

## **Core conductive fibres based ESD protective garments. Contract 7-058-2012**

Director proiect șl.dr.ing. Codrin Donciu

**Contractor: Universitatea Tehnică Gh. Asachi din Iași**

### **Etapa I Cercetări asupra comportării ESD/EMC a panourilor de test pentru diverse structuri ale fibrelor conductoare compozite**

#### **Rezumat**

În conformitate cu studiul dezvoltat de Technical Research Center din Finlanda, între 30 și 50% dintre rebuturile obținute în fluxul tehnologic de fabricare al produselor microelectronice au drept cauza descărcările ESD nedorite, în condițiile în care operatorii umani sunt dotați cu echipament ESD, iar spațiile de lucru respectă normele de protecție ESD. Studiile legate de performanțele hainelor ESD arată că pentru obținerea unei haine ESD ideală, trebuie să se îndeplinească simultan două condiții contradictorii:

- Rezistivitatea de suprafață să fie cât mai mică astfel încât timpul de relaxare dielectrică să fie cât mai mic, în situația în care materialul se electrizează
- Rezistivitatea de suprafață să fie cât mai mare astfel încât să nu se permită realizarea unui traseu de descărcare de minimă rezistență care să permită drenarea unei cantități mari de energie electrostatică și de asemenea, să nu reprezinte o cale de scurt circuit prin contact cu dispozitivele manipulate.

În aceste condiții, prezentul proiect are ca obiectiv central realizarea unui nou tip de haină ESD care în schema echivalentă de tip teaca-miez să fie la exterior, la nivelul tecii, realizată din material disipativ cu rezistivitate de suprafață mare iar la interior, la nivelul miezului, realizată din material conductor. Elementul pe care se bazează o astfel de configurație teaca-miez o reprezintă firele/fibrele textile cu miez conductor.

Trebuie remarcat faptul că utilizarea firelor textile cu miez conductor în realizarea produselor textile se realizează fără asigurarea continuității electrice. Din această cauză fabricarea firelor textile cu miez conductor este limitată, existând un număr limitat de producători, aceste fire/fibre nefiind cu precădere destinate aplicațiilor de tip ESD.

Tricotarea integrală, aplicată ca metodă de realizare a produselor textile în cadrul acestui proiect, reprezintă soluția asigurării continuității electrice la nivel de material textil.

În această etapă, au fost investigate tipurile de fire/fibre textile cu miez conductor metalic, care asigură o foarte bună conducție la nivelul miezului și asigură relaxarea optimă din punct de vedere dielectric a materialului textil, la electrizarea acestuia.

Pe baza studiului comparativ al performanțelor fibrelor compozite existente pe piață s-au selectat pentru testări 16 tipuri diferite de fire (cupru monofilament cu diferite forme de izolare la exterior și multifilament cupru și inox în diverse configurații). Pentru fiecare tip de fir conductiv s-a realizat câte un panou de test prin tricotare patent. Panourile au fost testate dielectric, ESD și EMC.

Analiza și interpretarea rezultatelor a stabilit utilizarea în faza a 2-a de implementare a proiectului a firelor monofilament de cupru izolat și testarea limitelor de tricotabilitate pentru acestea.

### Activitățile etapei:

- I.1 Studiu comparativ al performanțelor fibrelor compozite existente pe piață
- I.2. Tricotarea integrală a panourilor de test pentru fibrele selectate. Adaptare echipamente
- I.3. Analiza și caracterizarea din punct de vedere dielectric a panourilor de test
- I.4. Analiza și caracterizarea panourilor din punct de vedere ESD
- I.5. Analiza și caracterizarea panourilor din punct de vedere EMC
- I.6. Analiza și interpretarea rezultatelor, definirea configurației optime a structurii fibrei

**Obiectivul central al etapei:** definirea configurației optime a structurii fibrei din punct de vedere ESD, pe baza analizelor de caracterizare, din variantele existente pe piață

### Metodologia de lucru în cadrul Etapei I.

Pe baza Studiului comparativ al performanțelor fibrelor compozite existente pe piață, s-au selectat firele care să urmeze procedura de analiză. S-a stabilit dimensiunea de realizare a mostrelor de fir tricatat ca fiind de 15/30 cm, în concordanță cu cerințele sistemelor de măsurare și s-a tricatat câte o mostră pentru fiecare tip de fir selectat. Pentru această etapă s-a considerat drept parametru constant tipologia de tricotare iar ca variabilă configurația firului. Mostrele au fost analizate și caracterizate. Rezultatele au fost interpretate și s-a definit configurația optimă a structurii firului.

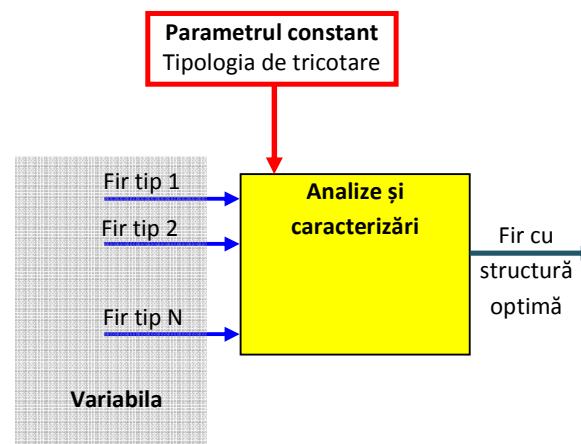


Fig. 1. Metodologia etapei I.

### I.1 Studiu comparativ al performanțelor fibrelor compozite existente pe piață

Studiul a fost axat pe investigarea tipurile de fire/fibre textile cu miez conductor metalic, care asigură o foarte bună conducție la nivelul miezului și asigură relaxarea optimă din punct de vedere dielectric a materialului textil la electrizarea acestuia

Firma italiană **Tecnofilati** prezintă o marcă proprie de fire textile tehnice, Resistex, cu diferite aplicații. Aceste fire sunt obținute fie prin acoperirea unor fire de nailon cu diferite materiale conductoare fie prin combinarea unor fibre textile cu filamente realizate în întregime din materiale conductoare electric. **Resistex Inox** este obținut prin acoperirea unor filamente subțiri din oțel inoxidabil cu fibre textile. Datorită conductivității bune, materialele textile ce folosesc **Resistex Inox** sunt antistatice și oferă o ecranare eficientă față de câmpurile electromagnetice. **Resistex Copper** este obținut prin combinarea și răsucirea fibrelor naturale sau artificiale cu un filament subțire de cupru pur. După cum se

știe, cuprul este al doilea cel mai bun conductor de electricitate, după argint. Prin utilizarea acestuia se obține un fir cu o bună conductivitate electrică, apropiată de cea a firului cu argint, însă la un preț considerabil mai mic. De asemenea sunt de menționat și calitățile cuprului cu privire la ductilitate, robustețe și rezistența la coroziune, ce permit obținerea unor fire foarte subțiri, compatibile cu diferite materiale izolatoare. **Resistex Ego** este obținut prin acoperirea a 99.9% din suprafața unui filament de inox 316 L cu fibre de bumbac și poliamidă. Datorită miezului din inox, **Resistex Ego** este un fir antistatic și poate fi folosit pentru ecranarea câmpurilor electromagnetice.

Un alt producător de fire și fibre ce pot fi utilizate în domeniul protecției ESD, este **Durafil-Conductive**. Produsele oferite de această companie utilizează ca material conductor inoxul, argintul sau carbonul. O variantă de fire, **Durafil Lame King**, este realizată din filamente de inox 100%, de grosimi diferite. Aceste fire prezintă o rezistivitate electrică ce variază între  $10^{-4} \Omega/m$  și  $10^{-2} \Omega/m$  în funcție de grosimea firului. Prin combinarea fibrelor și filamentelor de inox și poliester sunt obținute trei tipuri de fire ale căror rezistivitate electrică variază între  $10^1 \Omega/m$  și  $10^6 \Omega/m$ . Dintre acestea, **Durafil ESD T80** este realizat prin combinarea fibrele de oțel cu filamente de poliester rezultând fire ale căror rezistivitate electrică este cuprinsă între  $10^5 \Omega/m$  și  $10^6 \Omega/m$ . **Durafil Filocon** este realizat prin combinarea filamentelor de oțel cu filamentele de poliester, la care pot fi adăugate opțional și fibre de oțel. Folosindu-se filamente de oțel, se obține o rezistivitate electrică mai mică a firelor, ce se încadrează între  $10^1 \Omega/m$

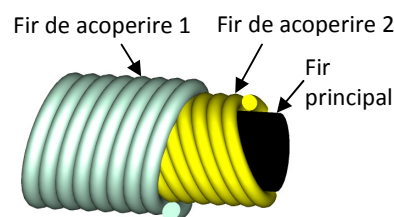


Fig. 1. Structura firelor realizate de W. Zimmermann

și  $10^6 \Omega/m$ . **Durafil M-Spun** este realizat prin combinarea fibrelor de inox cu fibre de poliester la care pot fi adăugate și filamente de inox. În această combinație, se obțin fire ale căror rezistivitate variază între  $10^4 \Omega/m$  și  $10^6 \Omega/m$ . De asemenea producătorul oferă și variante de fire realizate din carbon, polimeri acoperiți cu carbon sau polimeri acoperiți cu argint.

