiwen Guo, Shen Li, Qunjing Wang, Yan Wen, Lijuan Zhao
76-84>	Behaviour Analysis of the Lead-Zirconate-Titanate (PZT) Piezo-Actuator for Different Wave Excitation. A Comparative Study Albert ARNAU CUBILLO, Lucian PSLARU-DĂNESCU, Ion FUIOREA, Daniel LIPCINSKI
85-89>	Shunt Active Power Filtering based on the p-q Theory Control Kelthoum Hachani, Djillali Mahi, Abdellah Kouzou
90-96>	A Model of a Three-Phase Two-Rotor Axial Generator Nikola GEORGIEV
97-105>	Asymmetrical Short-Circuit of 20kV Medium Voltage Feeders Waluyo, Teguh Arfianto, Muhammad Iqbally
106-111>	Comportarea electrică și dielectrică a unor mortare de ciment (Behaviour Electric and Dielectric of Cement Mortars) (Full text in Romanian) Georgeta VELCIU, Alina-Ruxandra CARAMITU, Adriana MOANTA, Jana PINTEA, Ladislau RADERMACHER, Iosif LINGVAY

[Continuare pe coperta 4]

pag.

Articole

- 117-122> **Analiza influenței câmpului electric asupra dezvoltării biomasei algale cu aplicații în biotehnologii**
(Analysis of the Electric Field Influence on the Algal Biomass Growth with Applications in Biotechnologies)
(Full text in Romanian)
Carmen MATEESCU, Andreea VOINA, Nicoleta BUTOI, Marius LUNGULESCU, Ana-Maria LUCHIAN, Daniel LIPCINSKI
- 123-127> **Evaluarea efectului câmpului magnetic de 5-10 mT asupra microalgelor *Chlorella sorokiniana***
(Evaluation of the Magnetic Field Effect of 5-10 mT on *Chlorella sorokiniana* Microalgae) (Full text in Romanian)
Ana-Maria LUCHIAN, Marius LUNGULESCU, Andreea VOINA, Carmen MATEESCU, Nicoleta BUTOI, Eros Alexandru PATROI
- 128-134> **Numerical Simulations of Helium Flow through an Ion-Guide**
Mihail Victor CERNAT, Andreea BOBONEA
- 135-139> **Iterated Extended Kalman Filter with Perturbation Estimator for Localization of Wheeled Mobile Robot**
Ben Cherif Aissa, Fatima Chouireb
- 140-146> **Progrese ale fizicii cuantice**
(Progresses of Quantic Physics) (Full text in Romanian)
Titu-Marius I. BĂJENESCU
- 147-155> **Wireless Car Control System based on Single Chip Microcomputer**
Zhang Jianbo, Yin Qun, Liu Si
- 156-162> **Optimization of MRAS based Speed Estimation for Speed Sensorless Control of DSIIM via Genetic Algorithm**
Khaled Sahraoui, Katia Kouzi, Ameer Aissa
- 163-169> **Power Factor Definition based on Metering Error for Non-Sinusoidal Systems**
Mingxing Tian, Ziting Wu, Jun Li, Yuanxin Zhao
- 170-175> **HLSMN: High Level Multicore NUMA Simulator**
Mohammed Slimane, Larbi Sekhri
- 176-182> **Set Inversion for Identifying the Parameters of a Chemostat**
Borsali Salima
- 183-190> **Implementation of a Neutron Imaging Decision Support System (NDSS)**
Arezki Sekhri
- 191-196> **Optimal Placement of PMUs in Algerian Network using a Hybrid Particle Swarm-Moth Flame Optimizer (PSO-MFO)**
Anfal Mansouri, Abdelhafid Hellal
- 197-204> **Development of Genetic Algorithm for the Improvement of the Performances of Flexible Manufacturing Systems (FMS)**
Habiba Houari, Ahmed Hassem, Mehdi Souier, Zaki Sari
- 205-210> **OFDM PAPR Reduction in DTMB Systems using ACE and TFD-TR Techniques**
Feng Hu, Libiao Jin

MISCELLANEA SECTION

- 213-220> **Mediul ambiant: modelator al existenței umanității (partea 3)**
(Environment: the Modeller of the Mankind Existence (Part 3)) (Full text in Romanian)
Eugeniu Alexandru STERE, Ionel POPA
- 221-226> **Relationship between Corporate Culture and Organizational Performance**
Ionica ONCIOIU, Alina STANCIU, Carmen BOTEANU, Florentina-Raluca BÎLCAN
- 227-234> **Semantic Correlation for Alarms Classification in Maintenance Process**
Bekkaoui Mokhtaria, Mohamed Hedi Karray, Fatima Bekaddour, Sidi Mohammed Meliani

* * *

Scopul revistei

Revista EEA își propune să publice numai acele articole care atât prin ideile noi, cât și prin rezultatele prezentate, să aducă contribuții importante la cercetarea românească de avangardă din electrotehnică, electronică, automatică, informatică și din celelalte domenii ale științelor ingineresti.

Articolele, publicate în două versiuni pe suport de hârtie și online, sunt identice. Accesul liber online asigură o mare vizibilitate articolelor.

Prezentare

Revista EEA a fost fondată în anul 1950 sub numele de „Electricitatea” (ISSN 1220-2533; vol. 1-3) care, în 1953, și-a schimbat numele în „Electrotehnica” (ISSN 0013-5321; vol. 1-22), care, în 1975, după integrarea „Automatica și Electronica (ISSN 1220-2584) apare cu numele actual **Electrotehnică, Electronică, Automatică (EEA)** [ISSN 1582-5175; e-ISSN 2392-828X] (pentru detalii, a se naviga pe site-ul www.eea-journal.ro).

Încă de la primele numere, deși era unica revistă specializată din domeniul electrotehnicii, EEA a fost constant apreciată pentru nivelul științific ridicat al articolelor publicate.

În prezent, EEA este recunoscută ca lider printre publicațiile științifice, pentru calitatea și standardele înalte ale articolelor apărute în domeniul științelor ingineresti. Printre autori se numără specialiști, cercetători și cadre didactice din Algeria, Belgia, R.P. China, Finlanda, Franța, Germania, Italia, Moldova, Serbia, Slovacia, Spania, Ungaria etc.

În paginile revistei, se regăsesc lucrări științifice originale care nu au mai fost publicate și care nu sunt luate în considerare pentru publicare în altă parte, cât și articolele prezentate la conferințe, cu condiția să nu fi fost publicate (parțial sau integral) în volumele manifestărilor științifice (min. 6 pagini-max. 16 pagini), sinteze ale unor proiecte de cercetare, dezbateri științifice și sinteze pe teme prioritare din cercetarea fundamentală și aplicativă (max. 20 pagini), recenzii / note de lectură ale celor mai recente apariții de cărți tehnico-științifice (max. 1 pagină), liste de resurse bibliografice comentate din domeniul științelor ingineresti (max. 8 pagini).

Pentru a dovedi deschiderea către noile domenii de frontieră, Colegiul editorial a creat o secțiune-varia (*Miscellanea Section*), în care sunt publicate articole a căror tematică aparține altor domenii (matematică, științe socio-umane, științe economice, științele vieții și ale pământului (inclusiv mediul), științe agricole, științe medicale etc.) și care, *tangential*, pot fi corelate cu domeniul științelor ingineresti datorită viziunii, conexiunilor și al abordării inedite a subiectelor.

Revista are un *Colegiu de redacție* format din academicieni, profesori universitari și cercetători științifici din România și din străinătate — personalități recunoscute din domeniul științelor ingineresti (în special, din electrotehnică, electronică, automatică și din celelalte domenii ale ingineriei).

Revista EEA este clasificată **B*** de Consiliul Național al Cercetării Științifice din Învățământul Superior (CNCIS) și este indexată în bazele internaționale de date: Elsevier, Scopus, Compendex, ProQuest, EBSCO, Ulrich's, Index Copernicus International. În prezent, este în proces de evaluare de Thomson Reuters - ISI.

Scope

The EEA Journal aims to publish only those papers that by the new ideas and the results shown to bring significant contributions to research in the Romanian avant-garde engineering as electrical engineering, electronics, automation and other engineering sciences.

The papers, published in two versions on paper and online, are identical. The online open access ensures a high visibility of the papers.

Description

The EEA Journal is founded in 1950 under the title „Electricitatea” (ISSN 1220-2533; vol. 1-3) that, in 1953, changed its title in „Electrotehnica” (ISSN 0013-5321; vol. 1-22) that, in 1975, after merging „Automatica și Electronica (ISSN 1220-2584) is published under the present title **Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA)** [ISSN 1582-5175; e-ISSN 2392-828X] (for further details, please navigate on the site www.eea-journal.ro).

Since the early issues, although it was the only scientific journal specialized in the field of electrical engineering, the EEA has been consistently highly rated for the level of its scientific papers.

At present, the EEA is recognized as a leader among the scientific publications for the quality and high standards of the papers belonging to the field of engineering sciences. The authors are specialists, researchers and academics from Algeria, Belgium, PR of China, Finland, France, Germany, Italy, Moldova, Serbia, Slovakia, Spain, Hungary, etc.

In the EEA, there are published original papers that haven't been previously published and are not under consideration for publication somewhere else, as well as papers presented at conferences, only if they have not been published (partially or fully) in the proceedings of that scientific event (min. 6 pages, max. 16 pages), syntheses of research projects, scientific debates and syntheses on priority themes of fundamental and applied research (max. 20 pages), reviews / reading notes of the latest scientific and technical books (max. 1 page), commented lists of bibliographic resources in engineering sciences (max. 8 pages).

To prove the openness to new frontier areas, the Editorial Board has created a *varia* section (*Miscellanea Section*) for papers belonging to other thematic areas (mathematics, social studies, economics, life and earth sciences (including the environment), agricultural sciences, medical sciences, etc.) and, *tangentially*, they are related to engineering sciences thanks to vision, connections and novel approach of the topics.

The *Editorial Board* includes academicians, university professors and researchers from Romania and abroad that are well-known personalities in the field of engineering sciences (especially, in electrical, electronics, automation, computer science and other fields of engineering).

The EEA journal is included in the **B*** category by the National Council of Scientific Research in Higher Education (CNCIS) and indexed in international data bases: Elsevier, Scopus, Compendex, ProQuest, EBSCO, Ulrich's, Index Copernicus International. Currently, EEA is under evaluation by Thomson Reuters - ISI.



EDITORIAL BOARD

Editorial Consortium	Editors
- ICPE	Mihaela CHEFNEUX, Eng., ICPE
- Electrical Engineering Faculty (FIE) within University Politehnica of Bucharest (UPB)	Ioan Florea HÂNTILĂ, professor, UPB, Technical Sciences Academy of Romania
- Scientific Society of ICPE (SS ICPE)	Valentin NĂVRĂPESCU, professor, UPB
	Ionel POPA, PhD, ICPE, SS ICPE

Scientific Board

President: Mihai Octavian POPESCU, professor, UPB
General Secretary of the Editorial Board: Ionel POPA, PhD, ICPE

Florin FILIP, academician, vice-president, Romanian Academy	Grigore DANCIU, professor, UPB
Marius PECULEA, academician, Romanian Academy	Jaroslav DŽMURA, professor, Technical University of Košice, Slovakia
Andrei ȚUGULEA, academician, Romanian Academy	Vasile DOBREF, professor, „Mircea cel Bătrân” National Academy of Constanța
Xi WENHUA, academician, Sciences Academy of Gansu, P.R. of China	Istvan FARKAS, professor, „Szent Istvan” University of Gödöllő, Hungary
Adrian-Alexandru BADEA, professor, UPB, vice-president of Scientists Academy of Romania	Stergios GANATSIOS, professor, Technological Education Institute (TEI) of Kozani, Greece
Aurel CÂMPEANU, professor, University of Craiova; vice-president of Technical Sciences Academy of Romania	Horia IOVU, professor, UPB
Ion CHIUȚĂ, professor, UPB; Scientists Academy of Romania (president of Section VI - Technical Sciences)	Nicolae JULA, professor, Technical Military Academy of București
Nicolae GOLOVANOV, professor, UPB; president of the Technical Sciences Academy of Romania	Hans-Georg KOGLMAYR, professor, University of Pforzheim, Germany
Dumitru Felician LĂZĂROIU, professor, technical and scientific consultant, Paris (France); honorary member of the Technical Sciences Academy of Romania	Iosif LINGVAY, PhD, INCDIE ICPE-CA
Teodor LEUCA, professor, University of Oradea; Scientists Academy of Romania; Technical Sciences Academy of Romania	Mihai LUCANU, professor, „Gh. Asachi” Technical University of Iași
Andrei MARINESCU, professor, University of Craiova; Technical Sciences Academy of Romania	Magdalena-Valentina LUNGU, PhD, INCDIE ICPE-CA
Radu MUNTEANU, professor, Technical University of Cluj-Napoca; vice-president of the Technical Sciences Academy of Romania	Aurelia MEGHEA, professor, UPB
Florin Teodor TĂNĂSESCU, professor, president of Romanian Electrotechnical Committee (CER); vice-president of the Technical Sciences Academy of Romania; honorary member of the Sciences Academy of Moldova	Simona MICLĂUȘ, professor, „Nicolae Balcescu” Land Forces Academy of Sibiu
	Etienne MILENT, professor, University of Lille, Franța
Horia Leonard ANDREI, professor, „Valahia” University of Târgoviște	Dan MOROLDO, professor, Technical University of Civil Engineering of București
Jozef BALOGH, professor, Technical University of Košice, Slovakia	Valentin NĂVRĂPESCU, professor, UPB
George BEREZNAI, professor, University of Ontario, Institute of Technology (UOIT), Canada	Nicolae OLARIU, professor, „Valahia” University Târgoviște
Mihail CECLAN, professor, UPB	Jaroslav PETRÁŠ, professor PhD, Technical University of Košice, Slovakia
Rodica Elena CECLAN, professor, UPB	Emil POP, prof. PhD, University of Petroșani
Costin CEPIȘCĂ, professor, UPB	Claudia Laurenția POPESCU, professor, UPB
Amit CHAUDHRY, PhD, University of Panjab (UIET), Chandigarh, India	Luminița Georgeta POPESCU, professor, „Constantin Brâncuși” University of Târgul Jiu
Roman CIMBALA, professor, Technical University of Košice, Slovakia	Mihai Octavian POPESCU, professor, UPB
	Alexandru SOTIR, professor, „Mircea cel Bătrân” National Academy of Constanța
	Ion STRATAN, professor, Technical University of Moldova, Chișinău, Moldova
	Janos TAKACS, professor, Technical University of Bratislava, Slovakia
	Andrei VLADIMIRESCU, professor, University of California, Berkeley, SUA; Institut Supérieur d'Electronique de Paris

