

5.Măsurări în EMC

Aparatura electronică este împărțită din punct de vedere EMC în 2 clase:

-clasa A- aparatura pentru uz industrial sau comercial, proiectată să lucreze la nivele mai mici de perturbare, de exemplu calculatoare de proces, instalații de înaltă frecvență etc.

-clasa B- aparatura casnică, de exemplu aparatura audio, video, radio, TV, calculator personal etc.

Nivelele de perturbații se măsoară în condiții specificate de standarde, în camere anecoide (fără ecou) sau la locul de utilizare, la distanțe standard și în game de frecvențe standard. În mediu industrial se pot folosi aparate care nu se încadrează în clasa B, în locuri special amenajate (se definește astfel clasa C).

Limitele de perturbare pentru clasele A și B sunt date în figura 5.1:

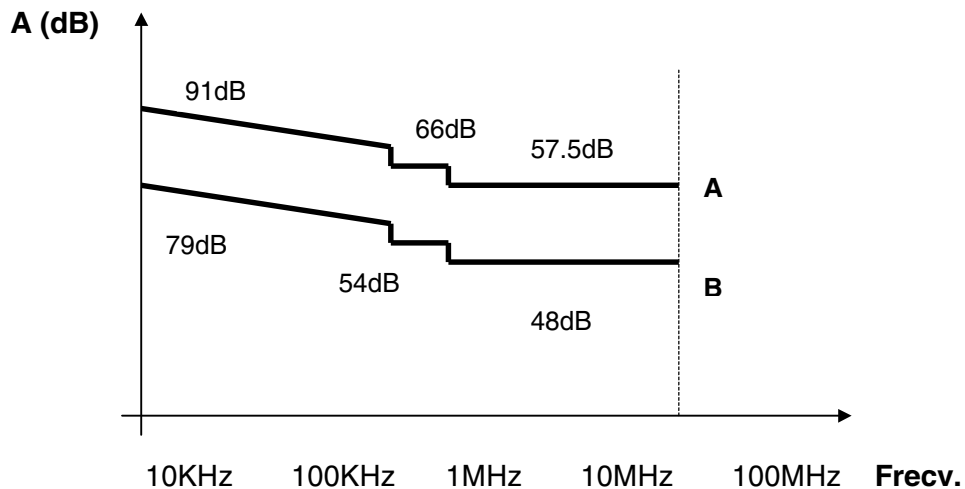


Figura 5.1

Nivelele de perturbare și de susceptibilitate sunt foarte importante și trebuie cunoscute. Se impune astfel găsirea unor metode de măsurare specifice, care să asigure repetabilitatea măsurărilor.

Clasificarea măsurărilor se face astfel:

- măsurarea perturbațiilor radiate **RE** (Radiated Emission);
- măsurarea susceptibilității la perturbații radiate **RS** (Radiated Susceptibility);
- măsurarea perturbațiilor conduse **CE** (Conducted Emission);
- măsurarea susceptibilității la perturbații conduse **CS** (Conducted Susceptibility);
- măsurarea mijloacelor de atenuare a perturbațiilor.

Abrevierile sunt cele prevăzute de MIL STD 461 (MOR94).

5.1.Aparate pentru măsurări în EMC

Cel mai des întâlnite aparate de măsură specifice sunt:

1. Voltmetrul selectiv, care poate măsura

- valori de vârf
- valori de cvasi-vârf
- valori medii

-valori efective (se măsoară efectul termic al perturbației, aceste valori nu au o mare importanță în EMC).

2. Analizorul spectral, în 3 variante constructive:

- scanarea în frecvență pe principiul superheterodinei
- cu set de filtre trece bandă
- achiziție A/D și prelucrare Fourier numerică

3. Osciloscop cu memorie, necesar pentru înregistrarea unor fenomene perturbatoare tranzitorii, așa cum este de exemplu perturbarea rețelei în momentul pornirii unui echipament.

Mărimi rezultate din măsurările cu voltmetrul selectiv

1. **Valoarea de vârf**, poate fi măsurată prin încărcarea unui condensator, ca în figura 5.2:

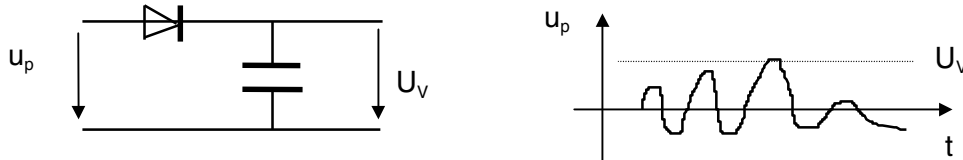


Figura 5.2

2. **Valoarea de cvasi-vârf** este mai relevantă pentru efectele pe care le are perturbația. Dacă perturbația este filtrată cu un filtru trece bandă care are banda de trecere B și amplificarea sau atenuarea V , iar impulsul perturbator are aria:

$$A = \int_0^{\infty} u_{p(t)} dt \quad , \text{ atunci valoarea de cvasivârf va fi:}$$

$$U = 2AVB \quad (5.1)$$

Valorile V și B fiind constante pentru aparatul de măsură, este nevoie de fapt de măsurarea suprafeței impulsului (a integralei), ceea ce se poate realiza printr-un circuit de integrare, ca în figura 5.3:

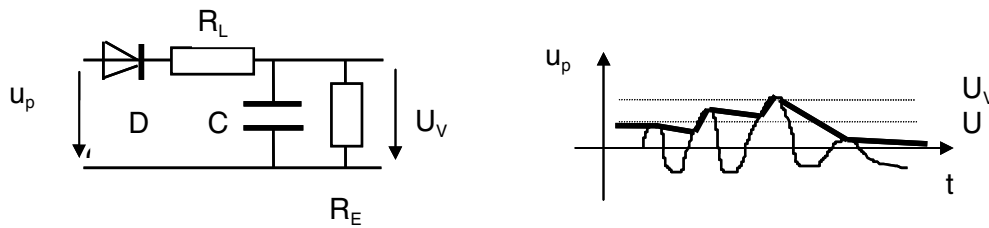


Figura 5.3

Constantele de timp CR_L și CR_E sunt specificate în standarde (CISPR de exemplu) pe game de frecvențe (DIN VDE 0876).

3. **Valoarea medie**, figura 5.4:

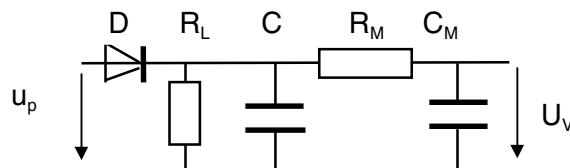


Figura 5.4

Tensiunea pe C urmărește vârfurile tensiunii, el fiind descărcat prin R_E . Filtrul trece jos cu R_M și C_M face media vârfurilor.

Cea mai importantă firmă producătoare de aparate de măsură în domeniul EMC este Rhode & Schwarz. Cea mai cunoscută firmă constructoare de aparate de simulare a perturbațiilor este Schaffner.

5.2. Măsurarea perturbațiilor radiate

Măsurarea câmpurilor se face cu antene. Câteva tipuri de antene pentru câmp electric sunt arătate în continuare în figura 5.5.

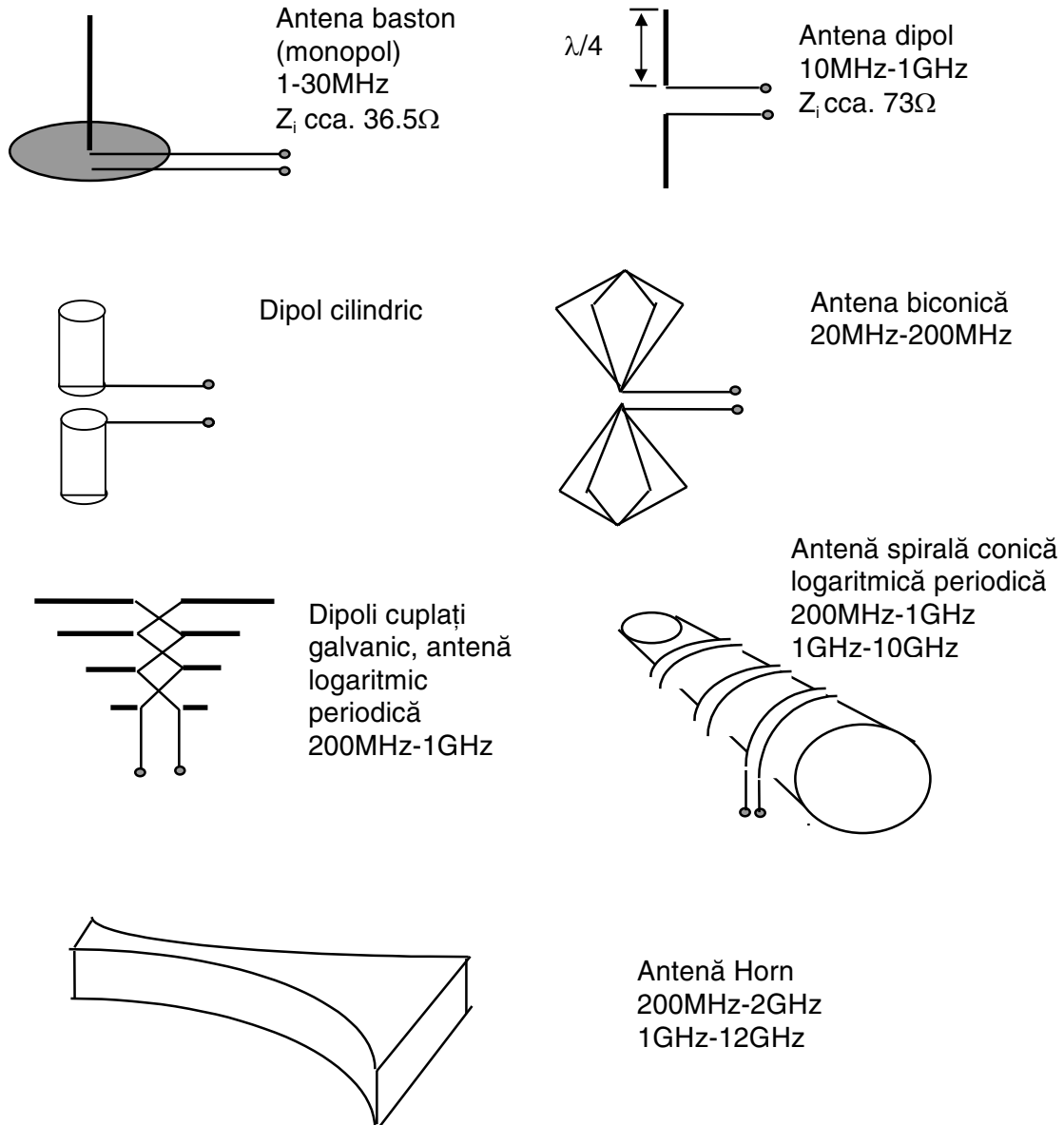


Figura 5.5

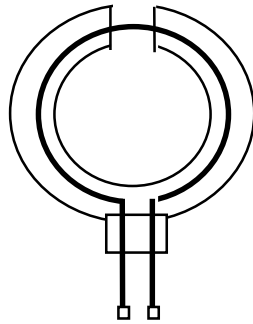
Antena baston și dipol sunt de bandă îngustă, iar cele cu forme complexe sunt de bandă largă. Un tip de antenă se poate utiliza în anumite game de frecvență.