Gama de produse oferite de compania **Bäumlin & Ernst AG** constă în fire obținute prin combinarea de fibre de poliester și poliamidă cu fibre conductoare de carbon sau cupru. Firele astfel obținute sunt conductive din punct de vedere electric și pot fi folosite în cadrul hainelor ESD.

**W. Zimmermann** este o companie din Germania care dispune de un procedeu de fabricare a fibrelor, ce constă în acoperirea unui fir principal (nucleu) cu alte două fire (Figura 1). Prin utilizarea celor două fire acoperitoare, se obține o creștere a rezistenței la rupere a materialelor.

**Bekaert** este o companie internațională ce are ca obiect de activitate prelucrarea metalelor în vederea oferirii de soluții pentru diverse domenii de activitate. Firele oferite de acestea se bazează pe prelucrarea inoxului. Astfel, sunt oferite două variante de fire: o variantă reprezentată de filamente 100% din inox, **Bekinox VN**, și o a doua variantă realizată

prin combinarea filamentelor de inox cu poliester sau bumbac, **Bekinox BK**. În funcție de grosime, primul tip de fire prezintă o rezistivitate electrică cuprinsă între 3.6  $\Omega/m$  și 70  $\Omega/m$ . Aceste fire pot fi utilizate pentru realizarea unui caroiaj, în materialul utilizat pentru fabricarea hainelor ESD, care să asigure protecția împotriva descărcărilor electrostatice. Cel de-al doilea tip de fire, întrucât este obținut prin combinarea filamentelor de inox cu materiale izolatoare, prezintă o conductivitate electrică mai mică, cuprinsă între  $3.5 \times 10^3 \Omega/m$  și  $10^4 \Omega/m$ .

**TIBTECH innovations** prezintă o gamă variată de fire ce pot fi utilizate în domeniul protecției electrostatice. **Thermotech** sunt fire realizate prin combinarea filamentelor de inox și diverse materiale. Valorile rezistivității electrice ale acestor fire sunt cuprinse între 1.8  $\Omega/m$  și 60  $\Omega/m$ . Firele **Conductib** sunt realizate din filamente multiple de cupru și prezintă o rezistivitate electrică cuprinsă între  $3 \times 10^{-2} \Omega/m$  și  $2 \times 10^{-1} \Omega/m$ . De asemenea sunt oferite și fire din poliamidă placate sau filmate cu argint, **Silverpam**. Acestea sunt oferite în două variante cu densități liniare diferite, 95 dtex și 250 dtex, cărora le corespund valori de  $6.6 \times 10^2 \Omega/m$  respectiv  $1.98 \times 10^2 \Omega/m$  ale rezistivității electrice. Firele **Spuntech** sunt realizate din inox 100%, cu grosimi cuprinse între 12  $\mu m$  și 22  $\mu m$  și având valori ale rezistivității electrice cuprinse între  $2 \times 10^2 \Omega/m$  și  $10^3 \Omega/m$ . De asemenea acestea pot fi oferite și în combinații cu diferite fibre precum para-aramide, PBO, 3POA sau materiale termoplastice. **Polynox Duo** sunt fire cu miez din poliester, acoperite cu două straturi dintr-un aliaj electro-conductiv, au o densitate liniară de 340 dtex și o conductivitate electrică de  $4 \times 10^2 \Omega/m$ . Circuitul conductor electric dublu este proiectat ca un sistem de protecție, în cazul în care unul dintre straturi se rupe, sarcina va fi preluată de cel de-al doilea strat.

**Yestar Conductive Material** este o companie specializată în fabricarea de produse conductoare electric ce pot fi utilizate și în soluții de protecție electrostatică. Această companie produce fire obținute prin combinarea **fibrelor de inox** cu fibre de poliester în diferite proporții: 5% fibre inox + 95% fibre poliester, 20% fibre inox + 80% fibre poliester, 28% fibre inox + 72% fibre poliester, 30% fibre inox + 70% fibre poliester. **Filamente de inox** de 0.035 mm în combinație cu fire de bumbac pot fi de asemenea utilizate la protecția ESD. Alte variante puse la dispoziție sunt reprezentate de fire din nailon placate cu **argint** sau **cupru**. **Schoeller Group** propune fire realizate din fibre de poliester (80%) în combinație cu fibre de inox (20%) ce pot asigura protecție electrostatică. **Textronics** prin intermediul firelor **Textro-Yarns** oferă o variantă de fire elastice conductive, care își păstrează proprietățile pentru mai mult de 25 000 de cicluri.

**Mitsufuji Textile Ind.** este o companie japoneză care, la fel ca și **Statex** și **Tecnofilati**, oferă fire acoperite cu un strat de argint. Sunt oferite fire obținute din filamente de nailon acoperite cu argint sau fire obținute prin combinarea fibrelor de argint cu bumbac în diferite proporții (3% argint – 97% bumbac, 5% argint – 95% bumbac, etc.).

**Koolon** prezintă două tipuri de fire ce au la bază inoxul și argintul. Firele pe bază de inox conține inox în concentrații de 1% până la 100%. Cel de-al doilea tip de fire sunt

obținute prin acoperirea cu argint ale unor diferite tipuri de fire. Ambele variante de fire prezintă valori bune ale conductivității electrice, putând fi folosite în fabricarea hainelor de protecție ESD.

Compania **R.Stat** produce două tipuri de fire R.Stat și silveR.Stat. Primul tip este realizat din fibre de inox de grosimi foarte mici (8 μm – 22 μm) ce asigură o conductivitate electrică cuprinsă între 10<sup>3</sup> Ω/m și 1.7×10<sup>4</sup> Ω/m în funcție de grosime. Cel de-al doilea tip de fire sunt realizate prin depunerea unui strat de argint pe suprafața unui fir de poliamidă. Aceste fire au o conductivitate medie de aproximativ 10<sup>5</sup> Ω/m.

**Imattec** comercializează fire din inox ce pot fi de asemenea utilizate în aplicațiile de protecție ESD.

Studiul a fost axat pe fire cu componentă conductoare metalică deoarece acestea reprezintă cea mai bună cale de drenaj a sarcinilor electrostatice în condițiile în care utilizarea lor în configurație izolată nu induce probleme de scurtcircuitare sau de descărcare accelerată.

Reprezentative pentru clasa metalelor s-au considerat cuprul și oțelul inoxidabil, pentru care s-au realizat 16 mostre prin tricotare.