Scientific Reviewers

Paula ANGHELIȚĂ, PhD, ICPE	Mihăiță Gabriel NEACȘU, PhD, ICPE
Jănel ARHIP, CS II, Technical Military Academy of Constanța	Alexandru RADULIAN, PhD ICPE
Mihai BĂDIC, PhD, INCDIE ICPE-CA	Nicolae VASILE, professor, „Valahia” University of Târgoviște;
Cornel JIVAN, PhD, ICPE	Technical Sciences Academy of România
Paul MINCIUNESCU, PhD, ICPE	Bogdan Dumitru VĂRĂTICEANU, PhD, ICPE
Nicolae MOCIOI, PhD ICPE	Ion VONCILĂ, professor, „Dunărea de Jos” University of Galați

Editor-in-Chief	Editorial Office:
Elena POPA, senior scientist	Editura „ELECTRA”
Sponsorship:	Splaiul Unirii, nr. 313; 030138 București, Romania
Publisher: Editura „ELECTRA” (as part of ICPE)	Tel.: +4021 589 34 82 // Mobile: +40749 070 395
Issuing body: ICPE	e-mail: eea-journal@icpe.ro
	internet: www.eea-journal.ro



Contents

Articol	pp.
Elemente de izolare electrică performante destinate instalațiilor de gaze (High Performance Electrical Insulation Elements for Gas Installations) (Full text in Romanian) Iosif LINGVAY, Octavian TĂNĂȘESCU, Ladislau RADERMACHER, Andrei-Tiberiu MATEI, Daniel LINGVAY, Adriana-Mariana BORȘ	05
Skyrmioni magnetici (Magnetic Skyrmions) (Full text in Romanian) Titu-Marius I. BĂJENESCU	11
Three-Phase four-Wire Active Power Filter fed by PV System using Fuzzy MPPT Controller Rachid Belaidi, Ali Haddouche	17
Power Quality Monitoring and Analysis of a Grid-Connected PV Power Plant Lucia-Andreea EL-LEATHEY, Adrian NEDELCU, Marin DORIAN	26
Sensorless Optimal Power Control of Doubly Fed Induction Wind Generator based on Extended Kalman Filter Serhoud Hicham, Djilani Benattous	34
Analysis of Traction Control System in Hybrid Electric Vehicle based on Engine-Motor Coordinated Control Strategy Xingzhi Hu	42
Nonlinear Modelling Analysis of Engineering Vehicle Hydro-Pneumatic Suspension based on ADAMS and Simulink Wenlong Ma, Guojun Zhang, Xiangzhu Wang	49
Surse de înaltă tensiune pentru aplicații speciale (High Voltage Sources for Special Applications) (Full text in Romanian) Mihai BĂDIC, Cristian MORARI, Jana PINTEA	55
Modelling and Analysis of Two-Degree of Freedom Permanent Magnet Synchronous Generator Zheng Li, Lingwei Zhang, Xiaoxue Yu, Qunjing Wang	63
Continuous Trajectory Planning of Permanent Magnet Spherical Motor by Cubic Spline Interpolation Xiwen Guo, Shen Li, Qunjing Wang, Yan Wen, Lijuan Zhao	70
Behaviour Analysis of the Lead-Zirconate-Titanate (PZT) Piezo-Actuator for Different Wave Excitation. A Comparative Study Albert ARNAU CUBILLO, Lucian PÎSLARU-DĂNESCU, Ion FUIOREA, Daniel LIPCINSKI	76
Shunt Active Power Filtering based on the p-q Theory Control Kelthoum Hachani, Djillali Mahi, Abdellah Kouzou	85
A Model of a Three-Phase Two-Rotor Axial Generator Nikola GEORGIEV	90
Asymmetrical Short-Circuit of 20 kV Medium Voltage Feeders Waluyo, Teguh Arfianto, Muhammad Iqbally	97
Comportarea electrică și dielectrică a unor mortare de ciment (Behaviour Electric and Dielectric of Cement Mortars) (Full text in Romanian) Georgeta VELCIU, Alina-Ruxandra CARAMITU, Adriana MOANTA, Jana PINTEA, Ladislau RADERMACHER, Iosif LINGVAY	106

Control Isolated Intersections with Hybrid Petri Nets and Hybrid Automaton Samir Deraï, Rachida Ghoul Hadibiy	112
Analiza influenței câmpului electric asupra dezvoltării biomasei algale cu aplicații în biotehnologii (Analysis of the Electric Field Influence on the Algal Biomass Growth with Applications in Biotechnologies) (Full text in Romanian) Carmen MATEESCU, Andreea VOINA, Nicoleta BUTOI, Marius LUNGULESCU, Ana-Maria LUCHIAN, Daniel LIPCINSKI	117
Evaluarea efectului câmpului magnetic de 5-10 mT asupra microalgelor <i>Chlorella sorokiniana</i> (Evaluation of the Magnetic Field Effect of 5-10 mT on <i>Chlorella sorokiniana</i> Microalgae) (Full text in Romanian) Ana-Maria LUCHIAN, Marius LUNGULESCU, Andreea VOINA, Carmen MATEESCU, Nicoleta BUTOI, Eros Alexandru PATROI	123
Numerical Simulations of Helium Flow through an Ion-Guide Mihail Victor CERNAT, Andreea BOBONEA	128
Iterated Extended Kalman Filter with Perturbation Estimator for Localization of Wheeled Mobile Robot Ben Cherif Aissa, Fatima Chouireb	135
Progrese ale fizicii cuantice (Progresses of Quantic Physics) (Full text in Romanian) Titu-Marius I. BĂJENESCU	140
Wireless Car Control System based on Single Chip Microcomputer Zhang Jianbo, Yin Qun, Liu Si	147
Optimization of MRAS based Speed Estimation for Speed Sensorless Control of DSIIM via Genetic Algorithm Khaled Sahraoui, Katia Kouzi, Ameer Aissa	156
Power Factor Definition based on Metering Error for Non-Sinusoidal Systems Mingxing Tian, Ziting Wu, Jun Li, Yuanxin Zhao	163
HLSMN: High Level Multicore NUMA Simulator Mohammed Slimane, Larbi Sekhri	170
Set Inversion for Identifying the Parameters of a Chemostat Borsali Salima	176
Implementation of a Neutron Imaging Decision Support System (NDSS) Arezki Sekhri	183
Optimal Placement of PMUs in Algerian Network using a Hybrid Particle Swarm-Moth Flame Optimizer (PSO-MFO) Anfal Mansouri, Abdelhafid Hellal	191
Development of Genetic Algorithm for the Improvement of the Performances of Flexible Manufacturing Systems (FMS) Habiba Houari, Ahmed Hassem, Mehdi Souier, Zaki Sari	197
OFDM PAPR Reduction in DTMB Systems using ACE and TFD-TR Techniques Feng Hu, Libiao Jin	205-210

MISCELLANEA SECTION

Mediul ambiant: modelator al existenței umanității (partea 3) (Environment: the Modeller of the Mankind Existence (Part 3)) (Full text in Romanian) Eugeniu Alexandru STERE, Ionel POPA	213
Relationship between Corporate Culture and Organizational Performance Ionica ONCIOIU (corresponding author), Alina STANCIU, Carmen BOTEANU, Florentina-Raluca BÎLCAN	221
Semantic Correlation for Alarms Classification in Maintenance Process Bekkaoui Mokhtaria, Mohamed Hedi Karray, Fatima Bekaddour, Sidi Mohammed Meliani	227-234

Surse de înaltă tensiune pentru aplicații speciale

(High Voltage Sources for Special Applications)

(Full text in Romanian)

Mihai BĂDIC¹, Cristian MORARI¹, Jana PINTEA¹

¹Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA, Splaiul Unirii nr. 313, 030138, București, România

Abstract

Selective fragmentation, with applications in geology (rock fragmentation), demolitions (concrete disintegration), and ecology (processing the electric/electronic waste and the slag resulted after burning the household waste), and welding different materials by using electron beams are just two of the latest electrotechnologies that include special high voltage sources. This paper presents general aspects, designing and constructive elements, and experimental results for two high voltage sources included in the above-mentioned electrotechnologies: (1) source of high voltage repetitive impulses for selective fragmentation, and (2) DC source for feeding electron guns in welding installations. The first source is designed based on the classic Marx high voltage generator, with four stages, for the following parameters: impulse voltage of 200 - 300 kV, impulse rise-time of about 300 ns, and impulse repetition frequency of 3 - 10 Hz. The DC source for welding installations was built based on an original idea at a voltage of 3.3/6.5 kV, electrically isolated, and it is powered from battery. The conducted tests and experiments showed that this is a reliable solution with high-energy efficiency, which can successfully replace isolation transformers in welding installations thus allowing substantial space and material savings.

Keywords: high voltage source, Marx generator, rise time, selective fragmentation, repetitive impulses, electron beam welding

Received: December 03, 2016

To cite this article:

BĂDIC M., MORARI C., PINTEA J., „Surse de înaltă tensiune pentru aplicații speciale” (High Voltage Sources for Special Applications), in *Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA)*, 2017, vol. 65, no. 3, pp. 55-62, ISSN 1582-5175.

1. Introducere

Dezvoltarea procedeeleor neconvenționale din ultimele două-trei decenii a fost determinată, în special, de evoluția teoretică și practică a unor electrotehnologii, precum și de utilizarea tot mai intensă în industrie a unor materiale cu proprietăți fizico-mecanice și fizico-chimice deosebite, precum ca și de apariția ca o necesitate constructivă a unor piese cu forme și structuri foarte complexe. Deși ponderea în industrie a acestor materiale și a acestor electrotehnologii este încă relativ mică, prelucrarea lor prin procedeele clasice este foarte grea și costisitoare sau chiar imposibil de realizat, ca de exemplu: prelucrarea materialelor dure și foarte dure (diamante, carburi metalice, materiale dielectrice etc.), obținerea unor găuri curbe, fante și găuri de câțiva micrometri, executarea microsudurilor în cazul materialelor diferite, durificarea unor porțiuni de pe piese intens solicate și greu accesibile etc.

Printre electrotehnologiile de ultimă generație care implică surse speciale de înaltă tensiune se numără și fragmentarea selectivă, procedeu de separare a componentelor unui conglomerat respectiv ansamblu complex de substanțe solide/materiale [1 - 5]. Aplicațiile principale cunoscute în prezent se referă la domeniul geologie (fragmentarea selectivă a rocilor) respectiv ecologie (prelucrarea deșeurilor electrice/electronice și a zgurii obținute prin arderea gunoierului menajer).

Ca fenomen, tehnologia se bazează pe observația că într-un mediu lichid (apă, ulei etc.) descărcarea electrică se face preferențial prin solidul aflat în imersie, în cazul în care impulsul de înaltă tensiune are un timp de creștere extrem de scurt (teoretic < 500 ns).

În consecință, sursa de înaltă tensiune aferentă constă dintr-un generator de impulsuri repetabile (5 - 10 Hz) cu valoarea de 200 - 400 kV și cu un rise time specific de cca. 300 ns.

Pe de altă parte, dintre procedeele neconvenționale, cele mai cunoscute și utilizate sunt, fără îndoială, tehnologiile laser și cele aferente acceleratoarelor de electroni, fie că este vorba de prelucrări în vid sau în atmosferă normală.

În general, sursele dedicate acestor aplicații sunt:

- Generatoare de înaltă tensiune de c.c.;
- Generatoare de impuls.

Generatoarele de impuls de înaltă tensiune sunt derivate din cele folosite la testarea echipamentelor electrice la *impuls de trăznet și impuls de comutație*. Astfel, impulsurile de tensiune *steep-front* (timp de creștere foarte mici, sub 1 μs) sunt frecvent folosite în experimente, în *Fizica nucleară*.

Impulsurile de curent de mare intensitate, pe de altă parte, (utilizate clasic la încercarea descărcătoarelor cu oxizi metalici, etc.) își găsesc aplicații în tehnica laserilor, experimentele de fuziune termonucleară și producerea plasmei.

Generatoarele de impuls, la rândul lor, suportă două clasificări esențiale:

- monoimpuls;
 - impuls repetitiv;
- respectiv,
- de impuls de tensiune;
 - de impuls de curent.

Evident, în privința ultimei clasificări există și generatoare care asigură simultan curenți foarte mari (de ordinul kA) respectiv, căderi de tensiune mari pe sarcină (de ordinul kV). Din punct de vedere tehnic, schema clasică pentru obținerea impulsurilor de înaltă tensiune, este generatorul Marx (încărcarea în paralel a unor grupuri RC și descărcarea lor în serie), în timp ce, pentru obținerea monoimpulsurilor de curenți mari, se folosește schema clasică a descărcării unui condensator care face parte dintr-un circuit RLC.

Pentru generatoarele de impulsuri repetitive de mare putere - folosite în fragmentarea selectivă - schema clasică poate presupune, de asemenea, existența unor linii de formare (RL sau RC) adiacente unui tiristor sau tiratron, respectiv triode/tetrode de înaltă tensiune și mare putere folosite inițial în etajele finale ale stațiilor de radiodifuziune.

În ultimul timp, prin dezvoltarea unor tranzistori de mare putere IGBT (*insulated-gate bipolar transistor*), respectiv IGCT (*integrated-gate commutated thyristor*) a devenit posibilă realizarea unor generatoare repetitive de mare putere, solid-state, odată cu tendința de înlocuire a tuburilor din etajele finale ale emițătoarelor radio cu module ce conțin IGBT.

2. Sursa de impulsuri repetitive de înaltă tensiune și front rapid pentru fragmentarea selectivă

În urma dezvoltărilor teoretice și experimentelor aferente instalațiilor de fragmentare selectivă a materialelor și deșeurilor s-a fundamentat soluția construirii unui generator Marx, cu patru etaje, care să se încarce la o tensiune de 50 - 75 kV și să genereze impulsuri repetitive, cu o frecvență de 3 - 10 Hz, la o tensiune maximă, în impuls, de 200 - 300 kV. Generatorul Marx, are drept componente principale condensatorii de stocare a energiei, rezistențele (de încărcare, de front și de spate) și eclatoarele, în conformitate cu elementele de calcul prezentate în continuare.