Se definește factorul antenei AF:

$$AF = \frac{|E_p|}{|U_p|} \quad (5.2)$$

unde E_p este intensitatea câmpului și U_p este tensiunea măsurată la ieșirea antenei

În zona îndepărtată intensitățile câmpului electric și magnetic sunt legate de relația $E/H=377\Omega$, deci intensitatea câmpului magnetic se poate deduce. Câmpul magnetic se poate măsura cu o antenă cadru, ca în figura 5.6:

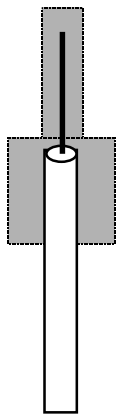


Antenă cadru (cu una sau mai multe spire)
20Hz-200MHz

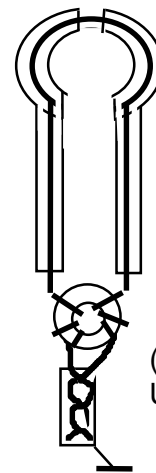
Figura 5.6

Pentru a elimina influențele câmpului electric, înfășurarea este introdusă într-un tub metallic. Ca să nu apară o spiră în scurtcircuit, tubul este secționat. La măsurarea câmpului magnetic trebuie ținut seama de câmpul magnetic al Pământului.

Pentru evaluarea primară a valorii câmpului se pot folosi sonde simple (care însă nu sunt calibrate), numite "Sniffer Probes", ca în figura 5.7:



Sonda pentru câmp electric (cablu ecranat cu firul central dezizolat) (50Ω)



Sonda pentru câmp magnetic

BALUN
(BALanced UNbalanced)

Figura 5.7

Măsurarea se poate face în aer liber, în camere ecranate sau în camere fără ecou (anecoide) (Anechoic Chamber).

În aer liber spațiul trebuie să fie fără obiecte sau clădiri în apropiere care să creeze reflexii. Oricum apar reflexii de la sol. Spațiul trebuie să aibă dimensiunile date în figura 5.8:

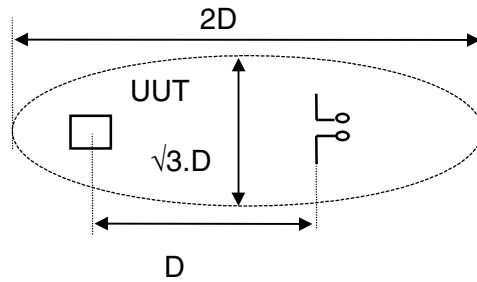


Figura 5.8

Într-o cameră ecranată apar reflexii suplimentare de la tavan și pereți care duc la o neuniformitate a câmpului electromagnetic. Pentru a măsura această neuniformitate se folosesc 2 antene identice de recepție, ca în figura 5.9:

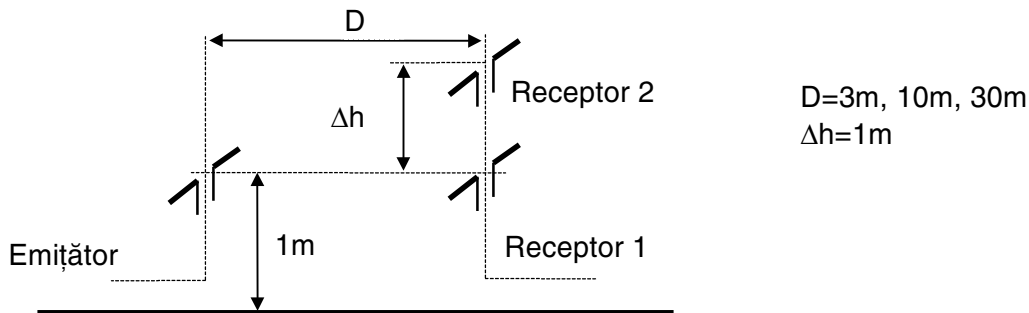


Figura 5.9

Conform cu DIN 0877, diferența dintre semnalele recepționate, la 30m, nu trebuie să depășească 45dB (30MHz) și 0dB (600MHz).

Cele mai corecte măsurări se fac în camere absorbante (anecoide). Camera anecoidă are pereți speciali pentru a izola incinta de câmpul electromagnetic exterior și de a minimiza reflexiile. Pereții sunt din materiale plastice metalizate sau din ferită. O măsurare a câmpului în camere anecoide poate avea loc ca în figura 5.10:

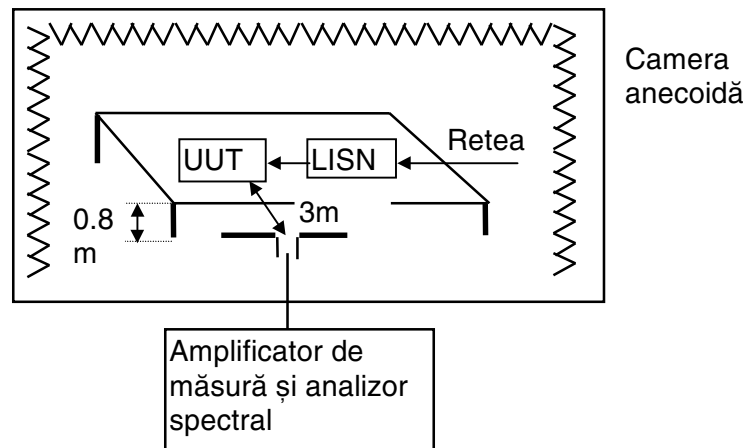


Figura 5.10

Orice asemenea cameră are unele frecvențe de rezonanță, începând de la 40MHz, care trebuie cunoscute pentru a nu afecta rezultatele măsurătorilor (END96).

La anumite aparate care radiază în special prin liniile de alimentare de la rețea (care au carcasa bine ecranată), se poate înlocui măsurarea câmpului radiat de aparat cu câmpul radiat de cablul de alimentare. Schema de măsură este dată în figura 5.11:

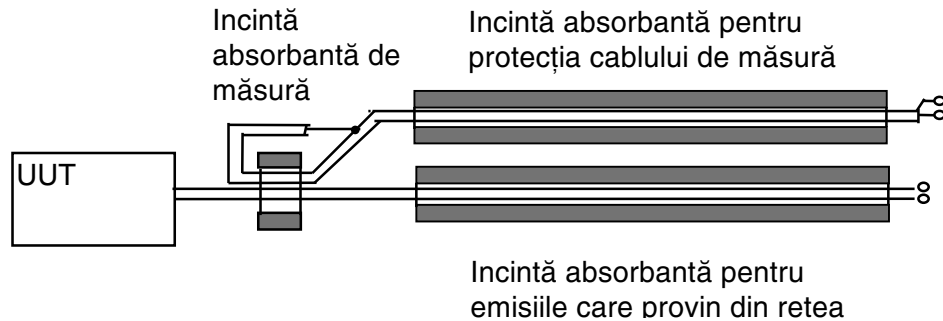


Figura 5.11

Măsurarea se face cu un cablu ecranat cu firul din mijloc legat la ecran, cu impedanța caracteristică cunoscută (50Ω). O incintă absorbantă ferește cablul de măsură de alte influențe decât cele din incinta de măsură.

5.3.Măsurarea susceptibilității la perturbații radiate

Măsurarea susceptibilității constă în studiul comportării unui aparat supus la acțiunea unor perturbații cunoscute. Este nevoie de generarea unor perturbații, care în cazul perturbațiilor radiate se generează cu antene prezentate în figurile 5 și 6, pentru diferite benzi de frecvență, conform schemei din figura 5.12:

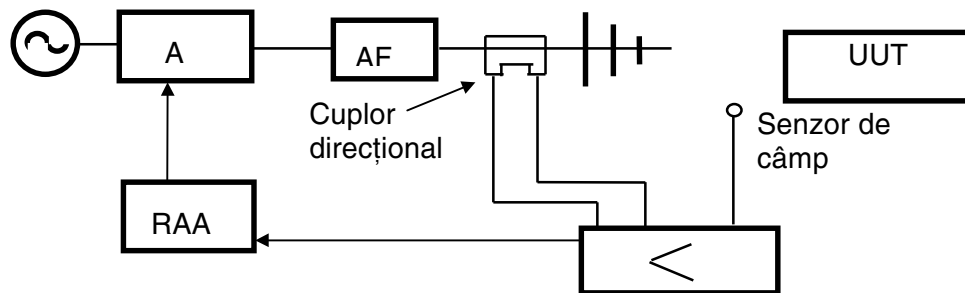


Figura 5.12

Semnalul generat de un generator de semnal este amplificat în amplificatorul A și etajul final de putere AF. Pentru a asigura aceeași valoare a câmpului pentru toate frecvențele este nevoie de o buclă de feed back pentru reglarea automată a amplificării RAA. În locul senzorului de câmp poate fi folosit un cuplor direcțional (Directional Coupler) care măsoară diferența între câmpul radiat și câmpul reflectat.

Măsurarea susceptibilității se poate face în aceleași locuri ca și măsurarea emisiilor: spațiu liber, cameră ecranată și cameră anecoidă. Pentru aparate de mici dimensiuni se poate folosi incinta TEM (Transversal ElectroMagnetic) prevăzută de VDE 0843.