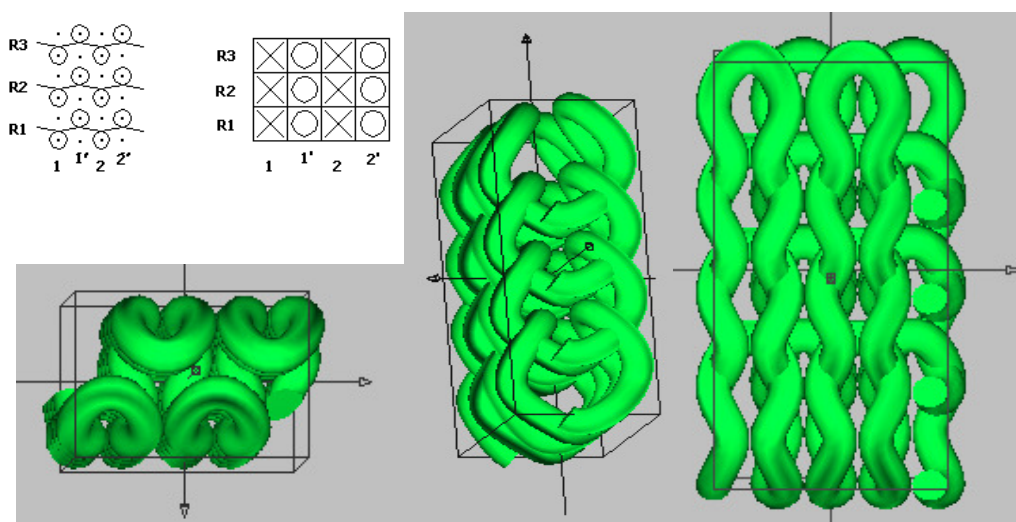
Nr crt.	Cod Intern	Structura fir						Descriere
		Monofilament		Multifilament				
		Mat. teaca	Mat. miez	Miez multifil		Miez monofil		
				Mat. teaca	Mat. miez	Mat. teaca	Mat. miez	
1	1s	Email mătase	Cu	0	0	0	0	0.15 mm Cu emailat acoperit cu strat dublu de mătase
2	2s	Email mătase	Cu	0	0	0	0	0.193 mm Cu emailat acoperit cu un strat de mătase
3	4s	Email	Cu	0	0	0	0	0.14 mm Cu emailat cu poliester
4	5s	Email	Cu	0	0	0	0	0.15 mm Cu emailat
5	6s	Email	Cu	0	0	0	0	0.19 mm Cu emailat
6	7s	Email	Cu	0	0	0	0	0.2 mm Cu emailat
7	8s-BBC	0	0	poliester	inox	0	0	5% fibră de inox + 95% fibră de poliester
8	8s-PES	0	0	0	0	poliester	Cu	Cu monofilar + poliester multifilar
9	9s	0	0	poliester	inox	0	0	30% fibră de inox + 70% fibră de poliester
10	10s	0	0	poliester	inox	0	0	28% fibră de inox + 72% fibră de poliester
11	11s	0	0	poliester	inox	0	0	20% fibră de inox + 80% fibră de

				ter				polyester (2 filamente)
12	12s	0	0	Polies- ter	inox	0	0	20% fibră de inox + 80% fibră de polyester (un filament)
13	13s	0	0	bum- bac	inox	0	0	Bumbac + 0.035 mm inox
14	Cu-ET 0.1	email		0	0	0	0	0.1 mm Cu emailat
15	X	0	Cu	0	0	0	0	0.12 Cu emailat

## I.2. Tricotarea integrală a panourilor de test pentru fibrele selectate.

Pentru realizarea materialelor tricotate cu caracteristici conductive, s-au folosit două tipuri de materii prime: fire textile, PNA 100%, finețe Nm 28/2 și fire conductive. Din punct de vedere structural, s-a optat pentru structură patent 1x1.

Tricoturile patent sunt tricoturi la care se identifică șiruri de ochiuri de aspect diferit, dispuse conform unui raport. În aceste tricoturi ochiurile se dispun în două planuri. Specific pentru structurile patent, mai ales patent de raport 1x1 și 2x2 este tendința șirurilor de ochiuri de pe o parte de a deveni tangente, astfel încât ele prezintă aspect față pe ambele părți ale tricotului.

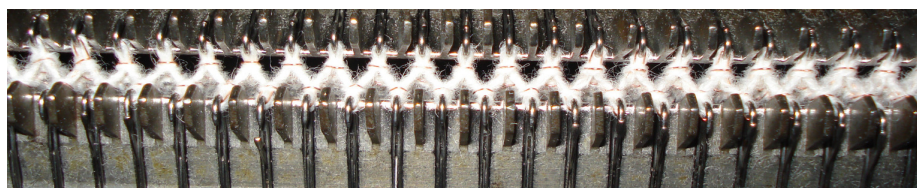


**Fig. 2.** Tricot patent 1x1 – a) reprezentare cu semne convenționale și în secțiunea rândului de ochiuri; b) reprezentare structurală reală 3D

Variantele experimentale pe o mașină rectilinie manuală VKTM, finețe 5E. Alegerea utilajului se justifică prin folosirea de fire conductive cu o rigiditate ridicată, ceea ce îngreunează procesul de tricotare (care presupune buclarea succesivă a acestor fire). Este evident că acest tip de fire poate fi prelucrat prin tricotare, chiar și la o adâncime de buclare scăzută (desime cât mai ridicată), dar există o limită a diametrului acestor fire posibil de prelucrat datorită depășirii rigidității la încovoiere admisibile. Astfel de fire nu sunt buclate suficient și nu pot fi eliminate din zona de tricotare, încărcând acele și chiar distrugându-le.







Pe lângă această problemă legată de tricotabilitate, încercări preliminare au arătat necesitatea folosirii unui utilaj de finețe scăzută, pentru a evita ruperea firelor conductive în momentul tricotării, la cedarea firului.

Firele au fost alimentate simultan – fire textile PAN Nm 28/2/2 și fire conductive, fără a controla depunerea. Alimentarea firelor conductive a necesitat un traseu separat, care să evite formarea unor unghiuri prea ascuțite și oscilațiile cauzate de antena compensatoare. În plus, rigiditatea specifică a firelor conductive a necesitat controlul suplimentar al dispunerii acestora pe traseul de alimentare. Lipsa controlului depunerii pe ace a dus la poziționarea aleatorie a firului conductiv în raport cu firul textil.



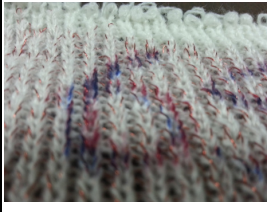


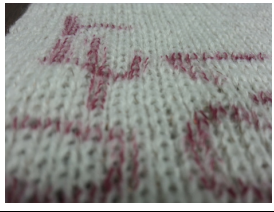





**Fig. 3.** Realizarea tricoturilor patent 1x1 cu fire conductive

Tricoturile au fost relaxate în mediu uscat timp de 72 de ore, pentru a elimina orice variație dimensională. Parametrii de structură ai tricoturilor determinați prin măsurare sunt: desimea tricoturilor și masa unității de suprafață. Desimea tricoturilor a fost exprimată conform cerințelor pentru o unitate de lungime de 5 cm.

Nr. crt	Cod intern	Desimi		Foto	Nr. crt	Cod intern	Desimi		Foto
		Do (șir/5 cm)	Dv (rând/5cm)				Do (șir/5 cm)	Dv (rând/5cm)	
1	1s	14	21,0		9	9s	15,5	19,5	
2	2s	12	21,5		10	10s	16,0	20,0	
3	4s	15,0	21,5		11	11s	15,0	21,0	



4	5s	15,0	21,0		1 2	12s	15,5	20,0	
5	6s	15,0	21,5		1 3	13s	15,5	20,0	
6	7s	15,0	21,5		1 4	Cu- Et- 0,1	15,0	18,5	
7	8s PES	15,5	19,5		1 5	X	15,0	18,0	
8	8s bbc	15,5	21,0						

### I.3. Analiza și caracterizarea din punct de vedere dielectric a panourilor de test

Spectroscopia dielectrică reprezintă analiza interacțiunii dintre un material și câmpul electric care acționează asupra sa. Această metodă este larg utilizată pentru analiza răspunsului dielectric al materialelor în scopul determinării celor mai potrivite aplicații și se bazează pe fenomenele de polarizare electrică și de conducție electrică, la nivel microscopic existând diferite mecanisme de polarizare.

Moleculele polare sunt cele în care atomii constituenți sunt aranjați geometric astfel încât molecula are un pol electric încărcat pozitiv și unul încărcat negativ (exemplu molecula de apă).

Moleculele nepolare sunt caracterizate de o simetrie geometrică a atomilor constituenți, astfel încât molecula să nu posedă neuniformitate în distribuția sarcinilor electrice.

Conductorii și izolatorii au un răspuns diferit la interacțiunea cu câmpul electric, datorită diferențelor existente la nivelul structurii atomice.



În cazul conductoarelor plasate în câmp electric, sarcinile existente se deplasează la nivelul corpului metalic astfel încât la nivel macroscopic acesta devine electrizat. Dacă câmpul electric este generat de un corp încărcat pozitiv, vor apărea sarcini negative pe partea conductorului îndreptată spre respectivul câmp, în timp ce sarcinile pozitive se vor deplasa în partea opusă. Aceasta deplasare se realizează la suprafață, în interiorul metalului câmpul electric fiind nul.