Generatoare Marx clasice

În general, condensatorii de impuls de înaltă tensiune sunt construiți pentru tensiuni de funcționare mai mici de 100 kV. Principalul motiv pentru aceasta este faptul că transformatoarele de înaltă putere pentru unitățile de alimentare devin mult prea mari la tensiuni de peste 100 kV. Pentru a produce impulsuri cu amplitudini mai mari, se poate utiliza generatorul Marx. Circuitul de bază a fost brevetat de Erwin Marx în 1923 [6, 7]. Principiul fundamental al acestui generator constă în încărcarea unor condensatori în paralel și apoi comutarea lor în configurație serie pentru descărcare. Astfel tensiunea de ieșire devine tensiunea de încărcare înmulțită cu numărul de condensatori. Fig. 1 prezintă un circuit simplu generator Marx cu încărcare unipolară neglijând capacitățile parazite. Condensatorii sunt încărcăți prin rezistorii R_L în timp ce comutatoarele/eclatoarele sunt deschise.

Dacă primul comutator este închis, tensiunea în punctul C este ridicată la tensiunea de încărcare U_0 . Prin urmare tensiunea în punctul D trebuie să ajungă la

valoarea $2U_0$. În acest moment, la bornele celui de-al doilea comutator există tensiunea $2U_0$ și, dacă este proiectat corect, trebuie să străpungă. Acest proces continuă până ce toate comutatoarele au declanșat în mod secvențial. În mod normal, durata acestui proces este de ordinul unei microsecunde.

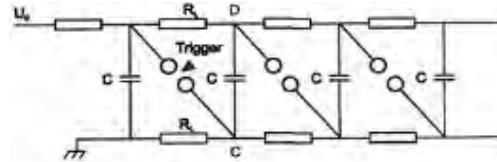


Figura 1. Schema de principiu a generatorului Marx cu încărcare unipolară prin rezistorii R_L (sus). Configurația generatorului Marx după declanșarea tuturor comutatoarelor (stanga jos). Model de circuit cu elemente concentrate pentru generatorul Marx încărcat (dreapta jos)

Dacă la ieșirea generatorului Marx se conectează o sarcină, generatorul se descarcă cu o constantă de timp care depinde de impedanța de sarcină. Disiparea energiei pe rezistorii de încărcare este de nedorit, atât în timpul încărcării cât și la descărcare deoarece reduce eficiența generatorului. Uneori, în circuitul de încărcare se folosesc inductori în loc de rezistori. În acest caz constanta de timp pentru auto-descărcare după închiderea comutatoarelor /eclatoarelor, devine:

$$\tau = 2\pi \left(\frac{1}{2} L_L C_0 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

În acest caz și τ trebuie să fie de câteva ori mai mare decât durata impulsului de ieșire.

Sursele de alimentare moderne pot să încarce condensatorii cu un curent constant. Totuși, datorită lanțului de rezistori de încărcare, fiecare condensator dintr-o configurație Marx este încărcat cu o rată/viteză diferită. O expresie aproximativă a constantei de timp, de încărcare, a condensatorului n este:

$$\tau_n = R_L C_0 n^2 \quad (2)$$

Deoarece generatorul Marx este un circuit oscilant, tensiunea pe condensatori se poate inversa (*regim armonic amortizat*). Asa cum se știe, acest fenomen reduce timpul de viață al condensatorului și este de dorit prevenirea lui. Această sarcină poate fi îndeplinită de un comutator de tip *crowbar switch* plasat la ieșirea generatorului care să anclanșeze chiar atunci când tensiunea începe să se inverseze. În general, este necesară anclanșarea comutatorului de tip *crowbar switch* deoarece tensiunea va fi mică la momentul inversării.

Timpul de creștere la ieșirea unui generator Marx poate fi îmbunătățit folosind un condensator de corecție (*peaking capacitor*). O configurație posibilă este prezentată în fig. 2. Aici, generatorul Marx a fost reprezentat prin capacitatea și inductanța serie a generatorului. Acest circuit de corecție (*peaking circuit*) constă dintr-un condensator suplimentar C_p și un comutator suplimentar S_p . C_p este încărcat la $U_p = U_M \cdot 2 \cdot C_M / (C_M + C_p)$.

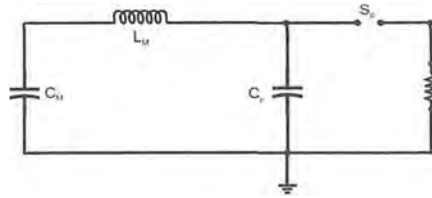


Figura 2. Circuit cu condensator de corecție (peaking capacitor)

Generatorul Marx cu timp de creștere rapid și impulsuri repetabile

În fig. 3 se prezintă schema electrică de principiu a generatorului de impulsuri repetabile de înaltă tensiune, de tip Marx, cu 4 etaje.

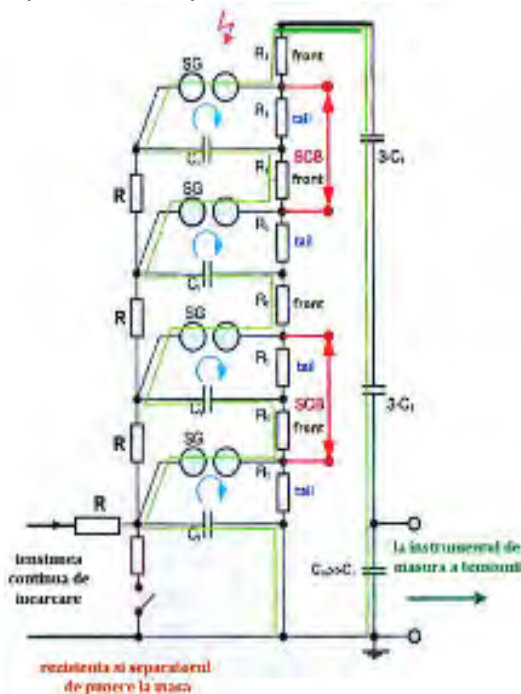


Figura 3. Schema electrică de principiu a generatorului de impulsuri repetabile de înaltă tensiune, de tip Marx, cu 4 etaje:

- R = rezistențe de încărcare
- R_f = rezistențe de front
- R_t = rezistențe de spate (tail)
- C_i = condensatoare de stocare a energiei
- SG = eclatoare trigerabile

Asa cum am arătat, este important să calculăm timpii caracteristici generatorului de impuls (Marx), cu schema echivalentă din fig. 4:

- timpul de încărcare al condensatorilor → determină implicit frecvența de repetiție a impulsurilor (fig. 5);
- timpul de descărcare → determină parametrul cel mai important al generatorului ținând seama de aplicația respectivă și anume timpul de creștere al impulsului de înaltă tensiune care trebuie să fie mai mic decât 300 ns (fig. 5);
- timpul de coadă/de spate (tail) care în principiu ar determina și el frecvența de

repetiție a impulsurilor; ținând seama însă de faptul că în sarcină condensatorii se descarcă foarte repede datorită curenților intensi (kA), acest calcul nu mai este necesar.

Astfel, pentru calculul timpului de încărcare se pleacă de la ecuația:

$$u_c = u_s \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right); \frac{u_s - u_c}{u_s} = e^{-\frac{t}{RC}} \quad (3)$$

unde u_c este tensiunea pe condensator iar u_s este tensiunea sursei de c.c.. Rezultă:

$$\ln\left(\frac{u_s - u_c}{u_s}\right) = -\frac{t}{RC} \quad (4)$$

Valoarea logaritmului din membrul stâng al ecuației este de 2.3 pentru o încărcare a condensatorului de 90% relativ la tensiunea sursei de c.c. de înaltă tensiune (charging voltage), respectiv 4.6 pentru un procentaj de 99%. Se poate scrie deci:

$$(2 \div 4)RC = t \quad (5)$$

Considerând o valoare de 20 kΩ pentru rezistențele de încărcare (valoare uzuală), se obține, pentru un nivel de încărcare de peste 90%:

$$4 \cdot 20 \text{ k}\Omega \cdot 100 \text{ nF} = 4 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = 8000 \mu\text{s} = 8 \text{ ms}$$

Ținând seama de relația (2), caracteristica generatorului de tip Marx, se poate aproxima un timp maxim de încărcare de $8 \text{ ms} \cdot 16 = 128 \text{ ms}$, ceea ce îndeplinește condițiile cerute. În cazul în care se dorește o frecvență mai mare de repetiție a impulsurilor se poate micșora valoarea rezistențelor de încărcare, spre exemplu 10 kΩ.

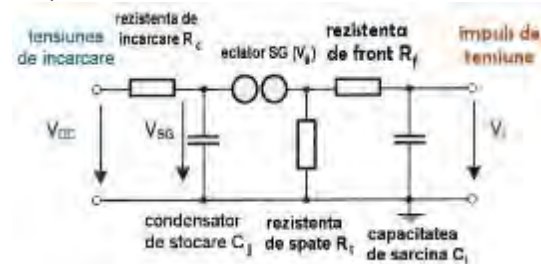


Figura 4. Schema electrică echivalentă a generatorului de impuls de tip Marx [5]

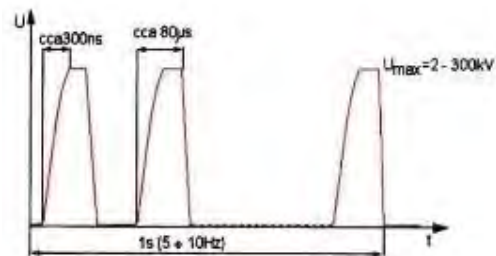


Figura 5. Forma estimată a impulsurilor repetabile de înaltă tensiune, cu front rapid

Pentru calculul timpului de descărcare, ecuațiile sunt izomorfe. Astfel putem scrie, pentru cazul rezistențelor de front de 1 Ω:

$$t = 2RC = 2 \cdot 1 \cdot 100 \text{ nF} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ s} \approx 200 \text{ ns}.$$

Se știe că parametrii echivalenți ai generatorului de tip Marx (încărcare în paralel și descărcare în serie),

pentru circuitul echivalent se calculează cu relațiile [8]:

$$R_f^* = nR_f; R_t^* = nR_t; C_i^* = \frac{C_i}{n} \quad (6)$$

Factorii respectivi (n și $1/n$) se simplifică reciproc și timpul de descărcare rămâne aproximativ 200 ns, ceea ce este satisfăcător pentru condițiile impuse inițial. Bineînțeles, trebuie să ținem seama și de inductivitățile circuitului care limitează viteza de creștere a curentului.

În fig. 6 se arată dispunerea componentelor generatorului Marx, proiectat.

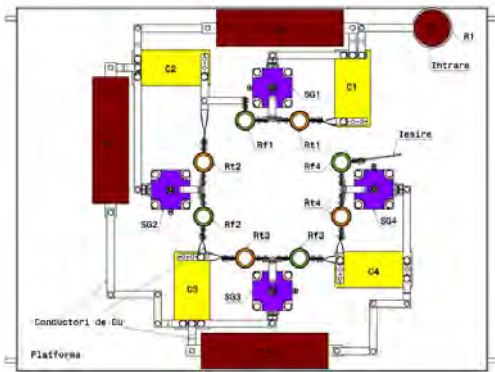


Figura 6. Dispunerea componentelor pe platformă

În oscilogramele prezentate în fig. 7 se arată rezultatele testelor parțiale care au urmărit determinarea ratei de repetiție a impulsurilor (cca. 10 Hz) precum și caracteristicile impulsurilor repetitive: timp de creștere, amplitudinea unei de curent respectiv de tensiune.

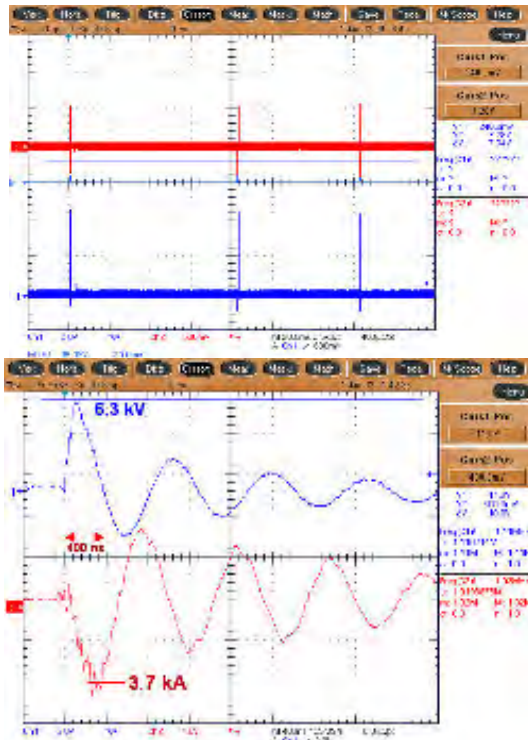


Figura 7. Rezultate teste preliminare

Este de remarcat concordanța foarte bună obținută între diagramele din MATLAB simulink și oscilogramele aferente testelor electrice. Modelarea în MATLAB simulink pentru două cazuri distincte este dată în fig. 8, iar în fig. 9 sunt date graficele corespunzătoare rezolvării analitice, conform ecuației oscilatorului electric de ordinul II.