Există unele metode speciale de determinare a susceptibilității. De exemplu susceptibilitatea la câmpuri magnetice puternice, în gama 30Hz-3MHz, se determină conform figurii 5.13:

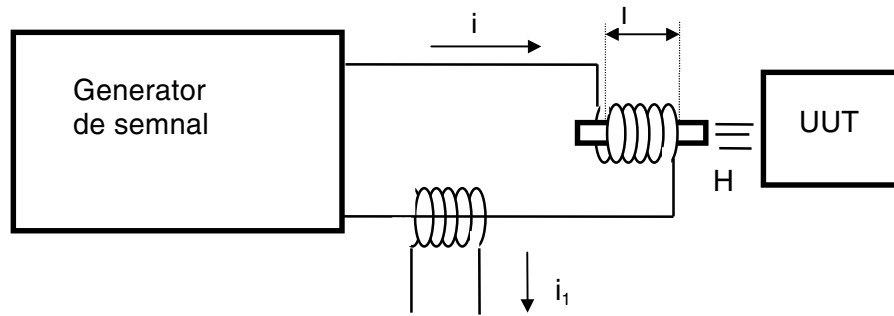


Figura 5.13

Curentul i_1 dă o măsură a câmpului magnetic generat, după relația:

$$H = \frac{N \cdot i}{l}$$

Obiectul supus încercării poate fi așezat și în interiorul bobinei.

Determinarea susceptibilității la câmpuri electrice puternice în gama 30MHz-150MHz se poate face și ca în figura 5.14:

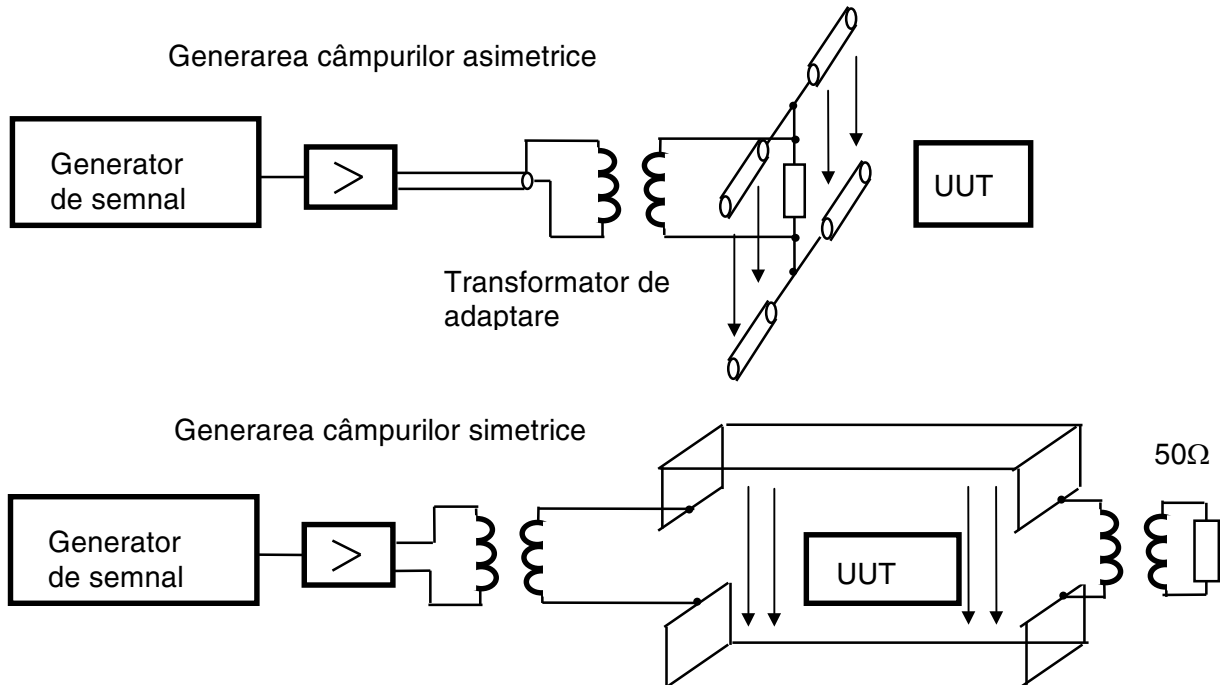


Figura 5.14

Măsurările de susceptibilitate sunt de o mare varietate. Măsurări specifice se realizează în electronica medicală, pentru aparate implantate, așa cum sunt de exemplu stimuloarele cardiace, pompe de infuzie pentru insulină, stimuloare musculare, proteze auditive etc. Un stand pentru determinarea susceptibilității aparatelor implantate la câmpuri cvasistatice cu frecvența de 50Hz este dat în figura 5.15:

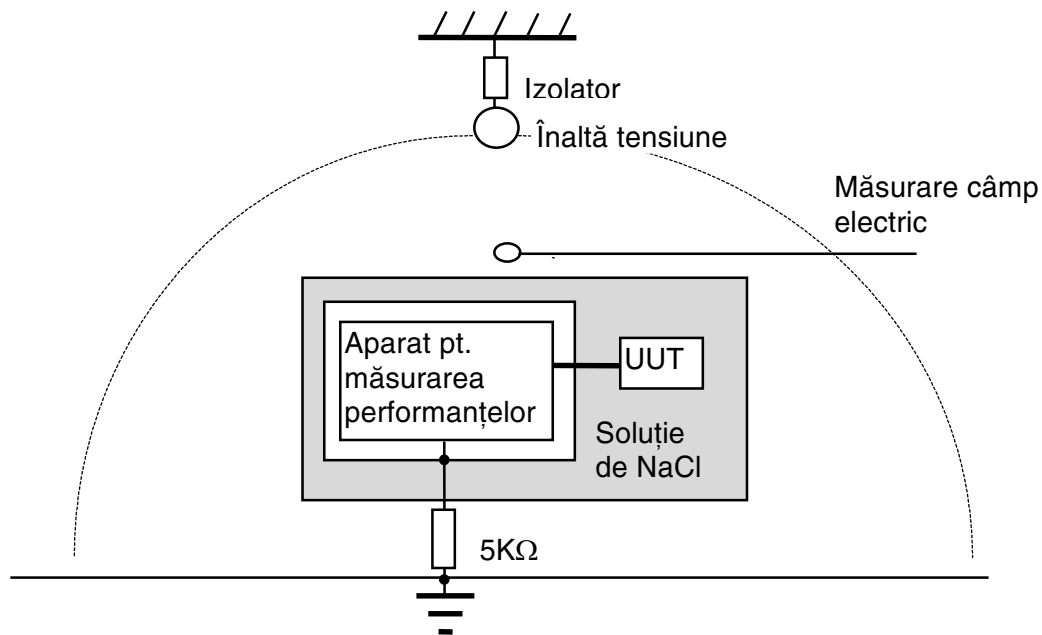
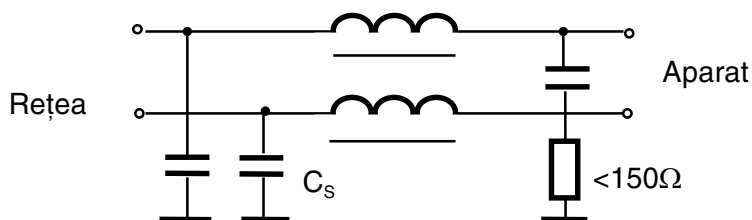


Figura 5.15

5.4. Măsurarea perturbațiilor conduse

Majoritatea perturbațiilor conduse provin de la rețeaua industrială de c.a. Pentru repetabilitatea măsurătorilor, între obiect și rețea se interpune un aparat care creează o impedanță cunoscută (LISN-Line Impedance Stabilization Network). Utilizarea LISN este standardizată și în România. Pentru LISN sunt recomandate mai multe variante de scheme, în figura 5.16:



CISPR 1 recomandă această schemă în gama 150KHz-30MHz. Condensatorii C_s au rolul de a nu permite intrarea în rețea a frecvențelor înalte generate de simulatorul de perturbații.

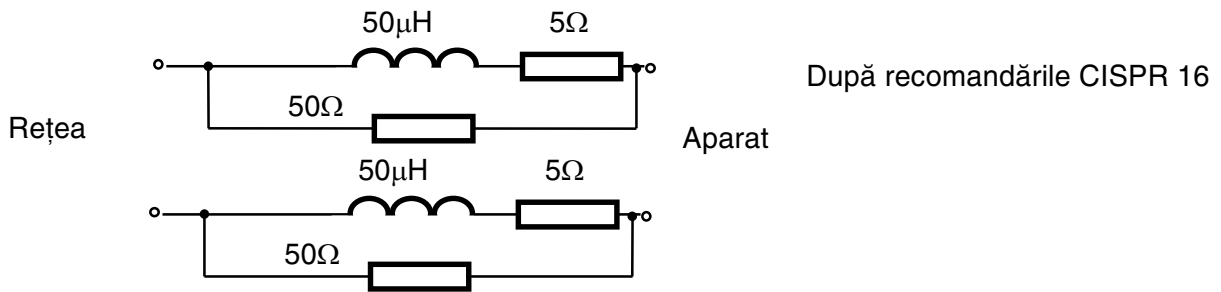


Figura 5.16

Măsurarea tensiunilor și curenților perturbatori (generat de rețea sau generat de un aparat în rețea) se face ca în figura 5.17:

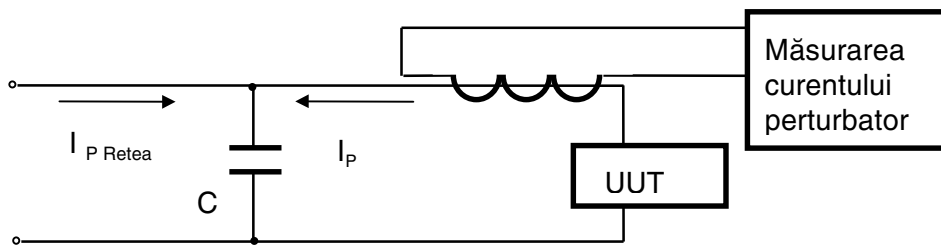


Figura 5.17

Condensatorul C se pune ca și componentă de însumare a curenților perturbatori, creați de rețea și de aparatul supus testului. Curentul perturbator se măsoară cu ajutorul unei înfășurări, iar tensiunea perturbatoare se calculează aproximativ ca:

$$\underline{U}_p(\omega) = I_p(\omega) \cdot \underline{Z}_N(\omega) \quad \text{unde } \underline{Z}_N \text{ este impedanța cunoscută a LISN} \quad (5.3)$$

Curenții perturbatori se măsoară cu un analizor spectral în gama 9KHz-1GHz. Pentru a asigura repetabilitatea măsurărilor, acestea se fac în condiții determinate și prevăzute de standarde, așa cum este DIN VDE 0877. Un stand de măsură este dat în figura 5.18:

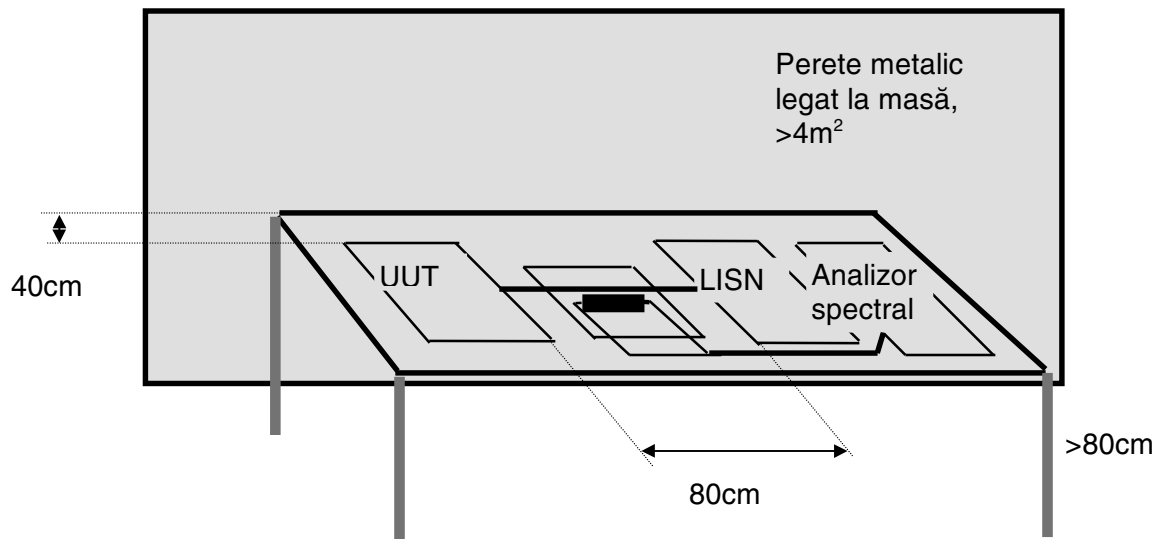


Figura 5.18

Măsurările necesită condiții speciale. De aceea a căpătat importanță detectarea perturbațiilor pentru a obține date orientative (calitative) despre tipul perturbației și despre mărimea ei (OGR88a). Se pot aminti sistemul Line Voltage Analyser (*LVA87 al firmei Gay Misuratori Elettronici din Italia, sau la nivelul anului 1995 setul de sonde al firmei ALGODUE Elettronici.

Pentru a descrie un set de sonde pentru detectarea perturbațiilor și supravegherea în timp a rețelei se analizează două tipuri de perturbații tipice pentru a stabili conținutul lor de armonici.

Considerăm un semnal periodic cu forma din figura 5.19:

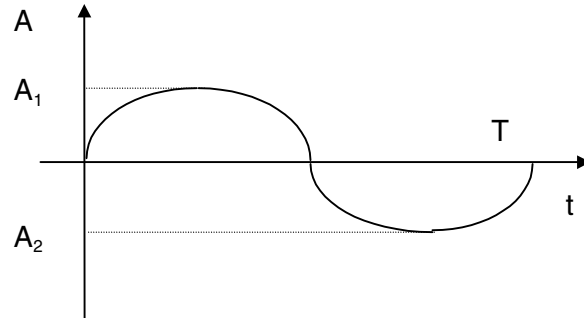


Figura 5.19

Acest semnal apare în punctul de discontinuitate al unei fluctuații de tensiune, sau când $A_2=0$, semnalul reprezintă un microdefect în forma tensiunii. Semnalul $x(t)$ se poate descompune în serie Fourier:

$$x(t)=A_1 \cdot \sin \omega t \text{ pentru } t \text{ între } 0 \text{ și } T/2$$

$$x(t)=A_2 \cdot \sin \omega t \text{ pentru } t \text{ între } T/2 \text{ și } T$$

$$x(t)=C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cdot \cos n\omega t + \sum_{n=1}^{\infty} S_n \cdot \sin n\omega t$$

unde coeficienții C_n și S_n sunt:

$$S_n=(2/T) \cdot \int_0^{T/2} A_1 \cdot \sin \omega t \cdot \sin n\omega t \cdot dt + (2/T) \int_{T/2}^T A_2 \cdot \sin \omega t \cdot \sin n\omega t \cdot dt$$

$$C_n=(2/T) \cdot \int_0^{T/2} A_1 \cdot \sin \omega t \cdot \cos n\omega t \cdot dt + (2/T) \int_{T/2}^T A_2 \cdot \sin \omega t \cdot \cos n\omega t \cdot dt$$

Efectuând calculele obținem $S_n=0$, iar în C_n armonicile impare nule. Armonicile pare au amplitudinea:

$$C_n = \frac{A_1 - A_2}{2\pi(n^2 - 1)} \quad (5.4)$$

Deci amplitudinea componentelor de frecvență superioară este proporțională cu saltul de amplitudine. De exemplu, un salt de amplitudine de 20V care are loc în cadrul aceleiași perioade dă următoarele valori procentuale față de amplitudinea semnalului: $C_2=0.96\%$, $C_4=0.19\%$, $C_6=0.08\%$. Comparând aceste valori cu cele permise de EN 5006 se observă că acest salt de amplitudine generează armonici nepermise.

Dacă presupunem o modificare a frecvenței în cadrul unei aceleiași perioade, se poate demonstra prin descompunere în serie Fourier că se generează de asemenea armonici superioare. Pentru a calcula C_n și S_n au fost făcute câteva ipoteze simplificatoare. În primul rând s-a considerat că prima semiperioadă are pulsația ω_1 , cea de-a doua ω_2 , dar trecerea prin 0 a semnalului este la $T/2$. Notând:

$$d\omega = \omega_1 - \omega_2$$

Coeficienții C_n și S_n vor avea următoarea formă:

$$C_{(2n)} = A \frac{\cos 2\pi \cdot d\omega / \omega_1 - 1}{\pi(n^2 - 1)} \quad (5.5)$$

$$C_{(2n+1)} = A \frac{\cos 2\pi \cdot d\omega / \omega_1 - \cos \pi \cdot d\omega / \omega_1}{(n^2 - 1)} \quad (5.6)$$

$$S_{(2n)} = A \frac{\sin 2\pi \cdot d\omega / \omega_1 - 1}{(n^2 - 1)} \quad (5.7)$$

$$S_{(2n+1)} = A \frac{\sin d\omega / \omega_1 - \sin 2\pi \cdot d\omega / \omega_1}{(n^2 - 1)} \quad (5.8)$$

Presupunând o variație de 1 Hz la 50Hz, amplitudinile armonicilor, în procente față de amplitudinea semnalului vor fi:

$$C_2=0.08\% \quad S_2=1.3\%$$

$$C_3=0.02\% \quad S_3=0.26\%$$

$$C_4=0.01\% \quad S_4=0.24\%$$

$$C_5=0.006\% \quad S_5=0.08\%$$

Se observă că datorită componentei de 100Hz, care are o amplitudine mare, saltul de 1Hz produce armonici care nu se încadrează în recomandările EN 5006.

Aproximația cea mai grosieră făcută până acum era că semnalul de la punctul de discontinuitate al tensiunii rețelei este periodic și prin urmare are componente spectrale discrete. Un calcul mai exact se poate face considerând semnalul sinusoidal modulat cu un semnal treaptă (în amplitudine sau frecvență). Rezultă că în punctul de discontinuitate apar spectre de frecvență calculabile cu integrala Fourier. Cu cât intervalul considerat în integrală este mai mare, cu atât rezultatele vor fi mai exacte. Problema este ușor abordabilă printr-o metodă numerică.

Concluzia este că și modificarea amplitudinii unei alternanțe și modificarea frecvenței generează armonici superioare (regim deformant). O sondă trebuie în primul rând să detecteze aceste armonici superioare. Se pot detecta astfel impulsurile suprapuse, variațiile de amplitudine, variațiile de frecvență și defectele în forma tensiunii.

1.Sonda pentru detectarea armonicilor superioare(OGR87) are schema bloc în figura 5.20

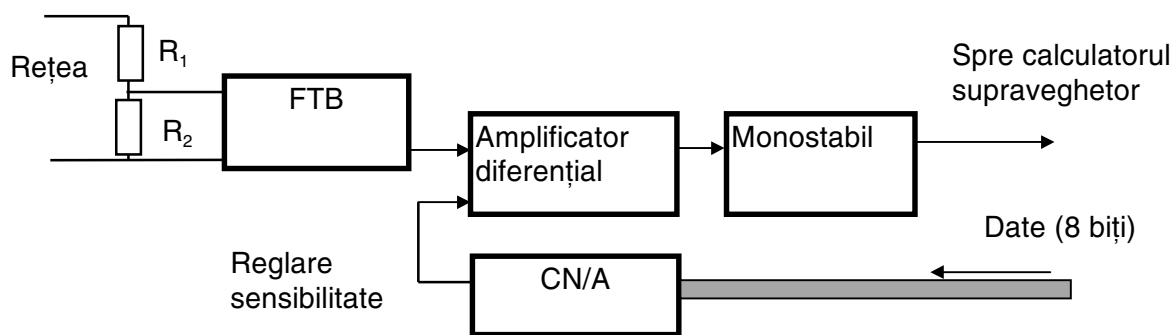


Figura 5.20

Tensiunea de urmărit este culeasă cu un divizor rezistiv de la tensiunea rețelei, în acest caz detectându-se impulsurile care apar diferențial între fază și nul. Există posibilitatea de cuplare față de împământare, ceea ce face sonda sensibilă la perturbațiile de mod comun. Primul amplificator operațional este într-o configurație de filtru trece bandă, având la intrare o fracțiune din tensiunea rețelei. Următorul amplificator operațional este un amplificator diferențial care axează pulsurile de frecvență mare pe un nivel continuu, pozitiv, reglabil, care va constitui reglajul de sensibilitate al sondei. Al treilea amplificator operațional este în montaj de monostabil. La ieșirea acestui monostabil este conectată linia de transmisie digitală spre calculator prin intermediul unui optocuplor. Existența

optocuplorului este necesară pentru decuplarea galvanică, deoarece sonda este cuplată galvanic cu rețeaua. Sensibilitatea se poate comanda cu ajutorul unei plăci D/A. Ieșirea analogică pentru comanda pragului sensibilității trebuie de asemenea separată galvanic.