Fiecare mecanism de polarizare este caracterizat de o frecvență proprie de rezonanță și de relaxare dielectrică. Polarizările dielectricilor pot fi clasificate în patru categorii: polarizare electronică, polarizare ionică, polarizare de orientare și polarizare interfacială.

Primele trei tipuri de polarizări apar atunci când sarcinile sunt legate în interiorul atomilor sau moleculelor materialelor analizate. Există însă și sarcini care se pot deplasa prin material atunci când un câmp electric exterior este aplicat. În momentul în care aceste sarcini sunt împiedicate să se deplaseze, întâlnim polarizarea interfacială.

- **Polarizarea electronică** este specifică atomilor neutri și constă în deformarea învelișului electronic al atomului, prin deplasarea norului de electroni, încărcăți negativ, în raport cu nucleul, încărcat pozitiv, sub influența unui câmp electric exterior.
- **Polarizarea ionică** apare în cazul materialelor ionice și constă deplasarea cationilor în direcția câmpului electric exterior și a anionilor în direcția opusă, ceea ce va conferi un moment electric dipolar nenu întregului material.
- **Polarizarea de orientare** este caracteristică materialelor cu molecule polare și constă în orientarea dipolilor în direcția câmpului electric.
- **Polarizare interfacială** este datorată acumulărilor de sarcini electrice în zonele de neomogenitate ale materialului care lucrează ca o barieră în deplasarea sarcinilor.

Dielectricii conectați între electrozii de măsură sunt condensatoarele reale, cu pierderi.

La alimentarea în tensiune alternativă vor avea curentul defazat înaintea tensiunii cu un unghi mai mic de  $90^\circ$ . Complementarul acestui unghi, față de  $90^\circ$  se numește unghi de pierderi și se notează  $\delta$ . Condensatorul real poate fi echivalat cu un condensator ideal în serie sau în paralel cu o rezistență care reprezintă pierderile în dielectric (fig. 4).

Pentru schema echivalentă serie, curentul este comun pentru ambele componente și se consideră fazor de referință. Tensiunea pe rezistență nu prezintă defazaj față de curent, dar tensiunea de pe condensatorul ideal este defazată cu  $90^\circ$  față de curent.

Factorul de pierderi,  $tg\delta$  pentru un condensator real, în schemă echivalentă serie va avea expresia:

$$tg\delta = \frac{U_R}{U_C} = \frac{IR_S}{I \frac{1}{\omega C_S}} = \omega R_S C_S$$

Pentru schema echivalența în paralel, tensiunea este comună pentru ambele componente și se considera fazor de referință.

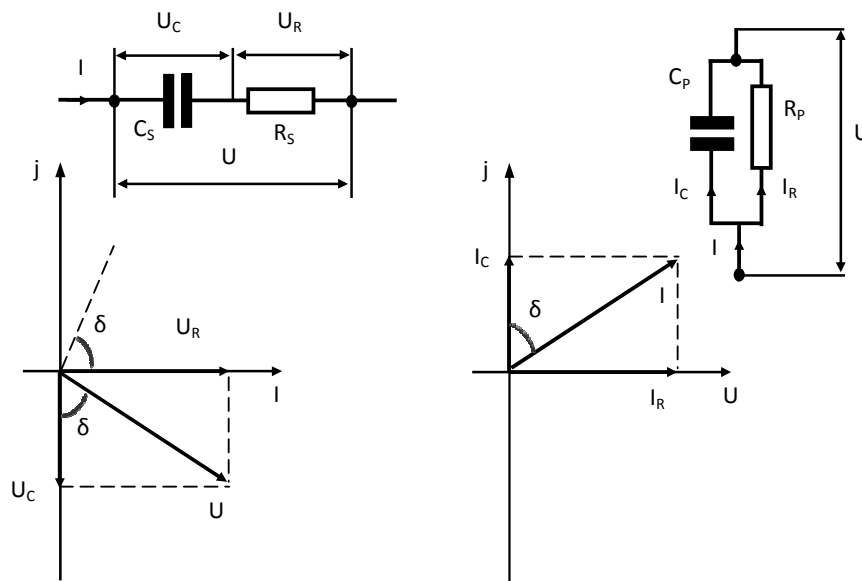


Fig.4 . Echivalența serie și paralel pentru condensatorul real

Curentul care străbate rezistența nu prezintă defazaj față de tensiune, dar curentul care străbate condensatorul ideal este defazat cu  $90^\circ$  față de tensiune. Factorul de pierderi  $tg\delta$  pentru un condensator real, în schemă echivalență în paralel va avea expresia:

$$tg\delta = \frac{I_R}{I_C} = \frac{\frac{U}{R_P}}{\frac{U}{\frac{1}{\omega C_P}}} = \frac{1}{\omega R_P C_P}$$

Caracterizarea dielectrică se referă la evaluarea mobilității relative a zonelor polarizate (într-un polimer, zonele polarizate sunt date de dipoli și ioni). Această mobilitate este investigată prin aplicarea unei tensiuni sinusoidale asupra probei prin intermediul electrozilor și măsurând curentul și defazajul dintre tensiune și curent.

Mostrele au fost analizate utilizând un sistem Novocontrol. Impedanța probei de măsurat este determinată direct prin măsurările sensitive de fază ale tensiunii și curentului probei la o frecvență dată. Celula de măsură standard este un condensator cu plăcuțe paralele plate cu diametrul de la 10 - 40 mm și cu distanța dintre plăcuțe de la 20  $\mu\text{m}$  la 10 mm.