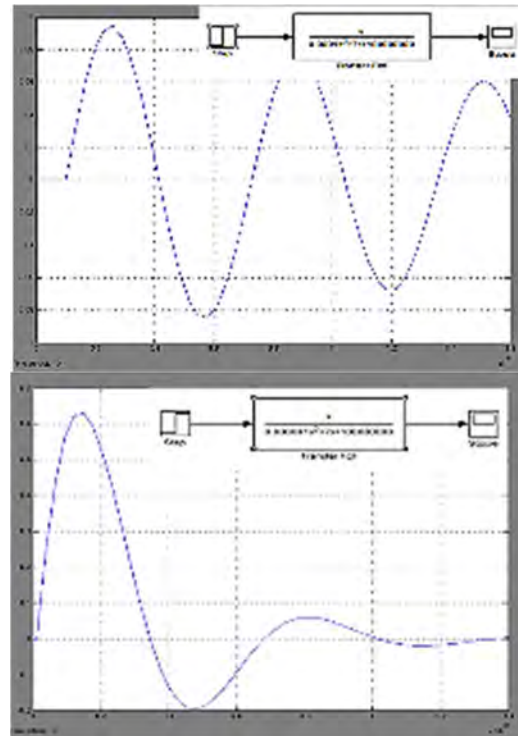


Figura 8. Regim armonic subamortizat modelat în MATLAB simulink: (stânga: pentru $L=100 \mu\text{H}$, $R=7\Omega$, $C=10\text{nF}$; dreapta: pentru $L=1 \mu\text{H}$, $R=7\Omega$, $C=10\text{nF}$)

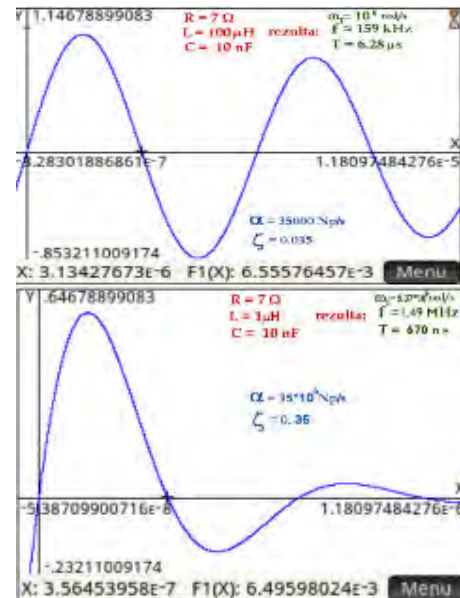


Figura 9. Graficele corespunzătoare rezolvării analitice

3. Sursă de c.c., 3.3/6.5 kV, izolată electric pentru alimentarea tunului de electroni a unei instalații de sudură

Principiul *acceleratorului de electroni* este cunoscut încă de la începutul secolului trecut și se bazează în principal pe generarea fasciculului de electroni prin *emisie termoionică*, *accelerarea electronilor* în câmp electric de cc. sau de înaltă frecvență, respectiv *focalizarea și deflexia* lui care se fac electric și/sau magnetic.

Deoarece un fascicul de electroni este relativ ușor de obținut și accelerat, își găsește multiple întrebuințări în diverse aplicații și procese tehnologice. Un astfel de proces, cel mai cunoscut și utilizat, este *sudura cu electroni* ce presupune îmbinarea a două sau mai multe materiale prin crearea de aliaj pe suprafețele lor de contact. Folosind acest proces se pot suda o varietate largă de materiale și se pot realiza canale foarte adânci de sudură, datorită fenomenului de penetrare adâncă. Profilul sudurii prezintă puține defecte și este o tehnică de sudură foarte curată.

Lucrarea prezintă o sursă de c.c., 3.3/6.5 kV, izolată electric, cu alimentare din acumulator care, în principiu, rezolvă problematica aferentă alimentării unei instalații de sudare cu fascicul de electroni.

3.1. Sistemul de alimentare cu înaltă tensiune pentru instalația de sudare cu fascicul de electroni

Sursa pentru accelerarea fasciculului de electroni dinspre filament și pastila de wolfram are masa conectată la masa virtuală (borna negativă a sursei principale de accelerație) și aplică -3.5 kV pe filament. Această cădere de potențial permite transportul electronilor emiși de filament spre a iradia pastila. Sursa grilei de comandă este de asemenea conectată cu masa la masa virtuală de -65 kV și aplică maximum -5 kV. Sursa de 144 W pentru încălzirea filamentului debitează 12 A la 12 V și are masa pusă pe borna negativă a sursei pentru accelerație dinspre filament spre pastilă [9].

Astfel, față de masa reală catodul de emisie poate avea un potențial de maximum -65 kV, grila de comandă -70 kV și spirala de wolfram -68.5 kV (fig. 10).

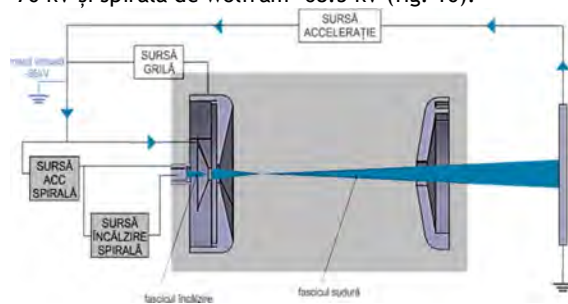


Figura 10. Sistemul de emisie în două etaje, de tip triodă [9]

Toate aceste elemente trebuie izolate de masă precum și fixate mecanic în aceasta. În acest sens se folosesc 2 cilindri ceramici construiți din alumina spre a servi atât ca izolator electric cât și ca sistem de fixare. De asemenea servesc și pe post de izolator termic întrucât pastila de emisie se încălzește la aproximativ 2000 K.

În fig. 11, se dă schema electrică de principiu pentru alimentarea tunului de electroni [9].

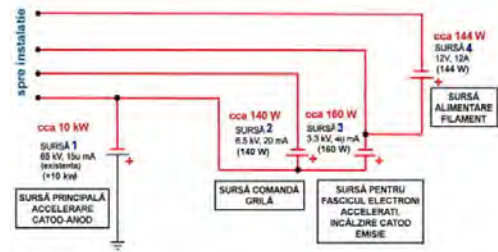


Figura 11. Schema electrică de principiu pentru alimentarea tunului de electroni aferent instalației Sudel

În baza schemei de principiu privind alimentarea tunului de electroni, se dau în continuare schemele electrice ale sistemului de alimentare cu înaltă tensiune pentru instalația de sudare cu fascicul de electroni: *schema proiectului inițial* respectiv *schema electrică propusă în cadrul acestei teme de cercetare* (fig. 12, respectiv fig. 13).

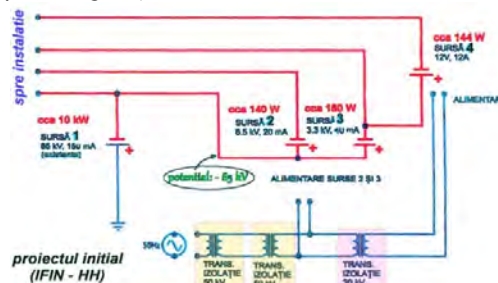


Figura 12. Schema electrică de principiu, inițială

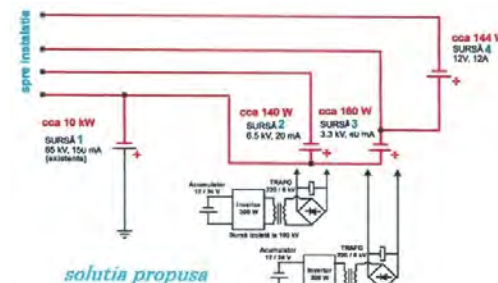


Figura 13. Schema electrică de principiu propusă, proiectată și realizată, ca soluție originală

Se observă că soluția propusă elimină cele două transformatoare de izolare (50 kV) care constituie aparate electrice costisitoare, de gabarit mare, care fac obiectul unor comenzi speciale, izolarea realizându-se, în acest caz, exclusiv "mecanic", nu electric și "mecanic" ca în cazul soluției clasice.

Montajul electric/electronic specific pentru realizarea sursei de alimentare pentru instalația de sudare cu fascicul de electroni se compune din patru elemente principale: acumulatorul, inverterul, transformatorul ridicător de înaltă tensiune și redresorul de înaltă tensiune. Schema bloc de principiu este data în fig. 14.

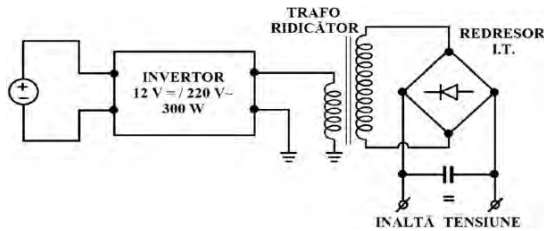


Figura 14. Schema bloc de principiu a montajului folosit

Acumulatorul folosit pentru alimentarea sursei constă de fapt din doi acumulatori de tip plumb acid cu celulă de gel cu următoarele caracteristici:

- tensiune nominală: 12 V;
- capacitate nominală: 7.2 Ah.

Cei doi acumulatori se conectează în paralel, după următoarea schemă (fig. 15).

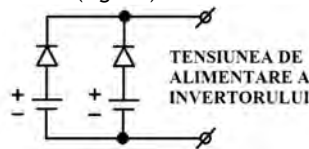


Figura 15. Legarea în paralel a acumulatorilor cu diode de echilibrare a tensiunilor

Pentru regimul de descărcare de 7 A, pentru fiecare acumulator, va rezulta: $12 \text{ V} \cdot 14 \text{ A} = 168 \text{ W}$, valoare care satisface cerința pentru sursa 3 de alimentare din schema prezentată mai sus ($160 \text{ W} / 3.3 \text{ kV} / 40 \text{ mA}$).

Un *invertor* este un dispozitiv sau un circuit electronic care modifică curentul continuu (DC) în curent alternativ (AC). Tensiunea de intrare, tensiunea și frecvența de ieșire, precum și puterea totală de lucru depind de proiectarea dispozitivului sau a circuitelor specifice. Invertorul nu produce nici o putere; puterea este furnizată de sursa de curent continuu (în acest caz bateria de acumulatori).

Un invertor de putere tipic necesită o sursă de curent continuu, relativ stabilă, capabilă să furnizeze suficient curent pentru cerințele de energie necesare ale sistemului. Tensiunea de intrare depinde de proiectarea și scopul invertorului.

Un invertor poate produce o undă pătrată, undă sinusoidală modificată, undă sinusoidală cu impulsuri, undă modulată în lungime de impuls (PWM) sau undă sinusoidală pură, în funcție de *designul* circuitului. Cele două tipuri de forme de undă comercializate, dominante pentru invertoare, începând cu anul 2007, sunt undele sinusoidale pure, respectiv undele sinus modificate.

S-a folosit un invertor cu undă sinusoidală pură ($12\text{V}/230\text{V}-$) la $50 \text{ Hz}/300 \text{ W}$.

Transformatorul ridicător de înaltă tensiune se calculează conform algoritmului clasic [10], pentru o tensiune eficientă de circa 2.5 kV și un curent în secundar $> 50 \text{ mA}$. Pentru dimensionarea secțiunii miezului trafo se folosește relația de proiectare: $S_{Fe}[\text{cm}^2] = 1.2\sqrt{P[\text{W}]}$, unde P reprezintă puterea în primarul transformatorului și se consideră un randament de 0.85.

Redresorul de înaltă tensiune nu implică probleme tehnice deosebite; diverse scheme practice de redresoare, mono sau dublă alternanță, directe sau cu dublare/multiplicare de tensiune, cu alimentare din transformator sau de la rețea, se pot găsi în bibliografia de referință. În acest caz a fost folosit un redresor mono-alternanță.

3.2. Teste și rezultate experimentale

În cadrul testelor s-a urmărit în principal încercarea în gol și în regim de sarcină a tuturor componentelor și în principal testarea invertorului și transformatorului ridicător de înaltă tensiune.

În fig. 16, se arată dispunerea montajului experimental cu cele 4 componente specificate anterior, respectiv aparatele de măsură folosite:

- osciloscop;
- kilovoltmetru portabil;
- kilovoltmetru etalonat;
- divizor de înaltă tensiune.



Figura 16. Montajul experimental folosit pentru teste electrice

Etapele testelor se pot sintetiza astfel:

- testarea la cicluri de încărcare/descărcare și în regim de suprasarcină a acumulatorului sigilat cu gel;
- testarea invertorului în regim nominal și în regim de suprasarcină;
- testarea/încercarea transformatorului ridicător de înaltă tensiune.

În oscilogramele din fig. 17 se arată formele de undă la ieșirea invertorului, în cazul funcționării la parametri nominali, respectiv în regim de suprasarcină. Se observă că atâta timp cât nu se depășește puterea nominală a invertorului, unda de tensiune $230 \text{ V}/50 \text{ Hz}$ este o sinusoidă pură; la depășirea puterii, unda poate fi puternic deformată.

În oscilogramele din fig. 18 se arată formele de undă în secundarul transformatorului ridicător de înaltă tensiune, respectiv tensiunea redresată. Se observă că tensiunea redresată nu este practic influențată de regimul de suprasarcină (forma deformată a tensiunii în primarul transformatorului ridicător de tensiune), astfel încât prin dispunerea unui condensator de valoare mai mare după redresor, se poate obține o tensiune continuă, fără riplu (ripple).

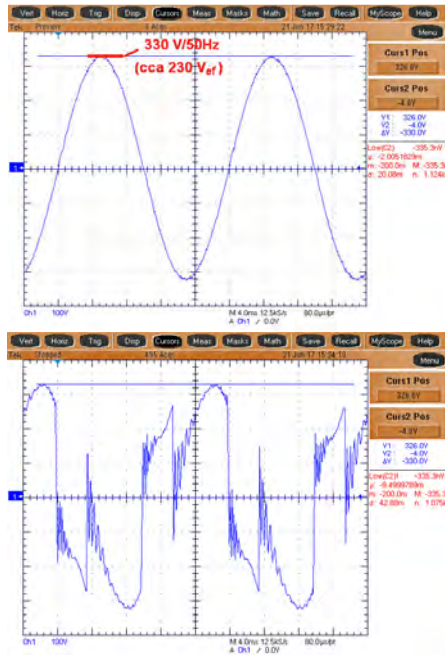


Figura 17. Testarea invertorului în regim nominal și la suprasarcină

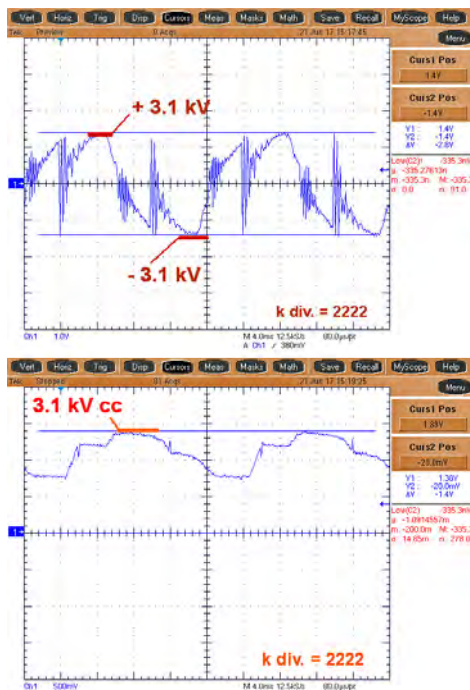


Figura 18. Forme de undă caracteristice pentru înaltă tensiune, în regim de suprasarcină

Testele și experimentele efectuate au confirmat faptul că soluția constructivă aleasă este corectă, modelul realizat constituind practic una dintre sursele DC de înaltă tensiune, cerute pentru alimentarea instalației de sudare. La realizarea unui model experimental de instalație pentru uz industrial se vor folosi componente profesionale, de mare fiabilitate, iar filtrarea în vederea obținerii unei tensiuni înalte, fără

riplu, se va face în conformitate cu schema bloc prezentată în fig. 19.