Caracteristica de frecvență a sondei, ridicată experimental, este dată în figura 5.21:

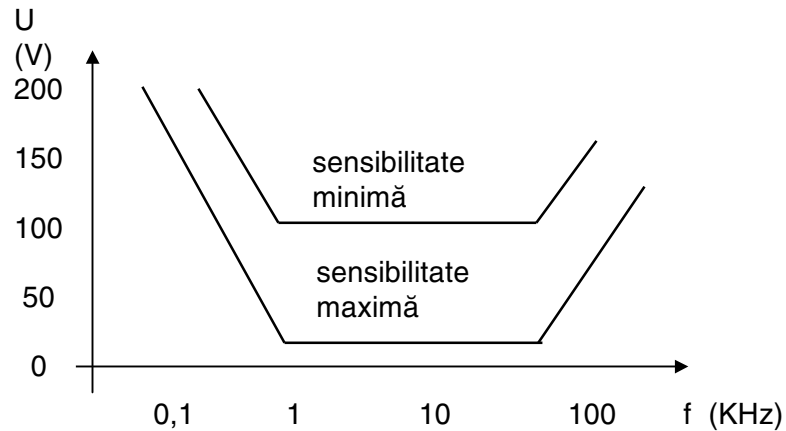


Figura 5.21

2.Sonda pentru detectarea deviațiilor de frecvență (POP88) are schema bloc în figura 5.22:

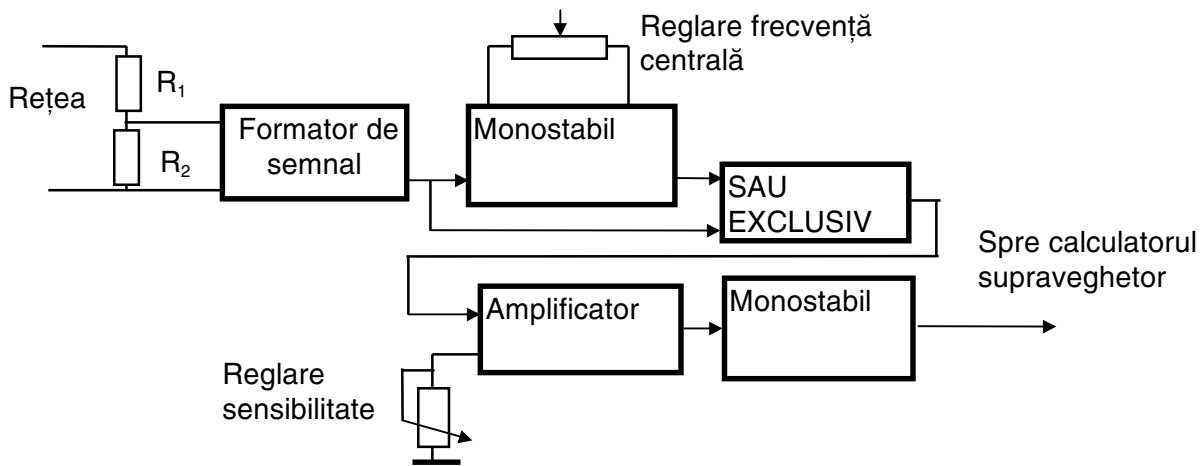


Figura 5.22

Primul amplificator operațional transformă semnalul sinusoidal de frecvența rețelei într-un semnal dreptunghiular cu aceeași frecvență. Al doilea operațional este într-o configurație de monostabil, având durata temporizării independentă de frecvența rețelei sau de amplitudinea ei.

La ieșirea circuitului SAU EXCLUSIV cu diode vom avea impulsuri negative de lățime egală cu diferența dintre durata monostabilului și cea a unei semiperioade a tensiunii rețelei.

Prin reglarea timpului de întârziere a monostabilului se impune frecvența cu care se face comparația (50Hz, reglabil în gama 46Hz-51Hz). Prin preluarea unei fracțiuni reglabile din tensiunea de ieșire a amplificatorului diferențial se poate stabili gama de deviații permise în jurul frecvenței centrale (+/-0.5Hz, +/- 3Hz)

Corelarea cu funcționarea perturbată a unui echipament (OGR88), (OGR88b)

Rolul acestor sonde este să supravegheze rețeaua și să înregistreze deviațiile (perturbațiile) care depășesc un anumit nivel. În figura 5.23 este arătată schema bloc a unui sistem de supraveghere a funcționării unui echipament (în acest caz un calculator) condus de un calculator supraveghetor.

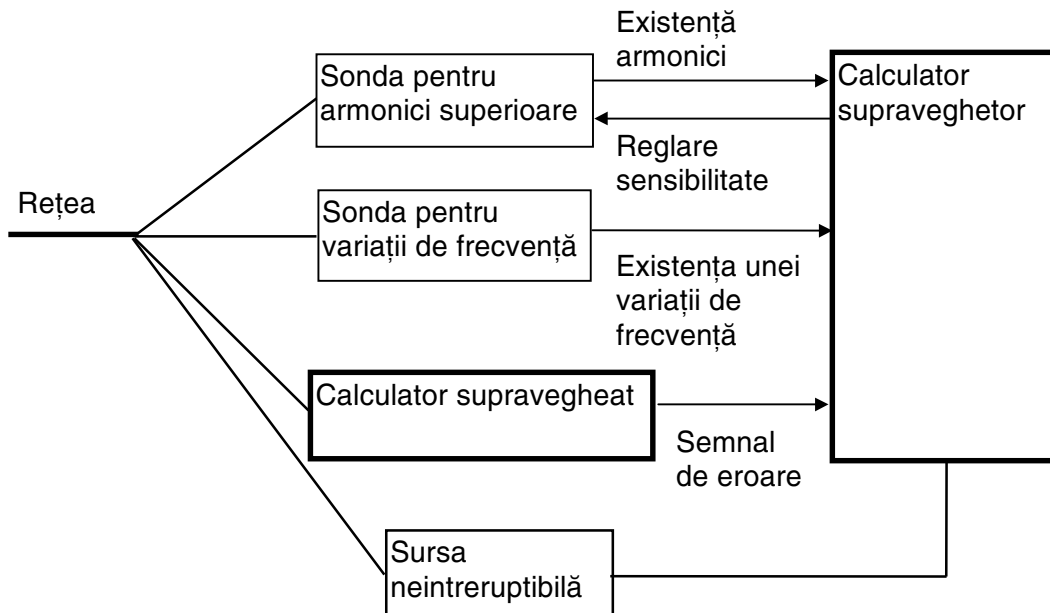


Figura 5.23

Sondele pentru detectarea armonicilor superioare și a deviațiilor de frecvență comunică calculatorului supraveghetor apariția unei perturbații. Această comunicare poate fi făcută sub forma unei cereri de întrerupere, după care sistemul supraveghetor analizează care dintre sonde a solicitat întreruperea. Sistemul supraveghetor asociază sursei de întrerupere ora, minutul și secunda la care a apărut perturbația.

Ideal este să se găsească o posibilitate ca sistemul supravegheat să comunice momentul în care perturbația îi deteriorează funcționarea. Acest lucru poate fi realizat prin mai multe metode, cea mai cunoscută fiind cea care folosește rularea unui program care trece periodic printr-o zonă de adrese și astfel retriggerază un monostabil retriggerabil (figura 5.24). Funcționarea perturbată care se poate manifesta printr-un RESET sau ieșirea din bucla de program, se manifestă prin faptul că monostabilul nu mai este redeclanșat. Cu o oarecare întârziere, calculatorul supraveghetor este informat de eroarea apărută în sistemul supravegheat.

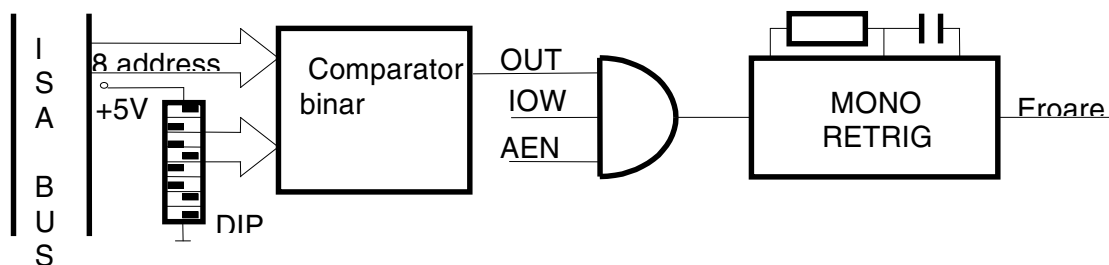


Figura 5.24

Prelucrarea datelor obținute de la sonde se execută pentru a putea determina o corelare între defectele calculatorului supravegheat și un anumit tip de perturbație. Analiza se face prin calcularea

coeficientului de corelație, care oferă o măsură a gradului de legătură între două sau mai multe mărimi variabile.

5.5.Măsurarea susceptibilității la perturbații conduse

Pentru a măsura sau a verifica susceptibilitatea este nevoie de un simulator de perturbații și de un mijloc de cuplare a perturbației.