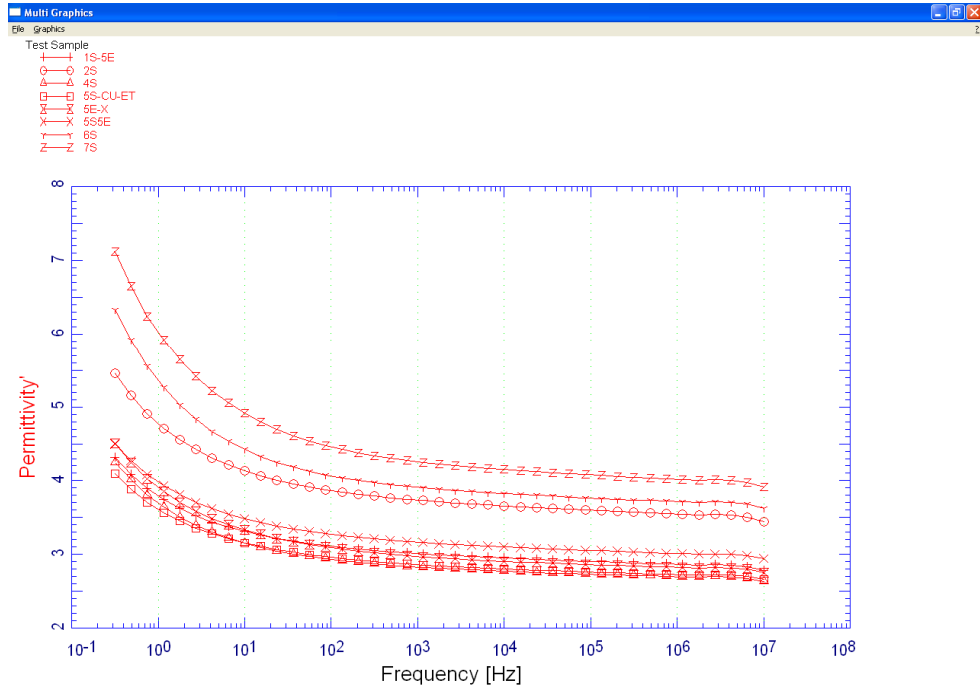


Fig. 5. Permitivitate vs. frecvență

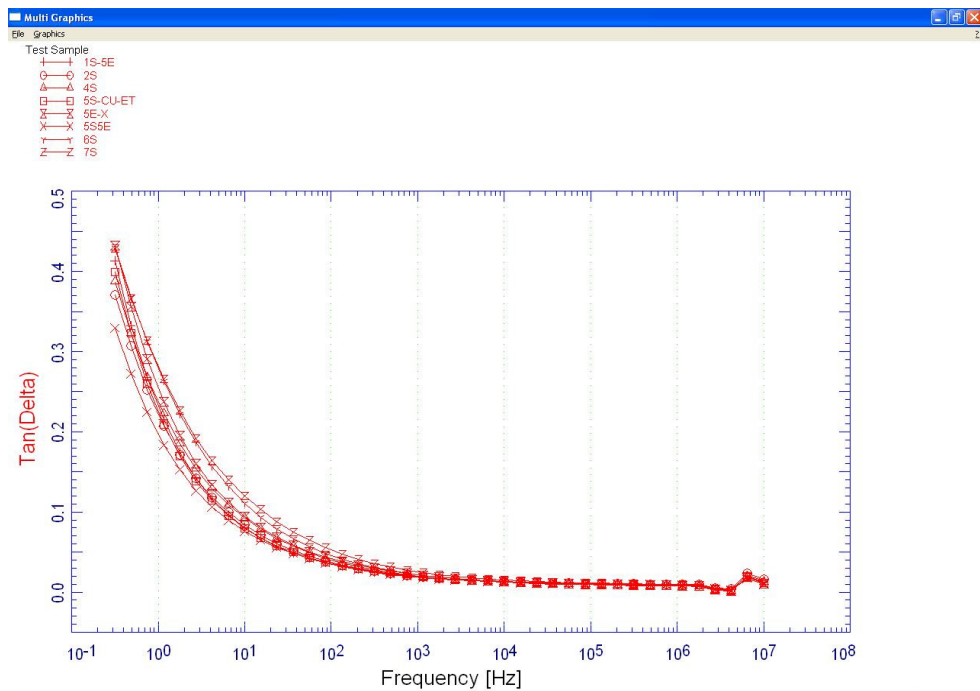


Fig. 6. Tan(delta) vs. frecvență

Nu se observă diferențe semnificative pentru  $\tan(\delta)$  la mostrele bazate pe fire din cupru monofilament. Mostrele bazate pe inox multifilament au realizat cale directă de conducție între electrozii de măsură.

#### 1.4. Analiza și caracterizarea panourilor din punct de vedere ESD

##### Metode de măsurare a timpului de descărcare electrostatică

Măsurarea timpului de descărcare electrostatică a materialelor disipative cu o structură compozită reprezintă o operație dificilă. Această dificultate este dată nu numai de natura intrinsecă a materialului ci și de influența condițiilor de măsurare. Astfel, rezultatele măsurării pot fi influențate de următorii parametri:

- modalitatea prin care materialul testat este încărcat electrostatic;
- cantitatea inițială de sarcină electrostatică prezentă la nivelul materialului;
- modalitatea de legare la pământ a materialului;
- dimensiunile și geometria sistemului de măsurare.

Tehnicile existente pentru măsurarea timpului de descărcare electrostatică pot fi grupate în 4 categorii în funcție de modalitatea prin care se realizează încărcarea materialului testat: prin contact, prin efect Corona, triboelectrică și prin inducție.

**Electrizarea prin contact.** Această tehnică presupune încărcarea materialului testat prin intermediul unui platan metalic conectat la o sursă de înaltă tensiune. După încărcare materialul este conectat la masa de descărcare și se contorizează timpul de descărcare între două praguri de tensiune. Deși este o metodă simplă, reproductibilitatea rezultatelor măsurării este afectată de metoda de asigurare a contactului cu electrodul care asigură cuplarea la masa de descărcare.

**Electrizarea prin efect Corona.** Această metodă utilizează un electrod ascuțit cuplat la o sursă de înaltă tensiune. Deoarece în jurul electrodului intensitatea câmpului electric este mare, are loc ionizarea moleculelor de aer și deplasarea moleculelor ionizate pozitiv către electrodul negativ. Moleculele ionizate în deplasarea lor încarcă electrostatic materialul supus testării.

**Electrizarea triboelectrică** (prin frecare). Această metodă se bazează pe principiul prin care două corpuri electroizolante se încarcă electrostatic ca urmare a frecării dintre ele. În urma frecării unul dintre corpuri pierde electroni și se încarcă pozitiv, în timp ce celălalt acceptă electroni și se încarcă negativ. Acest fenomen se produce și dacă unul dintre corpuri este conductor.

**Electrizarea prin inducție.** Acest fenomen apare la apropierea unui corp încărcat cu sarcină electrică de unul neîncărcat (neutru). La un capăt al corpului neutru (apropiat de corpul electrizat) va apărea o sarcină de semn opus celei de pe corpul inițial încărcat cu

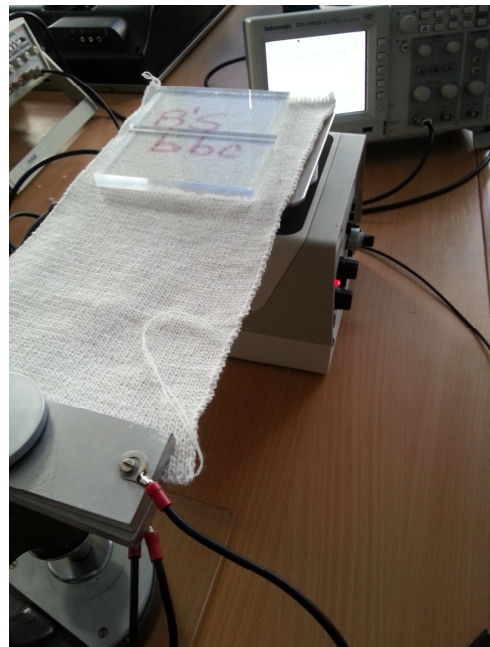


Fig. 7. Stand de măsurare ESD îmbunătățit

sarcină electrică, iar la celălalt capăt, va apărea o sarcină electrică de același semn cu cea de pe corpul inițial încărcat cu sarcină electrică.

### **Metodă îmbunătățită de măsurare a timpului de descărcare electrostatică**

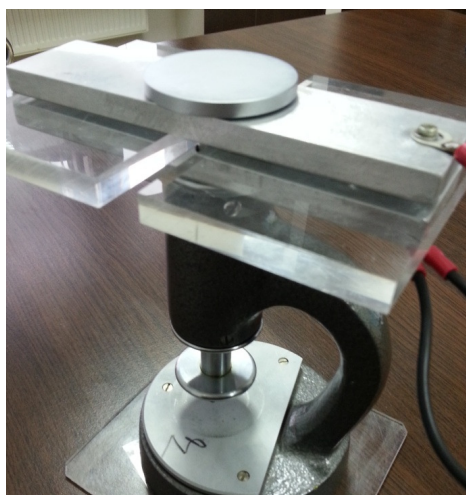
În vederea obținerii de rezultate superioare din punct de vedere al caracterizării materialelor disipative neomogene compozite, s-a dezvoltat un nou model de electrod de descărcare implementabil la metoda de măsurare a timpului de descărcare electrostatică propusă de J. Passi, T. Kalliohaka, R. Ilmen, și S. Nurmi de la VTT Industrial Systems din Finlanda.

Standul de măsurare este realizat dintr-un Charge Plate Monitor (CPM) de tip 268A-1T produs de Monroe Electronics, un electrod de descărcare, un întrerupător electrostatic normal deschis, un osciloscop și un set de elemente izolatoare electrostatic.

CPM conține o sursă internă de 5kV și un senzor de câmp electric. Prin intermediul sursei de înaltă tensiune, platanul CPM este încărcat până la un anumit potențial față de masa de descărcare. Materialul supus testării este încărcat de către platan prin electrizare prin contact. După deconectarea sursei de tensiune se trece la etapa de descărcare prin conectarea electrodului la masa de descărcare. Timpul de descărcare este vizualizat și înregistrat prin intermediul osciloscopului. Toate elementele izolatoare utilizate în standul de măsurare au fost realizate din policarbonat.

Deoarece standul a fost conceput pentru testarea materialelor disipative neomogene compozite, s-a avut în vedere separarea zonei de încărcare față de zona de descărcare pentru o mostra de material. Mostrele de material au fost concepute dimensional pe baza dimensiunilor platanului. Astfel s-au utilizat mostre cu lățime de 15 cm identică cu valoarea laturii platanului și de lungime 30 cm, astfel încât zona de prindere a electrodului de descărcare să fie la o distanță de platan egală cu latura platanului.