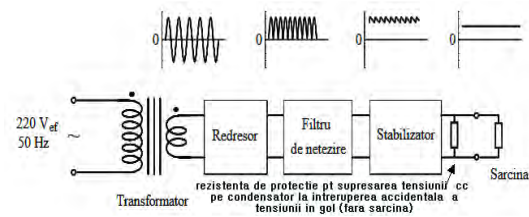


Figura 19. Schema bloc de principiu pentru obținerea înaltei tensiuni, redresată, filtrată, stabilizată

4. Concluzii

În articol se prezintă, pe lângă generalități și clasificări ale surselor de înaltă tensiune, în speță generatoare de impuls și surse de curent continuu folosite în aplicații speciale, două montaje specifice.

Primul dintre ele este un generator de impuls tip Marx, capabil să producă impulsuri de înaltă tensiune la un curent mare, de ordinul kA. Acest generator este dedicat unei instalații de fragmentare selectivă (roci/conglomerate, deșeuri).

Pentru a realiza cerințele fizice ale fenomenului, impulsurile trebuie să aibă caracteristici relativ dificil de atins:

- valoarea maximă a tensiunii: cca. 2 - 300 kV;
- frecvența de repetiție: 1 - 10 Hz;
- timpul de creștere mai mic decât 300 ns.

În cadrul acestei lucrări a fost prezentată, de asemenea, realizarea și testarea unei variante originale de sursă de c.c., 3.3/6.5 kV, izolată electric pentru alimentarea tunului de electroni a unei instalații de sudură.

Schema electrică de alimentare a instalației de sudare cu fascicul de electroni propusă în cadrul acestei lucrări prezintă următoarele avantaje:

- Elimină transformatoarele de izolare (50 kV) care constituie aparate electrice costisitoare, de gabarit mare, care fac obiectul unor comenzi speciale;
- Elimină transformatorul de izolare la 20 kV (fig. 12);
- Permite realizarea unor economii substanțiale de spațiu și material;
- Eficiență energetică ridicată.

În articol se subliniază faptul că dezvoltarea accentuată a componentelor solid-state cu caracteristici de excepție (tensiune, curent, viteză de comutație) conferă posibilități noi în proiectarea și realizarea acestor surse.

5. References

- [1] BLUHM H., FREY W., GIESE H., HOPPE P., SCHULTHEISS C., STRASSNER R., „Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling”, in *IEEE Trans. Dielectrics Electr. Insul.* 2000; vol. 7(no. 5): pp. 625-636.
- [2] SJOMKIN B.W., USSOW A.E., KURETS V.I., *The Principles of Electric Impulse Destruction of Materials* (N. E Tusow, Editor). Russian Academy of Sciences, Kola Science Center; 1995.
- [3] Selfrag (2006 February). *Selective Fragmentation of Materials by Means of Electric Pulsed Power*. retrieved: June 15, 2017, from: <http://www.sediment.uni-goettingen.de/seminar/selfrag/selfFrag->

- Lab%20Brochure_E.pdf.
- [4] VIZIR V.A., KOVALCHUK B.M. et al. „High Voltage Generator for Dynamic Fragmentation of Rocks”. in *Pulsed Power Technology, Review of Scientific Instruments*. Oct. 2010; vol. 81(issue 10): p. 103506.
- [5] BĂDIC M., PINTEA J., „Fragmentarea selectivă cu impulsuri de înaltă tensiune: o tehnologie de vârf” (Selective Fragmentation by High Voltage Impulses - a Cutting-Edge Technology). in *Electrotehnica, Electronica, Automatica (EEA)*. 2016; vol. 64(no. 1): pp. 117-127.
- [6] MARX E., “Verfahren zur Schlagprüfung von Isolatoren und anderen elektrischen Vorrichtungen”, German Patent 455933, 1923.
- [7] MARX E., “Versuche über die Prüfung von Isolatoren mit Spannungstößen”, in *Elektrotech. Z.* 1924; vol. 25, pp. 625-654.
- [8] HAGOP INJEYAN, GREGORY GOODNO, *High-Power Laser Handbook*, Mc Graw Hill, 2011.
- [9] ADRIAN ROTARU, *Dezvoltarea unei instalatii de sudura cu fascicul de electroni in 7 axe [Development of a welding installation with electron beam in 7 axes]*, Universitatea Bucuresti, Facultatea de Fizica, 2015.
- [10] <https://en.wikipedia.org/wiki/Transformer>.
- [11] WANG E., SHI F., MANLAPIG E., “Pre-weakening of mineral ores by high voltage pulses”. in *Minerals Engineering*. April 2011; vol. 24(issue 5): pp. 455-462.
- [12] WANG E., SHI F., MANLAPIG E., “Mineral liberation by high voltage pulses and conventional comminution with same specific energy levels”. in *Minerals Engineering*. February 2012; vol. 27-28: pp. 28-36.
- [13] WANG E., SHI F., MANLAPIG E., “Factors affecting electrical comminution performance”. in *Minerals Engineering*. July 2012; vol. 34: pp. 48-54.
- [14] DAL MARTELLO E., BERNADIS S., LARSEN R.B., TRANELL G., DU SABATINO M., ARNBERG L., “Electrical fragmentation as a novel route for the refinement of quartz raw materials for trace mineral impurities”. in *Powder Technology*. July 2012; vol. 224: pp. 209-216.
- [15] FUJITA T., YOSHIMI I., SHIBAYAMA A., MIYAZAKI T., ABE K., SATO M., YEN W.T., SVOBODA J., “Crushing and Liberation of Materials by Electrical Disintegration”. in *The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*. 2001; vol. 1(no. 2): pp. 113-122.
- [16] YE H., LIU X., “The design of HV Source for Electron Beam Welder Based on Computer Technology”. in *Proc. 2nd Int. Conf. on Computer Science and Electronics Eng.*; 2013 March 22-23; Hangzhou, China; p. 991-994.
- [17] LIU Z., WEI S., ZHU S., SU Z., LI M., CHEN X., “Development of Power Supply For Inverter Electron Beam Welder based on Zero-Voltage Switching Technology”. in *Applied Mechanics and Materials*. August 2013; vol. 389: pp. 467-470.
- [18] VILLEGAS P.J., DÍAZ J., PERNÍA A.M., MARTÍNEZ J.A., NUÑO F., PRIETO M.J., “Filament Power Supply for Electron Beam Welding Machine”. in *IEEE Trans. on Industrial Electronics*. March 2015; vol. 62(no. 3): pp. 1421-1430.
- [19] SHCHERBAKOV A.V., “Modern Principles for Construction of Power Sources for Electron-Beam Welding Units”. in *Russian Electrical Engineering*. 2012; vol. 83(no. 4): pp. 28-34.
- [20] SEMENOV Y.I., AKIMOV V.E., BATAZOVA M.A., DOVZHENKO B.A., et al., “60 keV 30 kW Electron Beam Facility for Electron Beam Technology”. in *Proc. 11th European*

Particle Accelerator Conf.; 2008 June 23-27; Genoa, Italy; p. 1887-1889.

- [21] WEGLOWSKI M.ST., BLACHA S., PHILLIPS A., “Electron beam welding - Techniques and trends - Review”. in *Vacuum*. August 2016; vol. 130: pp. 72-92.

Acknowledgment

This work was financially supported by UEFISCDI of Romania, under the scientific Programme Partnerships in priority areas PNII: “Instalație pentru reciclarea deșeurilor prin impulsuri electrice de înaltă tensiune”; No.84/2014.

Biographies



Mihai BĂDIC was born in Bucharest (Romania), on June 15, 1951.

He graduated from the University Politehnica of Bucharest (Romania) in 1975.

He received the PhD degree in electrical engineering, from the University Politehnica of

Bucharest in 2001.

At present, he coordinates researches in Electromagnetic Compatibility Laboratory of INCDIE ICPE-CA and high voltage testing laboratory in OICPE (Romania).

His research interests concern: electromagnetic compatibility, electromagnetic shielding, high voltage and current impulse generators, electromagnetic and high engineering measurement. *Correspondence address:* INCDIE ICPE-CA, Bucharest, Splaiul Unirii, no. 313, sector 3, e-mail: mihai.badic@icpe-ca.ro



Cristian MORARI was born in Lupeni (Romania), on May 9, 1978.

He graduated the University of Bucharest, Faculty of Physics (Romania), in 2005.

He received the PhD degree in electrical engineering from the University Politehnica of

Bucharest (Romania) in 2015.

Currently, he is a researcher at INCDIE ICPE-CA, Bucharest (Romania).

His research interests concern: electromagnetic compatibility, electromagnetic field measurements, and testing materials with electromagnetic shielding capabilities.

Correspondence address: INCDIE ICPE-CA, Bucharest, Splaiul Unirii, no. 313, sector 3, e-mail: cristian.morari@icpe-ca.ro



Jana PINTEA was born in Pochidia (Romania), on October 5, 1957.

She graduated from the University Politehnica of Bucharest (Romania) in 1982.

She received the PhD degree in electrical engineering, from the University Politehnica

of Bucharest in 2007.

She is a researcher at INCDIE ICPE-CA, Bucharest (Romania).

Her research interests concern: the development of composite materials for piezoelectric actuators, PZT piezoelectric sensors, and researches on materials used as electromagnetic shields.

Correspondence address: INCDIE ICPE-CA, Bucharest, Splaiul Unirii, no. 313, sector 3, e-mail: jana.pintea@icpe-ca.ro

- [ModTech Romania <office.modtech@gmail.com>](mailto:office.modtech@gmail.com)
-
- Jul 7 at 12:33 PM

To

- tudor.chereches@yahoo.com

Message body

Dear Colleague,

On behalf of Organizing Committee I would like to express many thanks for your papers submitted to our International Conference with the publication in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

Please find as attached files your paper submitted to ModTech2017 in order to be published on IOP Conference Series.

Please read carefully and confirm to me that everything is OK, **no later than July 10, 2017.**

As you already know other publications are IJMPT and IJMMT with the deadline on August 20, 2017.

Our International Journal on Modern Manufacturing Technologies was accepted by SCOPUS two years ago and now is under ISI Evaluation with good results so far.

However, in order to get the best results we need more citations. I would like to ask you if it is possible to read our papers from <http://ijmmt.ro/international-journal-ijmmt.php> and make citations on your paper/papers even papers sent to ModTech2017-IOP Conference Series.

Kind regards,
Dumitru Nedelcu

Numerical modelling of processes that occur in the selective waste disassembly installation

T Cherecheș¹, P Lixandru², D Dragnea³ & D M Cherecheș⁴

^{1, 2, 3} SC UPS PILOT ARM SRL, Dragomirești 137210, Romania

⁴Polytechnic University of Bucharest, Splaiul Independentei no. 313, sector 6, 060042, Bucharest, Romania

E-mail: tudor.chereches@yahoo.com

Abstract. This paper is the result of the attempts of quantitative approach of some of the processes that are occurring in the selective fragmentation with high voltage pulses installation. It has been formulated a methodology which customizes the general methods for the issue of transient electric field in mixed environments. The electromagnetic processes inside the fragmentation installation, the initiation and formation of the discharge channels, the thermodynamic and mechanical effects in the process vessel are complex, transient and very quick. One of the underlying principles of the fragmentation process consists in the differentiated reaction of materials in an electric field. Generally in the process vessel there can be found together three types of materials: dielectrics, metal, electrolytes. The conductivity of dielectric materials is virtually zero. Metallic materials conduct very well through electronic conductivity. Electrolytes have a more modest conductivity since they conduct through electrochemical processes. The electrical current, in this case, is the movement of ions having sizes and the masses different from the electrons. Here, the electric current includes displacements of ions and molecules, collisions and chemical reactions. Part of the electrical field's energy is absorbed by the electrolyte in the form of mechanical and chemical energy.

1. Introduction

The selective electrodynamic disassembly is a process that is based on the high-voltage pulse discharge technique. In installations for electrodynamic disassembling occur electrical discharges at voltages of hundreds of kV with energies on the order kJ. By electrical discharging of high voltage in the dielectric materials are produced breakdown channels in that focus a large part of the available energy. Usually, the discharging channels seeks the ways of minimum dielectrically strength. At the forming of the breakdown channel, the substance is passed in gaseous state and in plasma state, in the first moments of the discharging. Status of transformation occurs within a very short time, being consuming of the electrically energy available for changing state parameters. In reference literature are specified very high values for pressure (10,000 MPa), temperature (10,000 K) and density. Basically, density, in the moment of forming discharge channel, takes the density value of the material in which occurs the breakdown. Depending on the amount of energy and duration of the discharging, the dimension of channel section may be as order, units and tens of microns. In the reference material is specified the fact that from electrically energy available, only 10 ... 20% is converted in to thermo-mechanical energy, in useful form. Most of the available energy is consumed for dissociation of molecules, for ionisation of atoms and for bringing them into the plasma state, for local melting, or it is lost by radiations and other forms of energy transfer. With the triggering of the discharge arc, in the

material around the breakdown channel starts a compression shock wave generated by the action of the pressure that is forming on the walls of the channel. The pressure in front of the shock wave reach very high values, in accordance with the internal pressure of the discharge channel. As the shock wave departs, its intensity is reduced accordingly. There is an area in the vicinity of the breakdown channel in which the stressing pressure exceeds the capacity of materials resistance, even for some metals. If material is fibre composite, first breaks the matrix. Essentially, in electro-dynamic fragmentation process, two main forms of energy are involved: energy that produces the discharge arc in the breakdown channel and mechanical energy transferred to the adjacent environment as the shock wave. Only a part of the available electrical energy is converted into mechanical energy, stored in the shock wave. The destructive effect of the shock wave occurs in a field that, depending on the discharge intensity and mechanical characteristics of the material, may have dimensions in the scale of millimetres or more, in cracks situations. In this paper, attention is focused on the mechanical aspect of the process of electro-dynamic selective disassembling. The generation and propagation of shock waves, with the thermo-mechanical processes associated and the state of crossed material are the main directions to follow. Analysis of these processes can lead to fulfil the knowledge, to suggest constructive solutions for facilities fragmentation and optimization technologies. It is chosen an analytical method based on numerical simulations.