Pentru simularea unei perturbații condusă de rețeaua de alimentare se pot utiliza căile de cuplare capacitivă și inductivă, de mod comun și diferențial, date în figura 5.25:

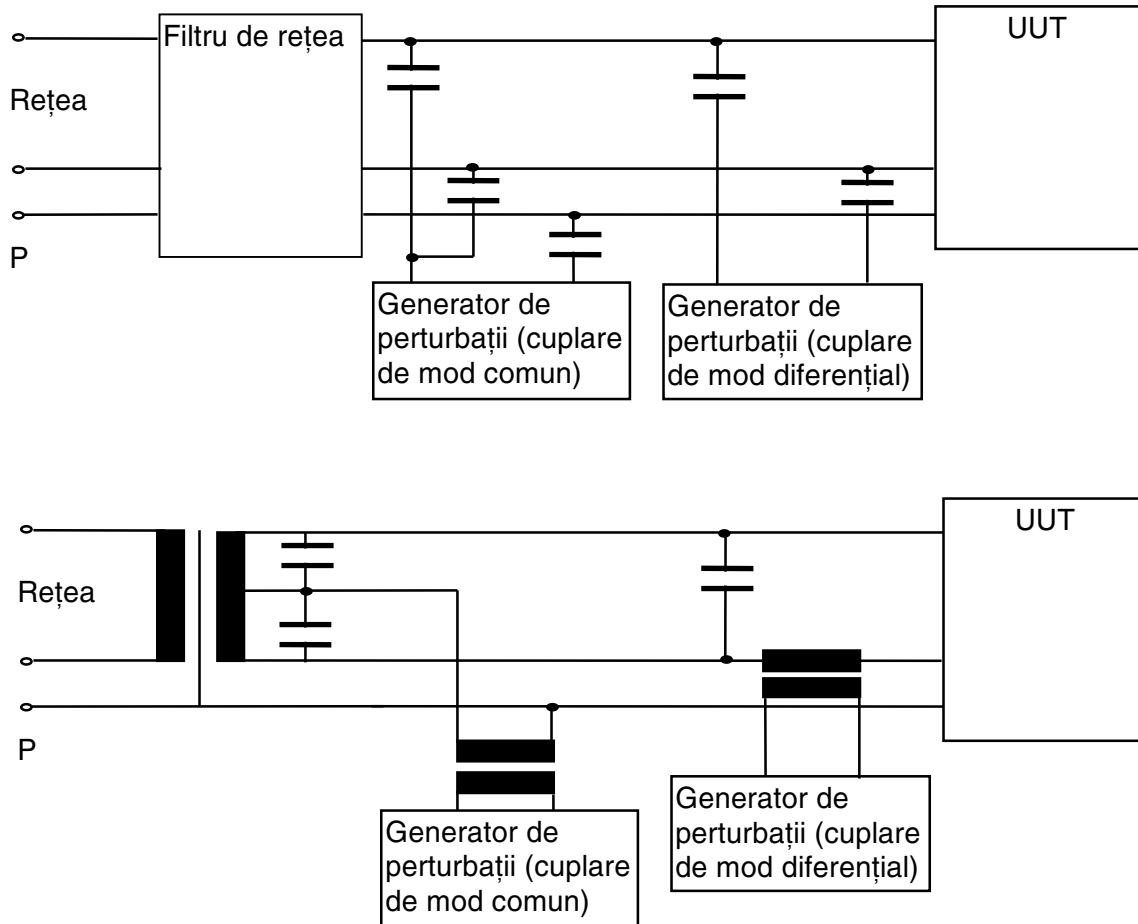


Figura 5.25

La cuplarea inductivă condensatorii au rolul ca la înaltă frecvență să scurtcircuiteze componentele de înaltă frecvență ca să nu pătrundă în rețea.

Tipuri de perturbații generate

În figura 5.26 se arată parametrii tipici pentru supratensiunea în rețea ca semnal de test (conform EN 61000 și DIN VDE 0160) și parametrii tipici de test pentru variația de amplitudine, care prevede variații de +/-8% pentru rețele neperturbate și +/-16% pentru rețele puternic perturbate, pe perioade de 2-3s, apoi 3-7s amplitudine normală (EN 61000):

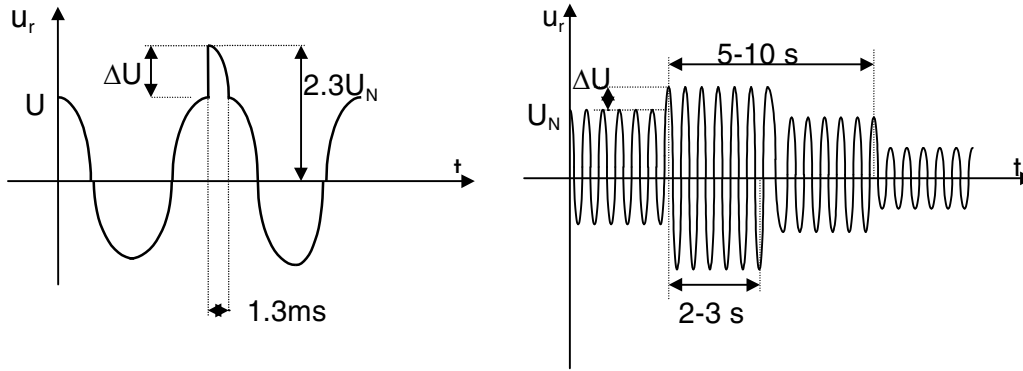


Figura 5.26

Impulsul de test pentru studiul susceptibilității la supratensiuni se aplică ca în figura 5.27:

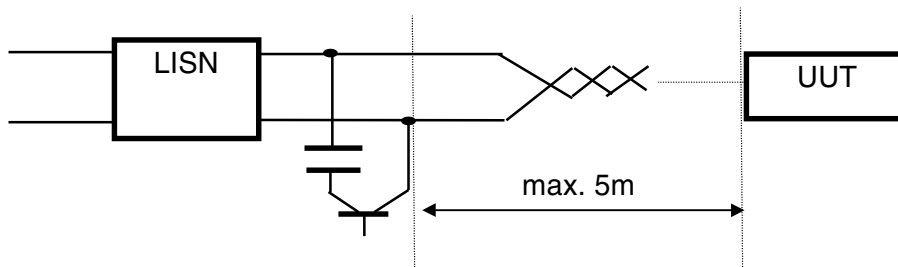


Figura 5.27

Impulsul se generează prin descărcarea unui condensator printr-un tranzistor sau tiristor. Impulsul are de regulă forma dublu exponențială. Variațiile amplitudinii tensiunii din figura 26 se obțin cu un transformator cu prize comutate. Comutarea prizelor se poate face atât manual cât și automat.

Testarea la căderea tensiunii de rețea este descrisă în DIN VDE 0839. O cădere tipică este lipsa unei alternanțe (10ms) sau scăderea la jumătate a amplitudinii unei perioade. O cădere tipică, precum și schema bloc a unui generator sunt date în figura 5.28 (OGR96a):

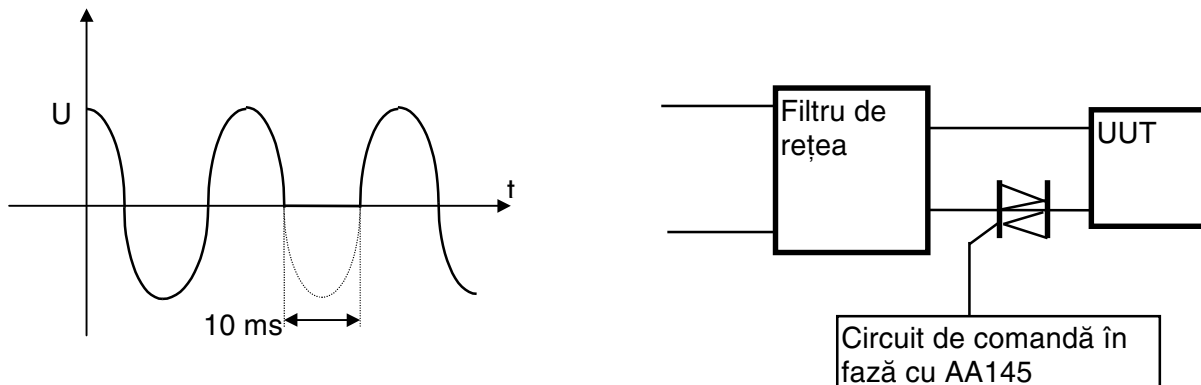


Figura 5.28

Înteruperile sunt generate cu un triac comandat de un circuit de comandă în fază. La rândul lui, circuitul de comandă în fază este comandat de un circuit digital care comandă numărul de semiperioade lipsă, precum și lungimea unei serii (salve) de perturbații.

Testarea susceptibilității la salve de impulsuri (supratensiuni)

Salvele de impulsuri sunt frecvente în rețea datorită comutărilor releelor de forță. Forma impulsului de test este dublu exponențială, impuls des întâlnit în tehnica încercărilor de înaltă tensiune. Parametrii impulsului, precum și ai salvei de impulsuri sunt dați în figura 5.29:

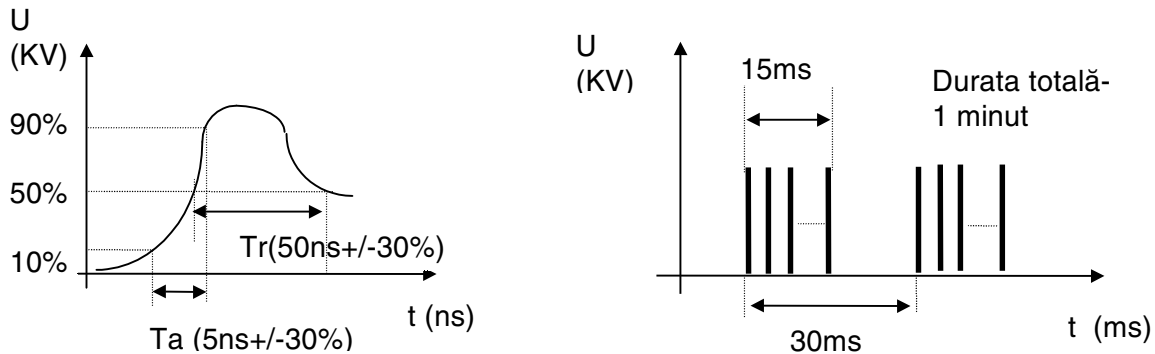


Figura 5.29

Se definesc mai multe grade de severitate, în funcție de care se modifică tensiunea maximă a impulsului, astfel:

1- 0,5kV; **2-** 1kV; **3-** 2kV; **4-** 4kV.

Schema principală a unui generator de salve este dată în figura 5.30:

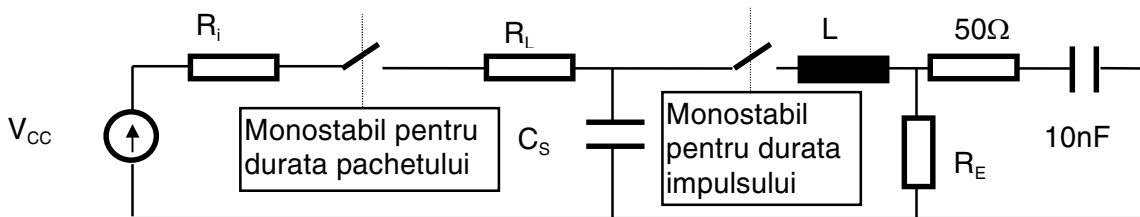


Figura 5.30

T_r este dat de descărcarea condensatorului cu constanta L/R_E , iar T_a este dat de încărcarea condensatorului cu constanta $C_s R_L$.