Electrodul de descărcare este conceput din 3 electrozi mobili dintre care 2 sunt conductori iar unul este izolator electrostatic (policarbonat). Configurația electrodului permite realizarea a 3 tipuri diferite de măsurători în funcție de cum sunt repartizați cei trei electrozi. Dacă se utilizează doi electrozi conductori atunci conectarea la masa de descărcare se realizează atât pentru partea superioară a mostrei cât și pentru partea inferioară a acesteia. Dacă se utilizează un electrod conductor și unul izolator, în funcție de poziționarea lor relativă se poate conecta la calea de descărcare separat atât partea superioară cât și partea inferioară a mostrei.



**Fig. 8.** Dispozitiv tri-electrod

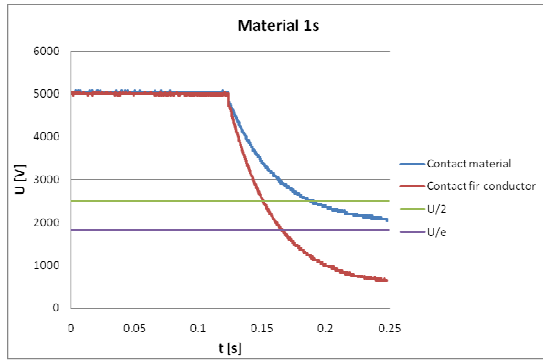


Fig. 9. Profil de descărcare a sarcinii pentru 1s

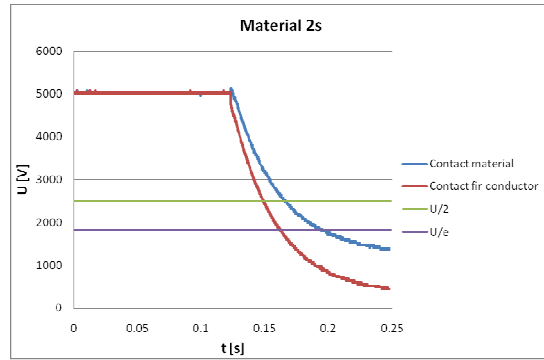


Fig. 10. Profil de descărcare a sarcinii pentru 2s

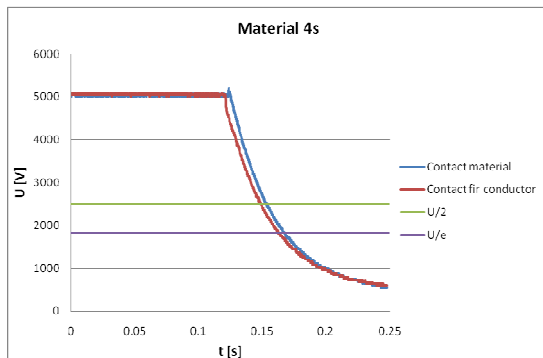


Fig. 11. Profil de descărcare a sarcinii pentru 4s

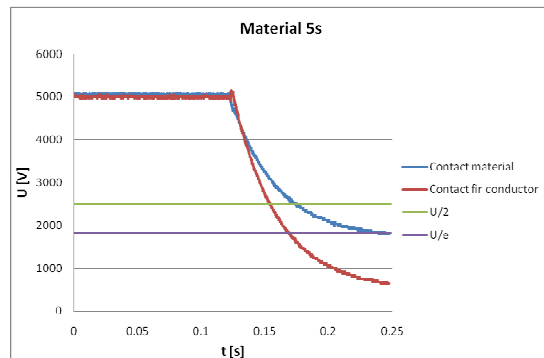


Fig. 12. Profil de descărcare a sarcinii pentru 5s

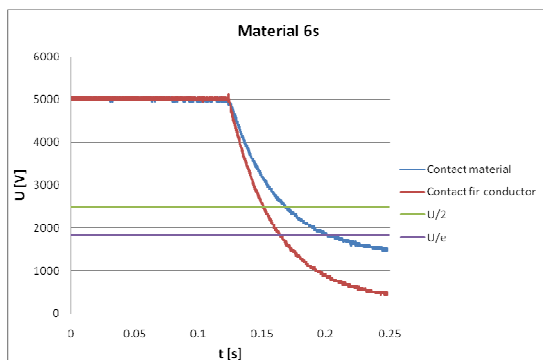


Fig. 13. Profil de descărcare a sarcinii pentru 6s

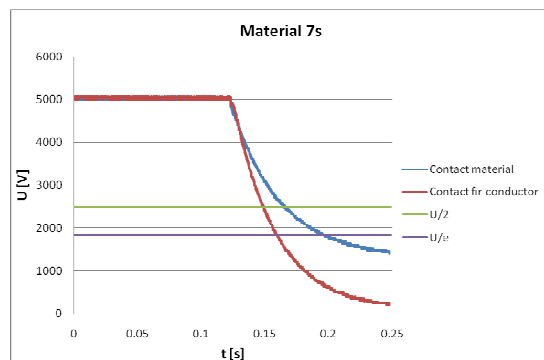


Fig. 14. Profil de descărcare a sarcinii pentru 7s

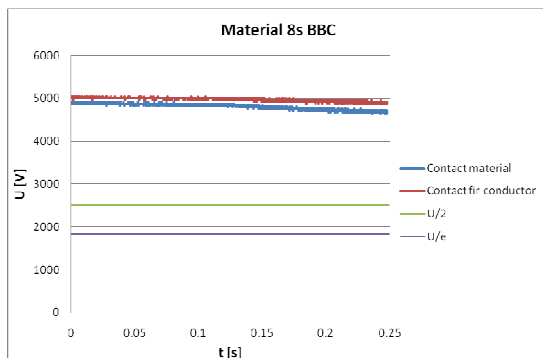


Fig. 15. Profil de descărcare a sarcinii pentru 8s BBC

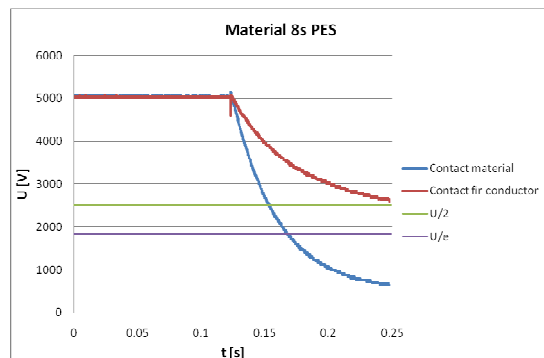


Fig. 16. Profil de descărcare a sarcinii pentru 8s PES



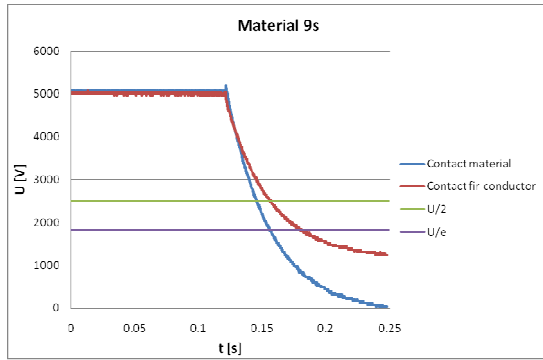


Fig. 17. Profil de descărcare a sarcinii pentru 9s

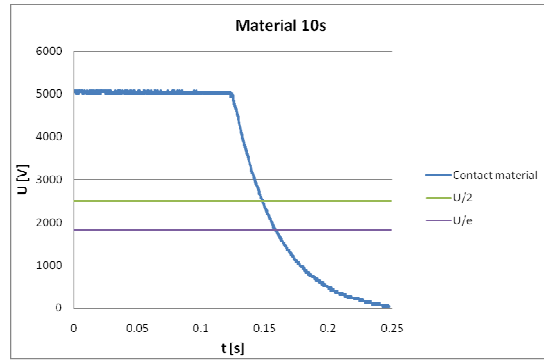


Fig. 18. Profil de descărcare a sarcinii pentru 10s

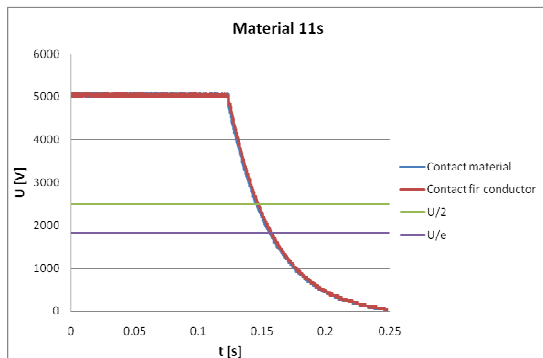


Fig. 19. Profil de descărcare a sarcinii pentru 11s

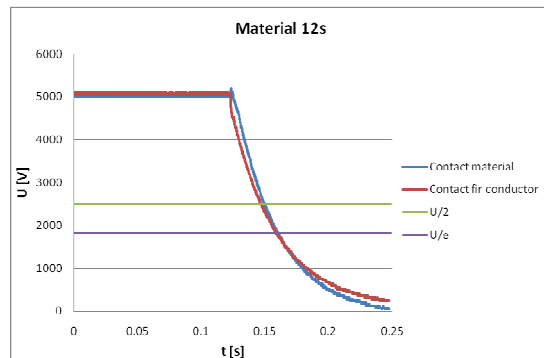


Fig. 20. Profil de descărcare a sarcinii pentru 12s

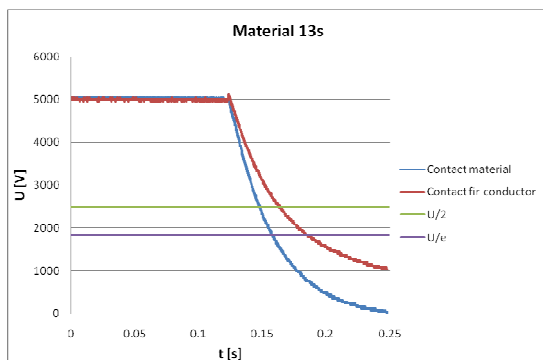


Fig. 21. Profil de descărcare a sarcinii pentru 13s

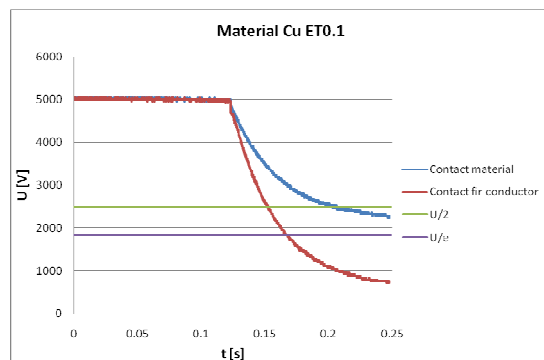


Fig. 22. Profil de descărcare a sarcinii pentru Cu ET0.1

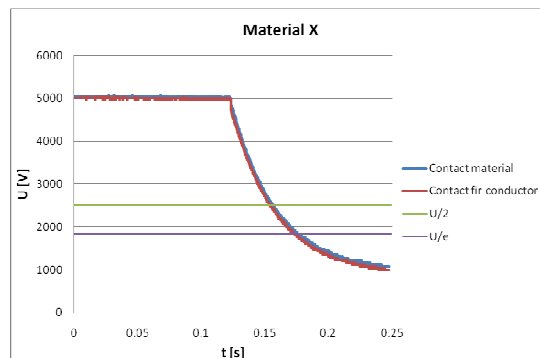


Fig. 23. Profil de descărcare a sarcinii pentru X

Nr. crt.	Cod intern	$t_{1/2}$ [s]		$t_{1/e}$ [s]		$U_{125}$ [V]		$r_{125}$ [%]	
		Contact material	Contact fir conductor	Contact material	Contact fir conductor	Contact material	Contact fir conductor	Contact material	Contact fir conductor
1.	1s	0.0657	0.0278	-	0.0426	2040	640	40.8	12.8
2.	2s	0.0432	0.0257	0.0718	0.0377	1360	440	27.2	8.73
3.	4s	0.0305	0.0448	0.0432	0.0303	560	600	11.11	13.16
4.	5s	0.0519	0.0308	0.1161	0.0456	1800	640	36	12.8
5.	6s	0.0451	0.0278	0.0804	0.0412	1520	480	30.4	9.6
6.	7s	0.0426	0.0257	0.0715	0.0358	1400	240	27.78	4.76
7.	8s - BBC	-	-	-	-	4720	4920	96.72	98.4
8.	8s - PES	0.0306	-	0.0442	-	640	2640	12.7	52.8
9.	9s	0.0236	0.0388	0.0338	0.0651	40	1240	0.82	26.96
10.	10s	0.252	-	0.0353	-	40	-	0.8	-
11.	11s	0.0225	0.024	0.0321	0.034	40	0	0.79	0
12.	12s	0.0269	0.0241	0.0371	0.035	40	240	0.8	4.76
13.	13s	0.0248	0.0405	0.035	0.063	40	1040	0.8	20.8
14.	Cu-ET 0.1	0.0808	0.0298	-	0.0446	2240	720	44.8	14.52
15.	X	0.0337	0.0323	0.0543	0.0509	1080	1000	21.6	20.16