2. General conditions of modeling and stages of numerical simulation

Comprehensive scientific research of complex phenomena that occur in dismantling facilities selective electro-dynamic, in addition to theoretical and experimental approach, requires analysis conducted using numerical simulations. Mathematical models for phenomena that occurs in the field of physics are already set, except for some simple problems. The equations that govern these phenomena lead to analytical solutions precise enough to be used effectively. Numerical calculation was and it is a possibility for finding satisfactory solutions to physics problem. The numerical simulations become the main tool for solving problems of continuum mechanics, solids, fluids, electromagnetism field and other areas of physics. Satisfactory numerical solutions are obtained in the magneto-hydro-dynamic, science that deals with the processes of electrical discharges. Methods mainly applied in the numerical simulations of physics problems, in solid environments, liquid or gaseous, are based on meshes discretisation and includes finite difference method (less used because of their stiffness), finite element method - used especially in mechanics of deformable solids and the finite volumes methods (cells) with particular applications in fluid mechanics. The success of the numerical simulations is assured only if the following conditions are respected:

- physical model is, in analysed terms, according to reality on the properties and the laws of physics;
- mathematical model correctly reflect, by the governing equations, boundary conditions and initial, the physical model;
- the meshing model approximates correctly the problem domain, and the finite elements of the mesh (volumes) and SPH is built optimal, for the achievement of nodes density in correlation with the gradients of field functions;
- preparation and introduction of input data on the properties of materials involved in the matter, shall be done using either data from certified reference materials either own experimental data;
- instructions for output files must be selective, watching the intended purpose of simulation;
- presentation of the solution in numerical form, especially graphics, must be suggestive and allow easy interpretation of analysis and the formulation of clear conclusions, useful to purpose in which the numerical simulation is achieved.

3. Numerical modelling of processes occurring in the selective disassembly facility of the waste

Next it shows the physical model of the fragmentation installation with high voltage pulse and the mathematical support of basic electromagnetic processes.

3.1. The physical model of the fragmentation installation with high voltage pulse and the mathematical support of basic electromagnetic processes.

3.1.1. The physical model

Under the procedure, the numerical simulation is applied to a physical model which highlights the facility subjected to research. The physical model of the fragmentation facility with voltage pulse is shown in Figure 1 under partial schematic form [1, 3].

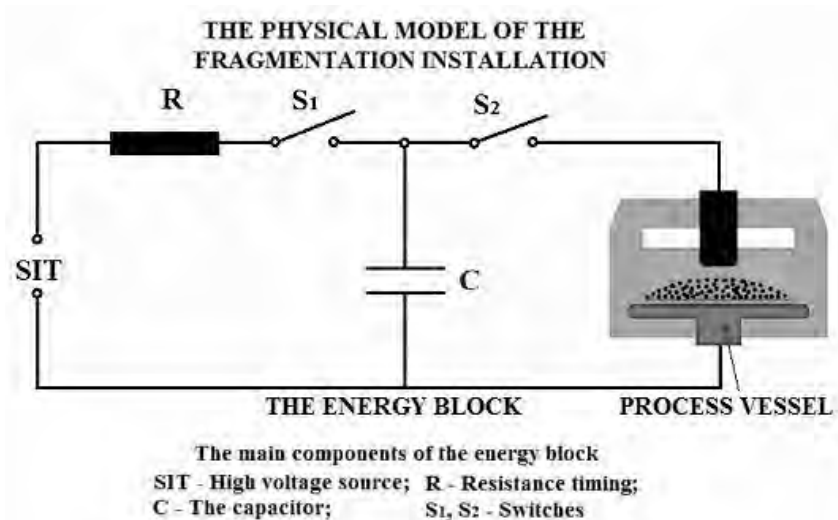


Figure 1. The physical model of the fragmentation facility.

The model can be separated in two main components:

- the energy block;
- process vessel.

The energy block is divided to "turn" in two parts:

- the circuit with high voltage power supply;
- the main circuit that brings the high voltage at electrodes of process vessel.

For analysis is retained only the main circuit, that includes the battery of capacitors C, the switch and the electrodes of process vessel. In the initial state, the battery of capacitors is charged to the maximum voltage.

The main elements of the process vessel (Figure 2) are:

- the two electrodes: the cathode with adjustable position and the anode grounded;
- insulating housing;
- the electrolyte - deionized water;
- material subjected to fragmentation.

The process vessel is sized for an inside diameter of 80 mm and a distance between electrodes of max. 30 mm. The anode, expanded in the available space, forms the hearth on which is placed the processed material.

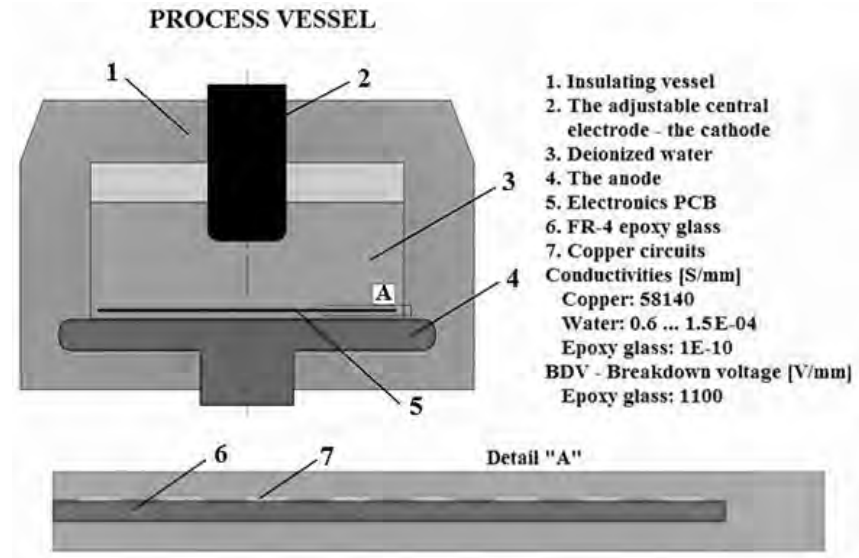


Figure 2. Process vessel.

3.1.2. Main power circuit

Principle scheme of the main power circuit is given in Figure 3. On the scheme were figureate, as individual elements, the variable total resistance of the entire circuit noted with R , that the sum of the electrical resistance of the feed path and the internal resistance of the process vessel, and the total inductance, L .

The circuit thus formed is of electrical loop, RLC type. The switch (the spark gap) is not presented in the drawing, but its effects are incorporated in the R and L sizes.

The intensity of the current $i(t)$ flowing in the circuit satisfies the differential equation:

$$\frac{d^2 i}{dt^2} + 2\left(\frac{R}{2L}\right)\frac{di}{dt} + \frac{1}{LC}i = 0 \quad (1)$$

Between current and the voltage drops on the three components of the circuit there are the following relations:

$$\frac{dU_C}{dt} = \frac{1}{C}i; \quad U_L = L\frac{di}{dt}; \quad U_R = Ri \quad (2)$$

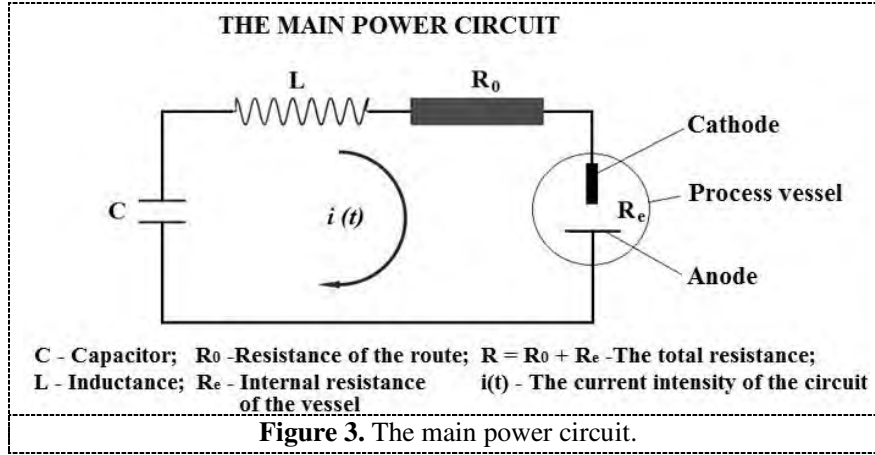
The characteristic equation associated to the differential equation (1), has the form:

$$s^2 + 2\left(\frac{L}{2L}\right)s + \frac{1}{LC} = 0 \quad (3)$$

and has the roots:

$$s_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \quad (4)$$

When the roots are real, operating mode of the loop is aperiodic. For imaginary roots the loop becomes oscillating circuit.



With the notations:

$$\alpha = -\frac{R}{2L}$$

$$\text{and } p = \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}} \text{ if } \left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC} > 0 \quad (5)$$

$$\text{or } p = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \text{ if } \left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC} < 0$$

the solutions are obtained:

a) hyperbolic shape

$$i = e^{-\alpha t} (A \operatorname{ch} pt + B \operatorname{sh} pt); \quad (6)$$

b) trigonometric shape

$$i = e^{-\alpha t} (A \cos pt + B \sin pt). \quad (7)$$

The constants of integration A and B customize the initial conditions in that may be involved and the relations (2).

3.1.3. The electric field in the process vessel

The electric field in a given field, without electric charges distributed inside, is governed by Laplace equation.

$$\Delta V = 0, \quad (8)$$

under the conditions specified on the borders.

The potential V is a function of space and time:

$$V = V(x, y, z, t) \quad (9)$$

From function of potential derive the intensity of electric field

$$\vec{E} = -\text{grad}V, \quad (10)$$

as a vector size.

The current (current density) in the conductor environment, of conductivity σ , is given by relation

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}. \quad (11)$$

Equations (8), (10) and (11) associated with the boundary conditions, form a complete system of differential equations describing the state of conduction from a field.

If the materials are dielectrics, for which $\sigma \rightarrow 0$ practically does not exist conduction.

A domain, like the one studied in this paper, may be busy both of dielectric materials and conductive materials. Generally, the system of equations of the electric field, has analytical solutions in very few cases. If in the problem occurs the time, the solution for the transitional regime becomes unreachable on analytical ways. In practice, the useful solutions are obtained by numerical simulations or on experimental ways. In this paper the solving of electric field equations, stationary or transitory, is looking for and is obtain on numerical way, by simulations of the physical processes using methods based on finite element.

4. The process simulation of selective discharge

This paper aims to establish the characteristics of the installation of selective fragmentation necessary to design and implement an experimental model. As a working method, was appealed the method of numerical simulation in which a limited amount of experimental data was used. In the paper, firstly it makes an analysis of the fragmentation selectivity and then analyses few functional situations. The selective electrodynamic fragmentation is a process for the separation of components of composite structures, especially, those which include metal. The process is used for the recovering of materials from waste products out of use, but can also be applied in manufacturing of ores, to separate the useful components. The process uses for the separation of the components the energy developed by the electrical discharges pulsing, by high voltage, selectively products in the composite structures [1].

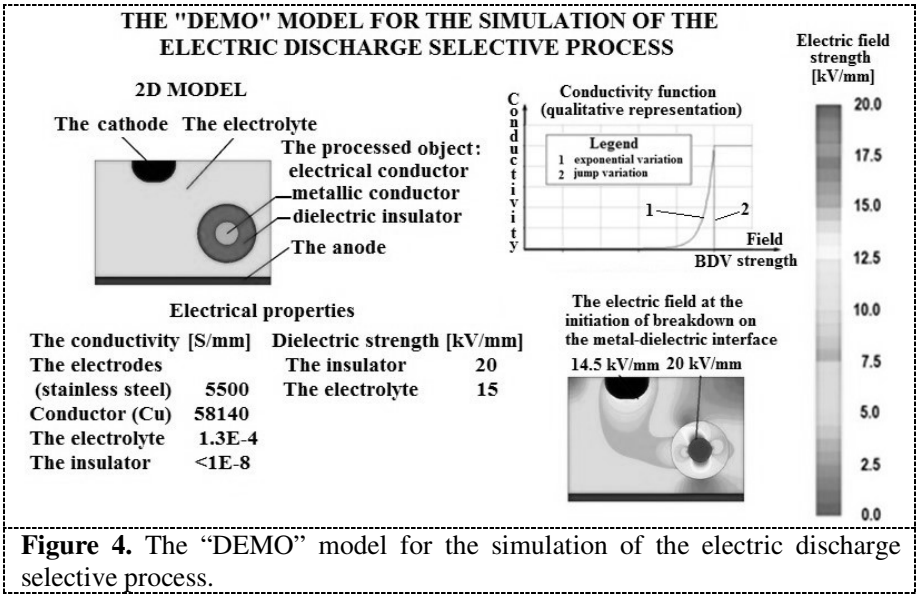
4.1. The simulation on a reduced model

To highlight the selectivity of electrical arc discharging process has been used a simplified model in 2D. Figure 4 shows this model that comprising a part of a hypothetical fragmentation process vessel, in which there are a piece of insulated metallic conductor, an electrolyte and the electrodes. Layout of the objects is such made, that the direct distance between the electrodes to be shorter than the detour route by conductors. The conductivity of materials which come in the structure of the model is shown in figure 4 [4]. For the support of the demonstration it was admitted that the used electrolyte - water - has the degree of wear to which the breakdown voltage reached 15 kV/mm, lower compared from to the insulator one (20 kV/mm). If it would ignore the presence of metal, for this commitment, the electrical discharge should occur through the electrolyte less rigid on the shortest path. Numerical simulation of the electric discharge on this model It has the aim to highlight the importance of the presence of metal in the process of electric field distribution in process vessel.