Cuplarea salvei de impulsuri (simulată prin rezistența de 50Ω și condensatorul de $10pF$ se face capacitiv la cablul de alimentare de rețea al aparatului testat sau la liniile de semnal între 2 subsisteme, ca în figura 5.31:

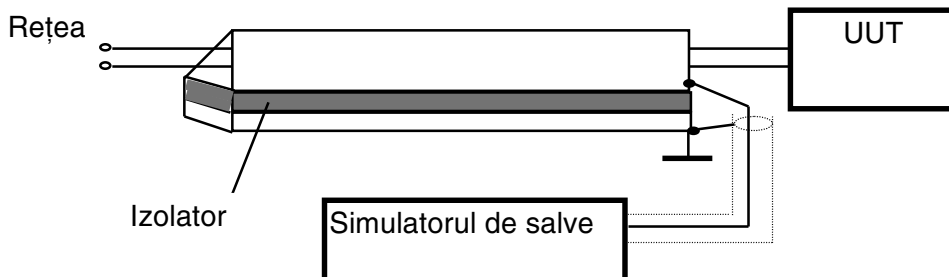


Figura 5.31

Sunt admise și legarea directă a unui condensator sau acoperirea cu folie autoadezivă conductoare.

Testarea susceptibilității la perturbații de bandă îngustă

Această testare se face cu un generator cuplat inductiv, măsurarea realizându-se cu o înfășurare, ca în figura 5.32:

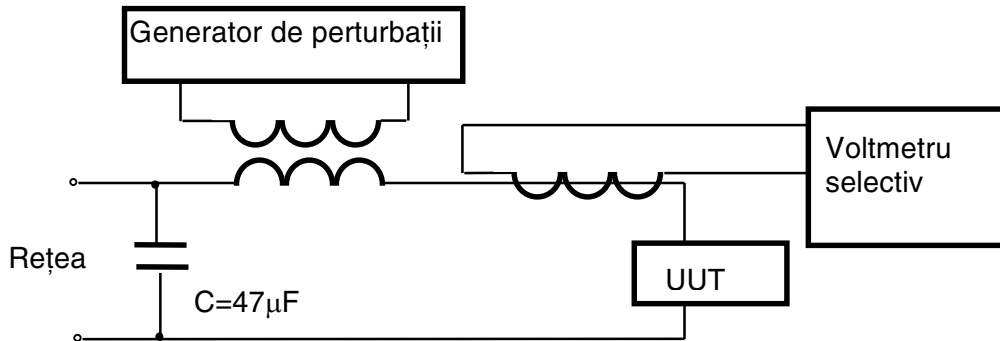


Figura 5.32

Un aparat de laborator folosit pentru testarea susceptibilității la perturbații conduse este SCHAFFNER NSG 600. Un complex de testare (pentru evaluarea susceptibilității) este cel al firmei LAPLACE INSTRUMENTS LTD., iar un sistem profesional de testare este WINPATS HAEFELY TRENCH AG.

5.6. Măsurări speciale de susceptibilitate

Măsurarea susceptibilității la descărcări electrostatice

Pentru testare este nevoie de un generator de înaltă tensiune, un condensator de înaltă tensiune pentru acumularea energiei necesară descărcării și de un electrod de descărcare (*UMS95), (SCH96), conform IEC 801-2, ca în figura 5.33:

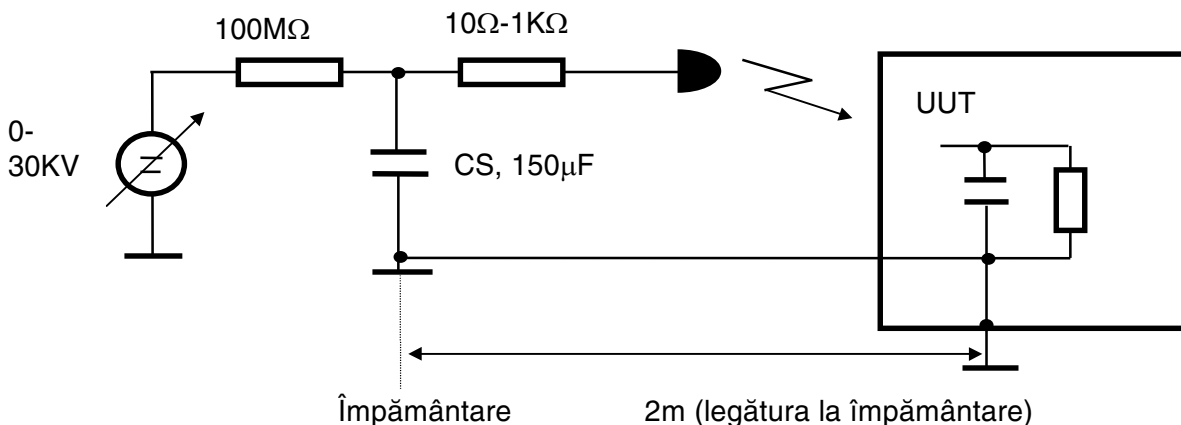


Figura 5.33

Se definesc mai multe grade de severitate:

1- U=2kV 2- U=4kV 3- U=8kV 4- U=12kV

IEC 801-2 solicită testarea aparatelor la descărcări în rafale, cu caracteristicile din figura 5.34:

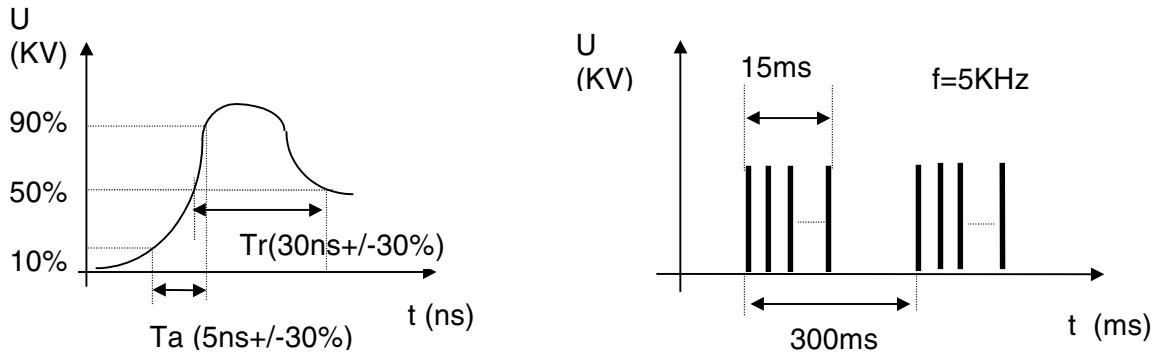


Figura 5.34

Tensiunea de test este mai mică, astfel:

1- $U=0,5\text{kV}$ 2- $U=1\text{kV}$ 3- $U=2\text{kV}$ 4- $U=4\text{kV}$

Există o mare varietate de a aplica descărcarea, din care cea mai utilizată este cu un pistol special.

Măsurarea susceptibilității la impulsuri NEMP

Un impuls NEMP are forma din figura 5.35:

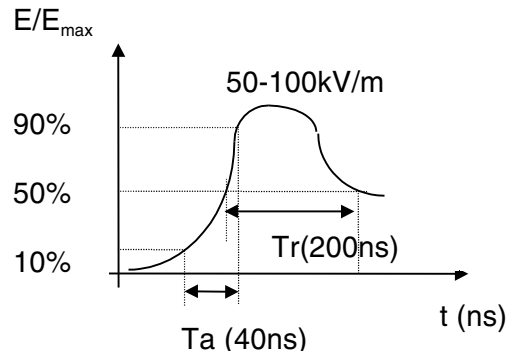


Figura 5.35

Un impuls NEMP este un impuls foarte scurt, de ordinul sutelor de ns, iar amplitudinea de ordinul MV. Testele la susceptibilitate se fac de regulă în domeniul militar, în aviație și în tehnica spațială. O incintă pentru testarea susceptibilității la NEMP este arătată în figura 5.36:

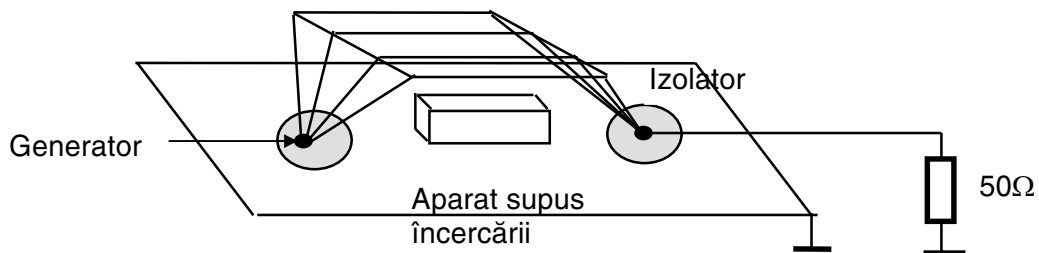


Figura 5.36

Incintele de uz militar sunt de mari dimensiuni, pentru testarea vehiculelor, tancurilor și avioanelor. Mai nou însă, chiar și uzinele Volkswagen intenționează să încerce aparatura electrică a autoturismelor și la impulsuri NEMP.

Teste de susceptibilitate pentru plachetele echipate

În articolul "Störfestigkeitsuntersuchungen an Printed Circuit Boards" de E. Sauer (*UMS95) se descriu testele care se pot aplica plăcilor imprimare.

Testarea se poate face într-o incintă TEM, unde se asigură un câmp de 3V/m sau într-o cameră absorbantă. Schema de testare în cameră anecoidă este dată în figura 5.37:

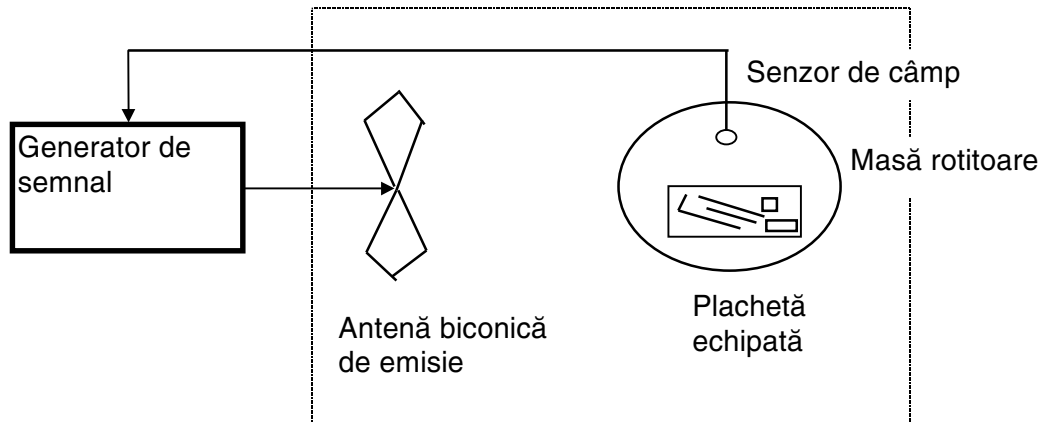


Figura 5.37

De exemplu la un câmp de 3V/m, la o placă cu un amplificator de instrumentație, cu cele două intrări de lungime 350 mm și respectiv 180 mm, traseu cu lățimea de 1 mm, la ieșirea amplificatorului apare un semnal de ordinul a 2V în gama de frecvențe de trecere a AO. Testarea se face în gama 9KHz-1GHz.