Se constată următoarele: Mostrele 1s, 2s, 5s, 6s, 7s, Cu-ET și X prezintă timp de descărcare mic dacă există legătură metalică la masa de descărcare. Mostrele 4s, 9s, 10s, 11s, 12s și 13s prezintă timp de descărcare mic fără legătură metalică la masa de descărcare.

$U_a$  = tensiune de încărcare (~5 kV)

$t_{1/2}$  = timp de înjumătățire

$t_{1/e}$  = timp 37%

$U_{125}$  = tensiune remanenta după 125 ms

$r_{125} = (U_a/U_{125}) \times 100$

### Măsurarea rezistivității de suprafață

Măsurarea rezistivității de suprafață pentru materialele textile utilizate în aplicații ESD poate fi neelocventă pentru o parte din structurile compozite utilizate. Dacă suprafața supusă măsurării este una omogenă și nu depinde de direcția de măsurare, atunci măsurarea rezistivității de suprafață poate reprezenta o informație utilă în caracterizarea materialului din punct de vedere ESD. În cazul în care structura compozita este alcătuită din materiale cu rezistivități mult diferite (conductoare-disipative, conductoare-izolatoare, disipative-izolatoare) atunci calea de închidere a circuitului de măsurare stabilită de poziția electrozilor de măsură pe suprafața materialului influențează dominant rezultatul măsurării.

Pentru evaluarea rezistenței și/sau rezistivității de suprafață a materialelor se utilizează cu precădere electrozi circulari concentrici sau electrozi dreptunghiulari. După cum se poate observa în figura 24, în cazul unui material neșesut cu inserție aleatorie de fibră metalică, închiderea circuitului de măsură se poate realiza în funcție de poziționare, fie prin fibra metalică fie prin materialul textil de baza. Același fenomen este valabil și în cazul materialelor țesute sau tricotate, după cum se vede în figura 25, poziția sau rotirea electrozilor dreptunghiulari poate genera rezultate total diferite.

Utilizarea firelor textile cu miez conductor în realizarea produselor tricotate conduce la obținerea unei suprafețe dintr-un singur tip de material, cel utilizat pentru realizarea tecii. Deși structura tricotată este compozită și realizată din două materiale cu rezistivitate total diferită, la suprafața (exteriorul materialului) este unicompozită și este pretabilă la investigarea rezistivității de suprafață.

Deoarece firele utilizate sunt cu miez conductor nu implică problemele menționate mai sus și este posibilă determinarea rezistivității de suprafață.

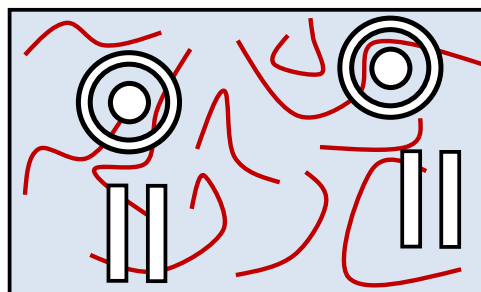


Fig. 24. Material textile cu inserții de fibră metalică

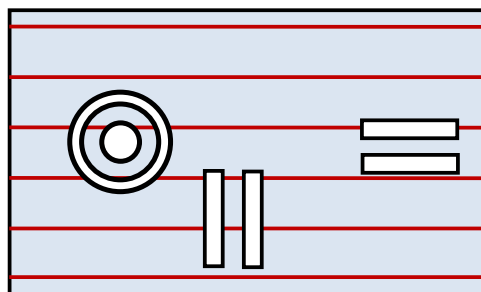


Fig. 25. Material textile cu inserție longitudinală de fir metalic

Nr. crt.	Cod intern	Rezistivitate electrică [Ω]	Nr. crt.	Cod intern	Rezistivitate electrică [Ω]
1.	1s	$1.4 \times 10^{14}$	9.	9s	$< 2 \times 10^5$
2.	2s	$9.6 \times 10^{11}$	10.	10s	$< 2 \times 10^5$
3.	4s	$2.3 \times 10^{14}$	11.	11s	$< 2 \times 10^5$
4.	5s	$6.6 \times 10^{13}$	12.	12s	$< 2 \times 10^5$
5.	6s	$3.2 \times 10^{14}$	13.	13s	$< 2 \times 10^5$
6.	7s	$1.2 \times 10^{14}$	14.	Cu-ET 0.1	$1.4 \times 10^{14}$
7.	8s-BBC	$< 2 \times 10^5$	15.	PNA	$2.6 \times 10^{13}$
8.	8s-PES	$9.2 \times 10^{11}$	16.	X	$1.9 \times 10^{14}$

Mostrele 1s-7s, 8sPES, CuET și X prezintă o rezistivitate compatibilă cu cerințele proiectului.