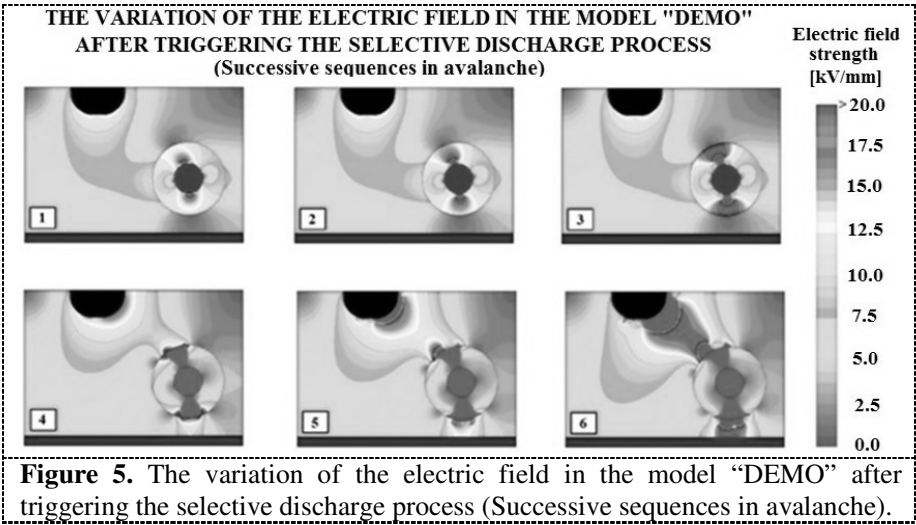
To simplify the numerical simulation, but without losing the quality, a step function for the law of the conduction it was adopted, different to some extent by the law of real. The graph of figure 4 shows this hypothesis, which can be simple formulated, as follows: the material is dielectric up to the achievement of breakdown voltage, after which it becomes conductor. Also in the electrolyte the conduction makes a corresponding jump at the crossing over breakdown voltage (BDV).

Since there are no experimental data available, in the paper was admitted for the conduction state a greater conductivity than 0.1 S/mm. In Figure 4 the electric field at the moment of dielectric breakdown initiation is presented, which corresponds to a supply voltage on electrodes of 54 kV. One

can notice easy the effect of concentrator of the metal on the electric field. In the electrolyte was not yet reached the breakdown voltage of 15 kV/mm.



After the initiation of breakdown process, the electric field has very rapid developments triggered in avalanche figure 5.

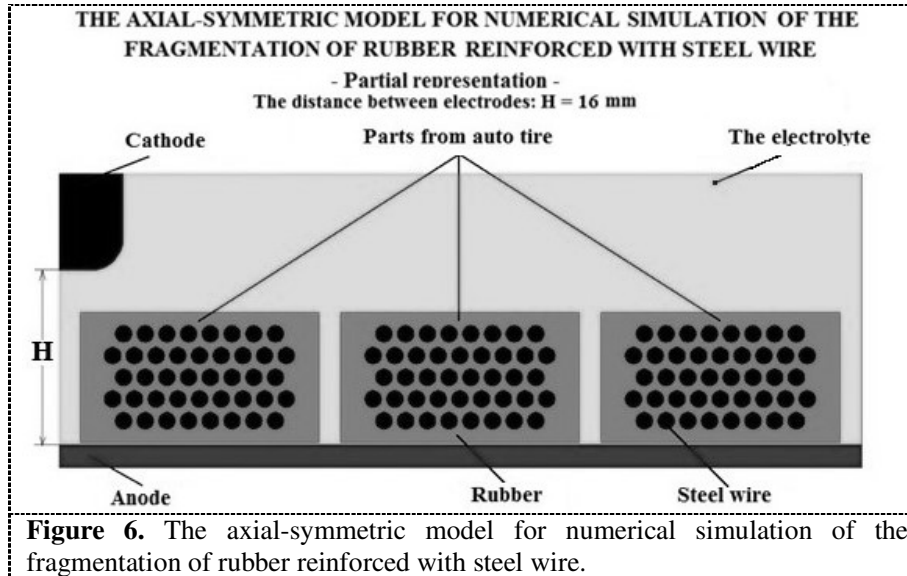


The numerical simulation of the electrical discharge process on the analysed model highlighted the powerful effect of concentration of the electric field on the metal-dielectric interfaces. These concentrations of the electric field become, to the achievement of the breakdown voltage, the nuclei of conduction, which in turn, develops in areas of conduction with fast-growing. At one point by the union of conduction areas is formed the conduction bridge which is the support of electric arc [1, 2].

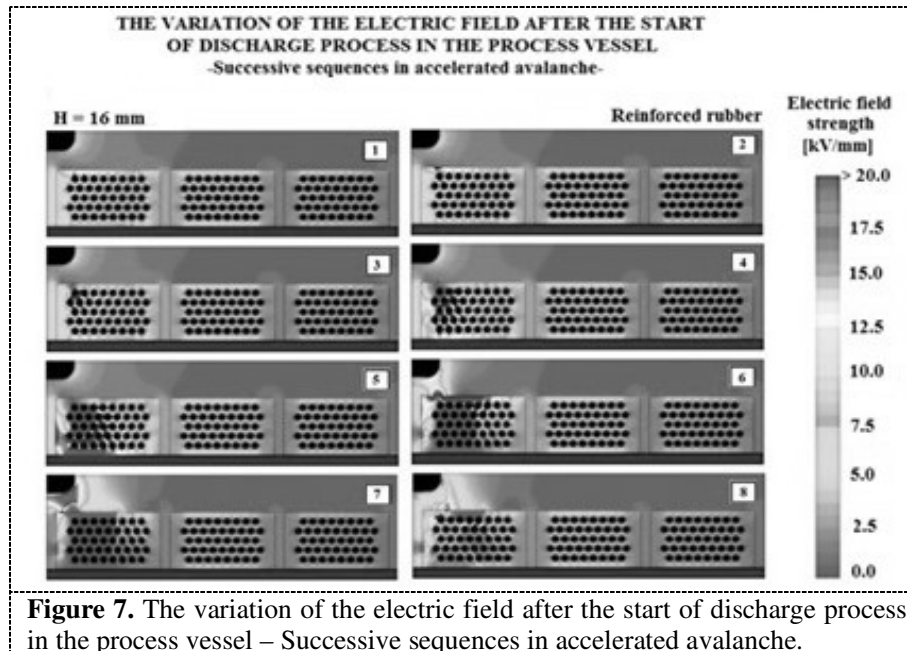
In conclusion, we can say that the selectivity consists in the focusing of electrical discharging at the interfaces between the metal and dielectric components.

4.2. The numerical simulations of the selective fragmentation process applied to the rubber armed with steel wire

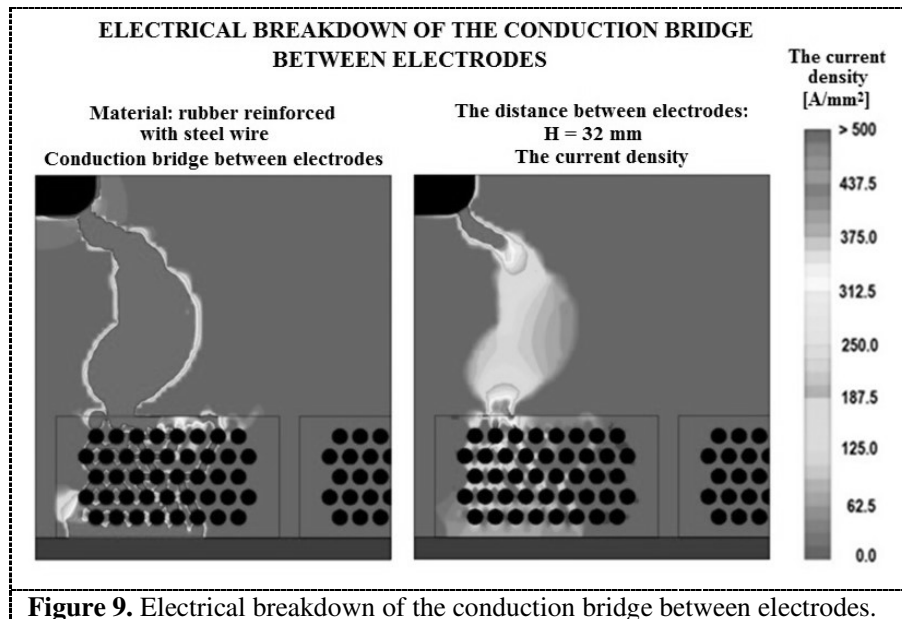
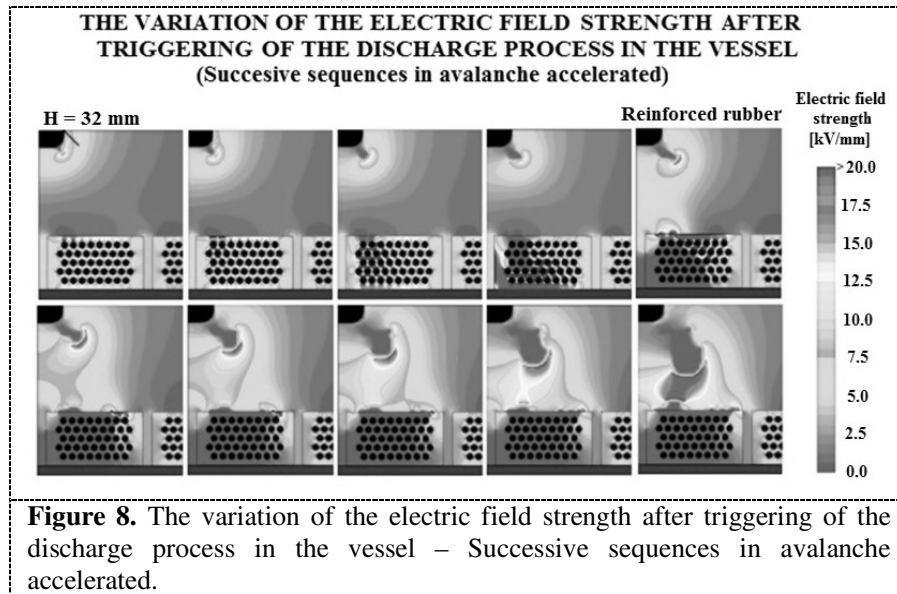
In Figure 6 the arrangement model of the material in the process vessel with the electrodes adjust at the distance of 16 mm.



At this distance between the electrodes the triggering of the discharge process has started at a voltage of 71.5 kV applied to the electrodes. The sequences of the discharging process are summarized in figure 7 and represents the variation in avalanche of the electric field in the process vessel after the start of discharging. The most important finding from the analysis of these distributions is the fact that the presence of the metal attract the electric field and it focuses in the adjacent dielectric.



Following, some results are presented selectively. First, in figure 8 is shown the evolution of electric field and then in figure 9 the situation in the moment of forming of discharge bridge.



5. Conclusions

The analysis of the process vessel with electrodynamic selective fragmentation, made on the basis of numerical simulations, has highlighted a number of very important conclusions at this stage of the research program, even if sometimes were used simple models and input data hypothetical but realistic.

The designed process vessel possibly with some improvements, is functional and can be used in research of electrodynamic selective fragmentation, although the supply voltage was temporarily limited to 200 kV.

In all the analysed cases the selectivity of the process was found.

For efficient use of energy it is necessary that the central electrode to be as close as to the material.

An optimized solution would involve the use of a side isolated cathode.

In the process vessel with the electrode centrally disposed, in the marginal areas the density of energy is very low and, consequently, there cannot be achieved conduction bridges. For remedial is necessary that the central electrode, in addition to the movement of axial advance, must do a transversal movement to ensure an larger area of interaction or may be adopted a flat section of the electrode expanded to the entire section of process vessel.

Block of voltage supply of the process vessel must support the process during maintaining of the arc.

Acknowledgments

This work was supported by a grant of the Romanian National Authority for Scientific Research, CNDI-UEFISCDI, and project number 84/2014.

6. References

- [1] Bluhm H, Frey W, Giesse H, Hoppé P, Schultheiß C, Sträßner R 2000 Application of pulsed HV discharges to material fragmentation and recycling *Institut für Hochleistungsimpuls und Mikrowellentechnik Karlsruhe*, Germany, p 625-636
- [2] John C. Devins, Stefan J. Rzed and Robert J. Schwabe, 1981, Breakdown and prebreakdown phenomena in liquids *Journal of Applied Physics/AIP Publishing* p 4531-4545
- [3] Andres U, 1989, *Parameters of disintegration of rock by electrical pulses (Netherlands/Elsevier Sequoia)* p 265-269
- [4] http://chemistry.mdma.ch/hiveboard/rhodium/pdf/chemical-data/diel_strength.pdf
- [5] Cook R D, Malkus D S, Plesha M E, Witt R J 2002 Concepts and Applications of Finite Element Analysis, John Wiley and Sons, Inc., University of Wisconsin
- [6] Bathe K J, 2007 Finite Element Procedures, Prentice-Hall Inc.



20TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM “THE ENVIRONMENT AND THE INDUSTRY”

PROGRAMME

**Bucharest, Romania
September 28-29, 2017**

**POS16. SELECTIVE FRAGMENTATION – A NEW TECHNOLOGY FOR
WASTE RECYCLING**

Mihai Badic, Jana Pinte, Cristian Morari

National Institute for Research and Development in Electrical Engineering ICPE-CA
Splaiul Unirii, district 3, Bucharest, 030138, Romania, *mihai.badic@icpe-ca.ro*,
jana.pinte@icpe-ca.ro, *cristian.morari@icpe-ca.ro*

**POS17. CHARACTERIZATION OF SOME ESSENTIAL OILS FOR THE
TREATMENT OF MEDICAL FURS**

Olga Niculescu¹, Luminita Albu¹, Gabriela Macovescu¹, Ciprian Chelaru¹, Maria
Carmen Loghin ²

¹National Research and Development Institute for Textiles and Leather – Division
Leather and Footwear Research Institute, 93 Ion Minulescu, Sector 3, Bucharest,
Romania

²“Gheorghe Asachi” Technical University of Iasi, Faculty of Textile –Leather and
Industrial Management, 28 Dimitrie Mangeron, Iasi, Romania

**POS18. STUDY OF WASTE RECOVERY FROM THE PRODUCTION OF
YEAST BAKING INDUSTRY IN AGRICULTURE**

Mihaela Begea¹, Corina Berkesy¹, Laszlo Berkesy², Alexandru Ciric¹, Iuliana
Diana Barbulescu³

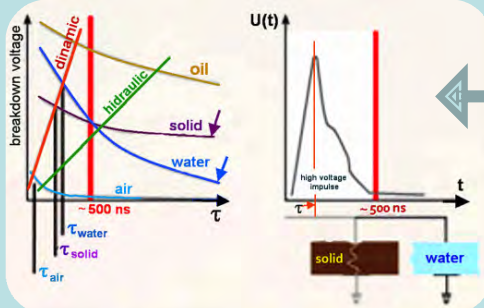
¹University Politehnica of Bucharest, Faculty of Biotechnical Systems
Engineering, 313 Splaiul Independentei, 060042, Bucharest, Romania,
mihaela.begea@gmail.com

²University Babes-Bolyai, Faculty of Environmental Science and Engineering, 30
Fantanele, 400294, Cluj-Napoca, Romania, *cori_laci@yahoo.com*

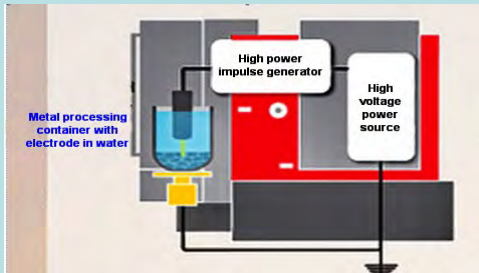
³Pharmacorp Innovation SRL, 313 Splaiul Unirii, 030138, Bucharest, Romania,
barbulescudia@yahoo.com

SELECTIVE FRAGMENTATION – A NEW TECHNOLOGY FOR WASTE RECYCLING

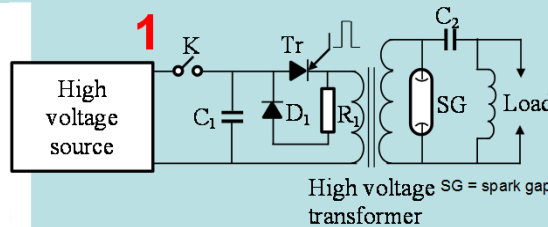
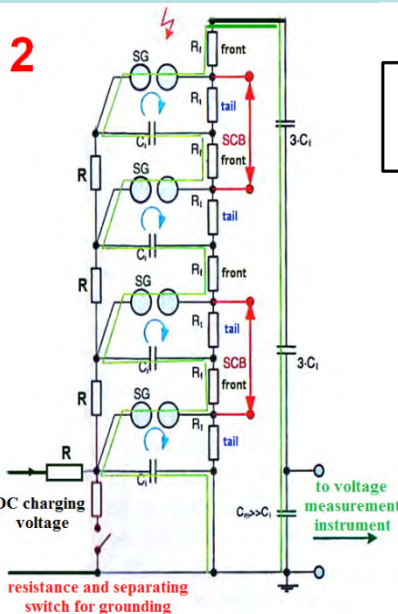
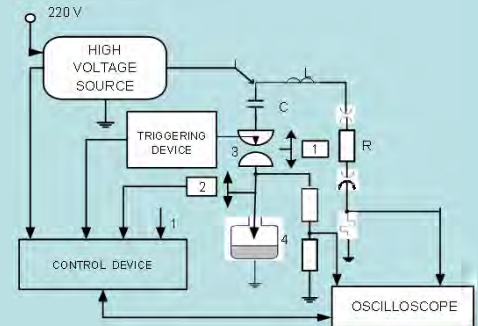
Mihai Bădic, Jana Pinte, Cristian Morari



Waste management, processing, and recycling represent an acute problem of modern civilization. Therefore, new ways of more efficient processing and recycling are needed. This work presents a new electro-technology for waste recycling: the selective fragmentation through High Voltage Repetitive Impulses (HVRI). Theoretical and technical principles of this method, latest developments, and preliminary experiments for achieving an experimental model are described here.

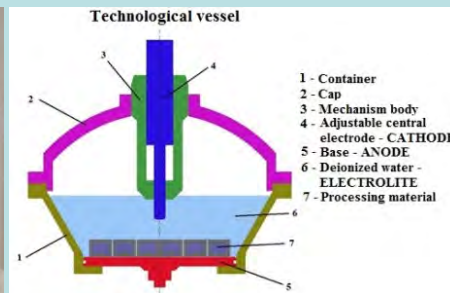
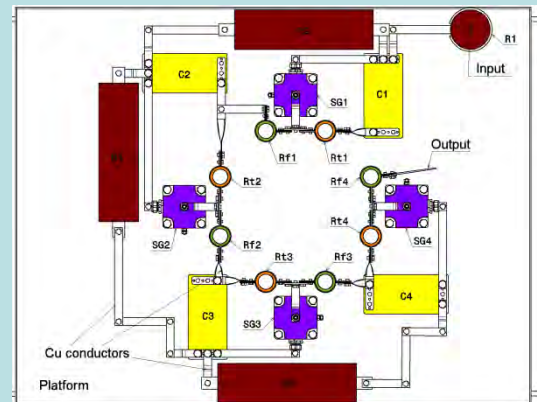


The block diagram of a selective fragmentation equipment



There are two basic principles to achieve selective fragmentation:
•2 electrical discharge circuits & pulse transformer, and thyristor (Tomsk) 1;
•HV impulse generator type Marx (Selfrag) 2.

The right part shows the arrangement of the components of the 4 stages Marx generator built according to the diagram on the left

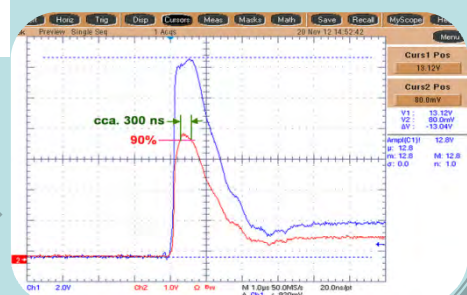


The figures represent the sketch and the practical realization of the technological vessel respectively

The main parameters of installations for selective fragmentation of waste with HVRI: impulse peak voltage 150 kV – 500 kV; impulse repetition frequency 1 Hz – 10 Hz; impulse rise time < 300 ns; volume of processed material: about 1 dm³. On the right is the shape of the high voltage pulse obtained during the experiments.

Acknowledgements

This work was supported by UEFISCDI through the Program PNII Partnerships in priority areas, project no. 84/2014.





CERERE DE BREVET DE INVENTIE

Nr. referinta solicitant/mandatar <i>IC/ICPE-CA/28.08.2017</i>	Registratura OSIM (numarul si data primirii): <i>Apo 594</i> 28-08-2017
---	--

Se completeaza de catre OSIM

Numarul cererii de brevet de inventie	
Data primirii la Registratura Generala a OSIM	
Data de depozit	
Data primirii <u>partii lipsa</u> la Registratura Generala a OSIM	
Data de depozit <u>dupa primirea partii lipsa</u> la Registratura Generala a OSIM	
Data primirii cererii de retragere a <u>partii lipsa</u> la Registratura Generala a OSIM	
Data de depozit atribuita cererii de brevet	

1. Solicitanți (nume și prenume/denumire, adresă de domiciliu/sediu, telefon, fax, e-mail)

Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA

Splaiul Unirii 313, sector 3, Bucuresti, Romania, 030138

Tel: 346 72 31, Fax: 346 82 99

☐ continuare pe pag.3

2. Solicitam în baza Legii nr. 64/1991 privind brevetele de invenție, republicată, modificată prin Legea nr.83/2014 privind invențiile de serviciu acordarea unui brevet de invenție cu titlul:
Instalatie pentru reciclarea deseurilor prin impulsuri electrice de inalta tensiune

2.1. Solicitantul este îndreptățit la depunerea cererii de brevet de invenție în baza :

Legii nr. 64/1991 privind brevetele de invenție, republicată;

Legii nr.83/2014 privind invențiile de serviciu.

X unui contract de cercetare

2.2. Referinta la o cerere depusă anterior (numar, data de depozit, tara/oficiul):

3. Declarăm că inventatorii sunt cei desemnați în formularul „Declarație conținând desemnarea inventatorilor” ☒ anexat ☐ care va fi transmis ulterior

4. Rezumatul invenției se publică împreună cu figura numărul:

5. Revendicăm prioritatea convențională (stat, numar, data depozit):

6. Revendicăm prioritatea internă (numar cerere de brevet, data depozit):

7. Cererea de brevet este:

☐ divizionara din cererea de brevet (numar, data depozit):

☐ transformată din cererea de brevet european (nr., data de depozit)

☐ rezultată din conversia unei cereri de înregistrare a unui model de utilitate (nr. cerere în reg. dată depozit)

8. La data depunerii cererii solicităm următoarele proceduri:

8.1. Publicarea de urgență a cererii de brevet de invenție	☐
8.2. Întocmirea unui raport de documentare	☐
8.3. Întocmirea unui raport de documentare cu opinie scrisă privind brevetabilitatea	☐
8.4. Examinarea cererii cerută la data de depozit	☒

9. Mandatar autorizat (denumire, sediu) :

prin ☐ procura ; sau ☐ procura generală (nr, dată):

10. Solicitantul/reprezentantul desemnat de solicitant (nume, prenume / denumire, adresă/ sediu) pentru corespondența cu OSIM: Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA, Splaiul Unirii 313, sector 3, Bucuresti, Romania, 030138

11. Semnătură solicitanți/mandatar autorizat:

Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA

Director General,

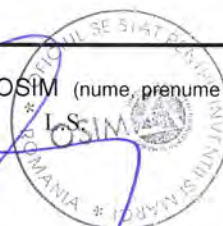
Dr. ing. Sergiu NICOLAIE

12. Documente depuse la OSIM de solicitant/mandatar		14. Documente primite la OSIM	
12.1. Formular de cerere	în ... exemplare, a ... file ☐	în 3 exemplare, a 1 file ☒	
12.2. Descriere	în ... exemplare, a ... file ☐	în 3 exemplare, a 4 file ☒	
12.3. Revendicari	în ... exemplare, a ... file ☐	în 3 exemplare, a 1 file ☒	
12.4. Desene	în ... exemplare, a ... file ☐	în 3 exemplare, a 2 file ☒	
12.5. Rezumat	în ... exemplare, a ... file ☐	în 3 exemplare, a 1 file ☒	
12.6. Lista de secvențe de nucleotide și/sau aminoacizi, parte a descrierii	☐	☐	
12.6.1. pe suport hârtie	în ... exemplare, a ... file ☐	în ... exemplare, a ... file ☐	
12.6.2. pe suport electronic	tip ..., în ... exemplare ☐	tip ..., în ... exemplare ☐	
12.7. Actul din care rezultă dreptul la acordarea brevetului	☐	☐	
12.8. Declarația conținând desemnarea inventatorilor	a ... ☐	a 1 file ☒	
12.9. Procura/copie procura generala	a ... file ☐	a ... file ☐	
12.10. Document referitor la plata taxelor	a ... file ☐	a ... file ☐	
12.11. Act privind solicitarea reducerii taxelor	a ... file ☐	a ... file ☐	
12.12. Autorizația privind transmiterea dreptului de prioritate	a ... file ☐	a ... file ☐	
12.13. Act de prioritate	a ... file ☐	a ... file ☐	
12.14. Act referitor la depozitul microorganismului/materialului biologic	☐	a ... file ☐	
12.15. Document privind o divulgare a invenției	a ... file ☐	a ... file ☐	
12.16. Copie/traducere a cererii anterioare de la rubrica 2.2.	a ... file ☐	a ... file ☐	
12.17. Alte documente	a ... file ☐	a 1 file ☒	

13. Persoana care a depus cererea, alta decât solicitantul, mandatarul (nume, prenume, act identitate) :

Confirmare OSIM (nume, prenume și dată)

REFERENT
BRÂNDUȘA
TÂRNĂUCEANU



Declarație

conținând desemnarea inventatorilor invenției cu titlul:

Instalație pentru reciclarea deșeurilor prin impulsuri electrice de înaltă tensiune

..... care face obiectul cererii de brevet cu nr. și data de depozit

Această declarație este făcută și depusă la OSIM până la data luării unei hotărâri privind cererea de brevet de invenție

Nume și prenume: BĂDIC Mihai

Cota de participare 35 %

Adresa de domiciliu: Str. Cîmpia Libertății nr. 5, Bl. PM60, Sc. 2, Ap. 86, Sector 3, București

Locul de muncă la data creării invenției: Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA, București, România

Nume și prenume: MORARI Cristian

Cota de participare 20%

Adresa de domiciliu: Str. Tudor Vladimirescu nr. 12, Bl. E1, Sc.2, Et. 5, Ap.51, Lupeni, Jud. Hunedoara

Locul de muncă la data creării invenției: Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA, București, România

Nume și prenume: CHERECHEȘ Tudor

Cota de participare 15%

Adresa de domiciliu: Str. Mihail Sebastian, nr. 136, Bl. V90, Sc. 5, Ap. 144, CP 050761, Sector 5, București

Locul de muncă la data creării invenției: SC UPS PILOT ARM SRL, Târgoviște, România

Nume și prenume: LIXANDRU Paul

Cota de participare 15%

Adresa de domiciliu: Calea 13 Septembrie, Nr. 117, Bl. 123, Et. 3, Ap. 8, CP 050717, Sector 5, București

Locul de muncă la data creării invenției: SC UPS PILOT ARM SRL, Târgoviște, România

Nume și prenume: DRAGNEA Daniel

Cota de participare 15%

Adresa de domiciliu: Al. Jieneasca, Nr. 5, Bl. 34, sc. 3, Ap. 41, CP 031845, Sector 3, București

Locul de muncă la data creării invenției: SC UPS PILOT ARM SRL, Târgoviște, România

Alți inventatori sunt înscrși într-o pagină următoare pe un formular identic cu acesta

Semnătura solicitantului sau a mandatarului autorizat (numele și prenumele precum și calitatea persoanei cu capacitate de reprezentare a solicitantului sau a mandatarului autorizat):

Institutul Național de Cercetare Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA

Director General

Dr. ing. Sergiu NICOLAIE