### 1.5. Analiza și caracterizarea panourilor din punct de vedere EMC

Un material cu o bună conductivitate electrică, inserat între sursa de radiații electromagnetice și echipamentul ce trebuie protejat, va atenua din câmpul perturbator prin reflecția și absorbția unei părți a acestuia. Eficiența unui ecran electromagnetic depinde de o serie de parametri precum: conductivitatea și permeabilitatea electrică a materialului, distanța față de câmpul perturbator, frecvența și lungimea de undă a câmpului electromagnetic.

Măsurarea eficienței unui ecran presupune utilizarea unui ansamblu constituit din două antene, una emițătoare și una receptoare, o sursă pentru generarea semnalului și un receptor pentru măsurarea semnalului.

Prin intermediul antenei emițătoare va fi transmis în dreptul materialului testat un semnal care apoi va fi recepționat de antena receptoare. Semnalul recepționat va fi prelucrat de analizorul spectral cu scopul de a se determina eficiența de ecranare a materialului testat. Pentru studierea eficienței de ecranare a materialului vor fi efectuate două măsurători ale puterii câmpului captat de antena receptoare, una în absența materialului testat ( $P_1$ ) și a doua în prezența acestuia ( $P_2$ ). Evaluarea eficienței de ecranare a unui material testat va fi realizată prin determinarea ecranării efective  $SE$  și a atenuării câmpului electromagnetic  $a$ :

$$SE_{[dB]} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_1}{P_2} \right)$$

$$a_{[dB]} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_2}{P_1} \right).$$

Pentru obținerea unor rezultate edificatoare cu privire la eficiența de ecranare a materialului pentru o anumită frecvență a semnalului perturbator, este necesară eliminarea

influențelor câmpurilor din mediul ambiant ce ar putea interveni asupra rezultatelor obținute. În acest scop, măsurătorile trebuie realizate în spații ecranate de mediul exterior, astfel încât măsurătorile să fie influențate doar de semnalul generat. Camerele anecoice sunt o soluție pentru eliminarea interferențelor exterioare precum și pentru asigurarea uniformității câmpului electromagnetic. Aceste camere se pretează pentru efectuarea unor măsurători asupra unor materiale de dimensiuni mari. În cazul materialelor de dimensiuni mici, utilizarea acestor camere nu mai este eficientă întrucât nu pot asigura un mediu cu interferențe și reflexii minime ale câmpului electromagnetic. Pentru aceste materiale, de dimensiuni mici, s-a utilizat o celulă de *tip flanged coaxial transmission line holder*.

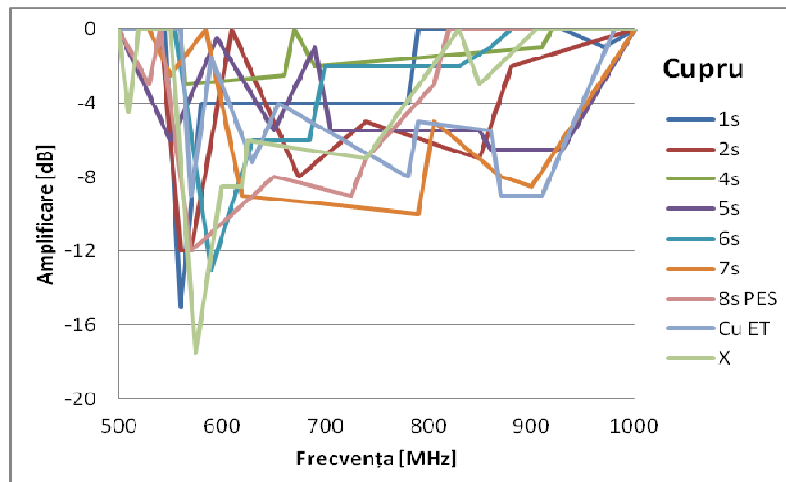


Fig. 26. Variația atenuării electromagnetice pentru mostrele bazate pe cupru

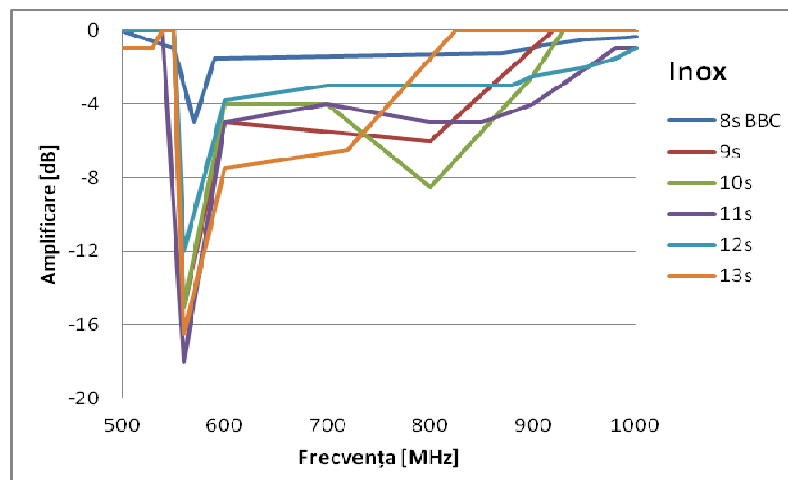


Fig. 27. Variația atenuării electromagnetice pentru mostrele bazate pe inox

Rezultatele au fost grupate după tipul de material conductor utilizat în realizarea miezului conductiv al firelor (cupru și inox). Se constată o atenuare medie de aproximativ 8 dB pentru ambele tipuri de mostre pentru o variație a domeniului de frecvență între 500MHz și 1000MHz.

## I.6. Analiza și interpretarea rezultatelor, definirea configurației optime a structurii fibrei

Centralizarea datelor este prezentată în tabelul următor:

Nr. crt.	Cod intern	$t_{1/2}$ [s]		Rezistivitate de suprafață [ohmi]
		Contact material	Contact fir conductor	
1.	1s	0.0657	0.0278	$1.4 \times 10^{14}$
2.	2s	0.0432	0.0257	$9.6 \times 10^{11}$
3.	4s	0.0305	0.0448	$2.3 \times 10^{14}$
4.	5s	0.0519	0.0308	$6.6 \times 10^{13}$
5.	6s	0.0451	0.0278	$3.2 \times 10^{14}$
6.	7s	0.0426	0.0257	$1.2 \times 10^{14}$
7.	8s - BBC	-	-	$< 2 \times 10^5$
8.	8s - PES	0.0306	-	$9.2 \times 10^{11}$
9.	9s	0.0236	0.0388	$< 2 \times 10^5$
10.	10s	0.252	-	$< 2 \times 10^5$
11.	11s	0.0225	0.024	$< 2 \times 10^5$
12.	12s	0.0269	0.0241	$< 2 \times 10^5$
13.	13s	0.0248	0.0405	$< 2 \times 10^5$
14.	Cu-ET 0.1	0.0808	0.0298	$1.4 \times 10^{14}$
15.	X	0.0337	0.0323	$1.9 \times 10^{14}$

### Concluzii generale

Se constată că proprietăți foarte bune ESD (timp de descărcare electrostatic mic și simultan rezistivitate de suprafață mare) conform cerințelor proiectului sunt întâlnite la firele monofilament de cupru izolate. Un timp de descărcare superior pentru această categorie se obține la conectarea metalică a firului la masa de descărcare. În etapa a 2-a a procesului de implementare al proiectului, în care se vor varia tipologiile de tricotare pentru firele monofilament de cupru izolate (selectate în această etapă), se vor testa limitele de tricotabilitate ale acestora.