Testarea în câmp magnetic se afce cu 2 antene la 30 mm de placă, în gama 30MHz-1GHz.

Se mai pot face teste cu semnale speciale care sunt frecvente în atmosferă, așa cum este un semnal GSM (Groupe Special Mobile), cu modulație MSK (BOR95).

Testarea cu impulsuri de înaltă tensiune în salvă se face conform figurii 5.38:

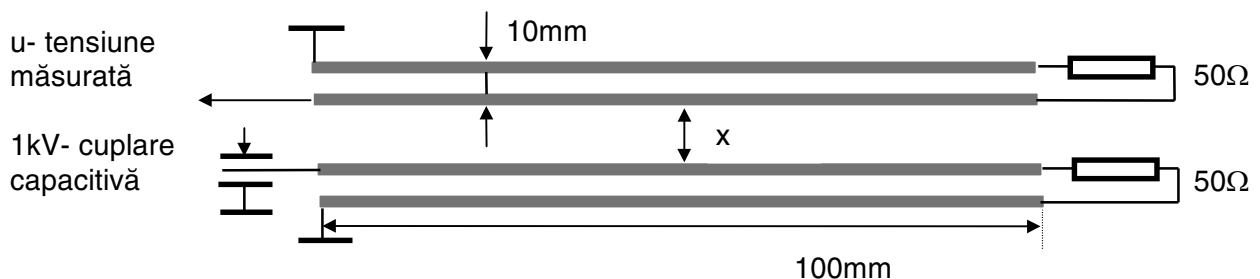


Figura 5.38

De exemplu, cu valorile din figura 38 s-au obținut tensiuni de ordinul a 20V pentru $x=3\text{mm}$, 15V pentru $x=5\text{mm}$, 10V pentru $x=10\text{mm}$ și 5V pentru $x=25\text{mm}$.

Aceste teste pot fi făcute pentru trasee pe aceeași parte a plăcii sau pentru trasee pe 2 fețe diferite.

5.7. Măsurarea mijloacelor de atenuare a perturbațiilor

Se pot măsura caracteristicile de atenuare pentru filtre, ecrane, carcase, camere de măsură etc.

Măsurarea atenuării ecranului cablurilor

Măsurarea atenuării pentru câmpuri magnetice (funcție de frecvență) constă în determinarea impedanței de cuplaj (galvanic sau inductiv). Pentru că un câmp magnetic perturbator este creat de un curent, testarea se face injectând un curent I_p . Cu notațiile din figura 5.39, impedanța de cuplaj este:

$$\underline{Z}_L(\omega) = \frac{\underline{U}_p(\omega)}{\underline{I}_p(\omega)} \quad (5.9)$$

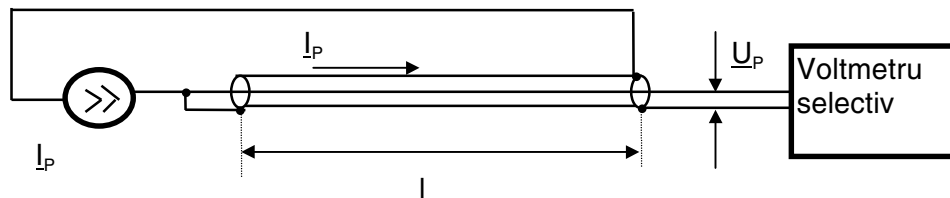


Figura 5.39

Măsurarea atenuării pentru câmpuri electrice quasistatice se face aplicând un câmp electric perturbator prin intermediul unui ecran cilindric exterior, pe care se aplică tensiunea U_p . Apare capacitatea C prin ecranul cablului. Se definește admitanța de transfer ca:

$$\underline{Y}_T(\omega) = \frac{\underline{I}(\omega)}{\underline{U}_p(\omega)} \cong j\omega C \quad (5.10)$$

Montajul pentru măsurare este dat în figura 5.40:

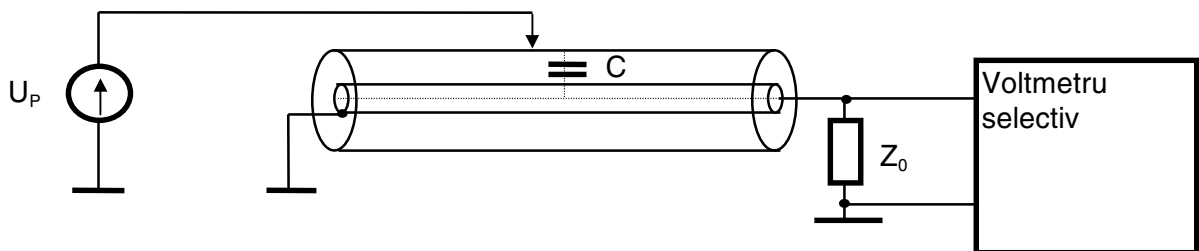


Figura 5.40

Atât impedanța de cuplaj pentru câmpuri magnetice cât și admitanța de transfer pentru câmpuri electrice se dau pe unitate de lungime.

Măsurarea atenuării la câmp radiat se face pe baza principiului de **reciprocitate** care afirmă că atenuarea câmpului radiat din exterior este aceeași cu cea a câmpului radiat din interior spre exterior. Se măsoară astfel câmpul radiat în exterior, ca în figura 5.41:

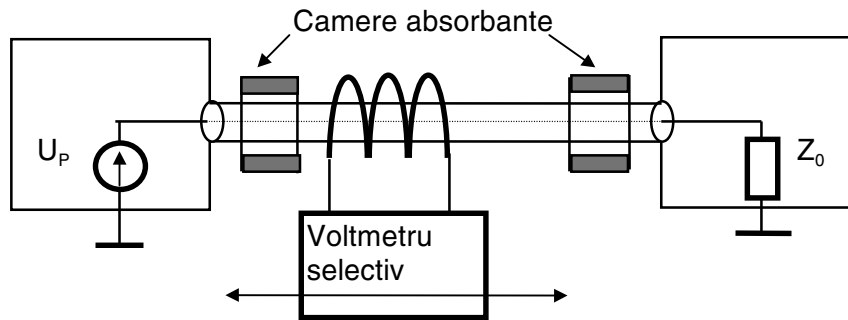


Figura 5.41

Măsurarea atenuării pentru carcuse și incinte ecranate

Se face o măsurare fără ecran și una cu ecran, cu antene conform domeniilor de frecvență. Atenuarea va fi $a = a_0 - a_E$, diferența atenuărilor fără ecran (a) și cu ecran (b), figura 5.42:

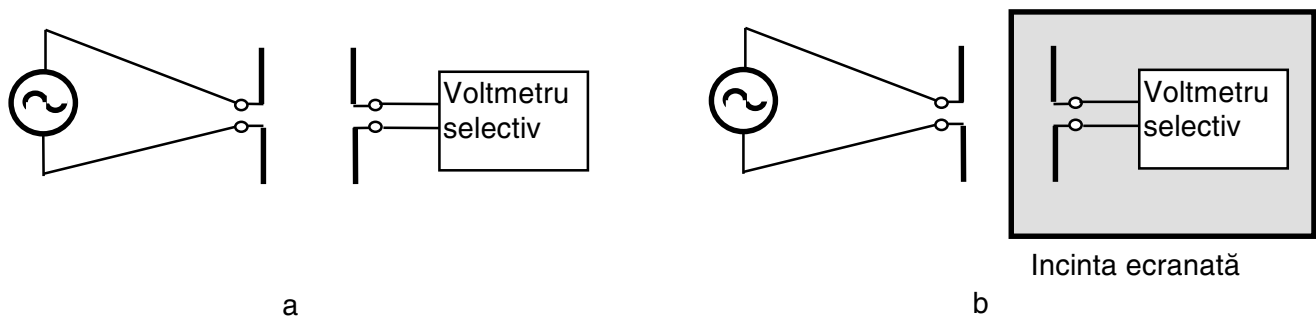


Figura 5.42

Pentru incintele mari, cum ar fi camerele absorbante se folosește o metodă punctuală aplicată la un perete cu un emițător în exterior, un receptor în exterior și un receptor în interior, ca în figura 5.43:

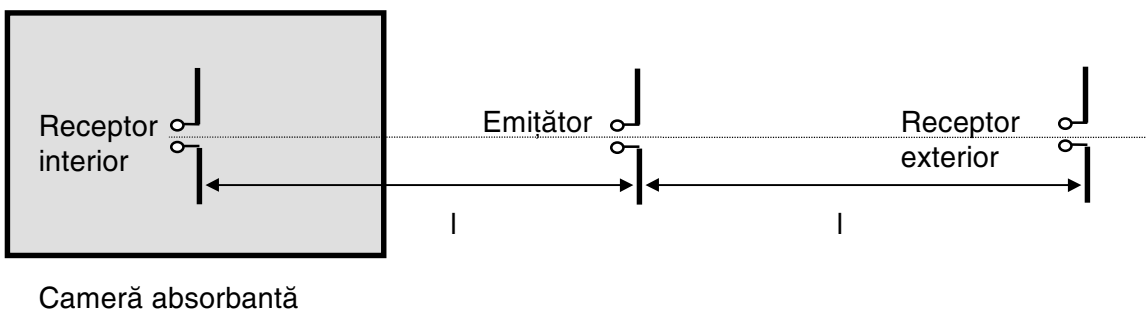


Figura 5.43

Măsurarea atenuării intrinsece pentru materiale

Această atenuare nu depinde de dimensiunile geometrice și se face în incinte TEM. În incinta TEM (cu unde ElectroMagnetice Transversale) există volume în care vectorii E și H sunt perpendiculari, cu o direcție cunoscută. Forma unei astfel de incinte (incinta TEM Crawford) este dată în figura 5.44:

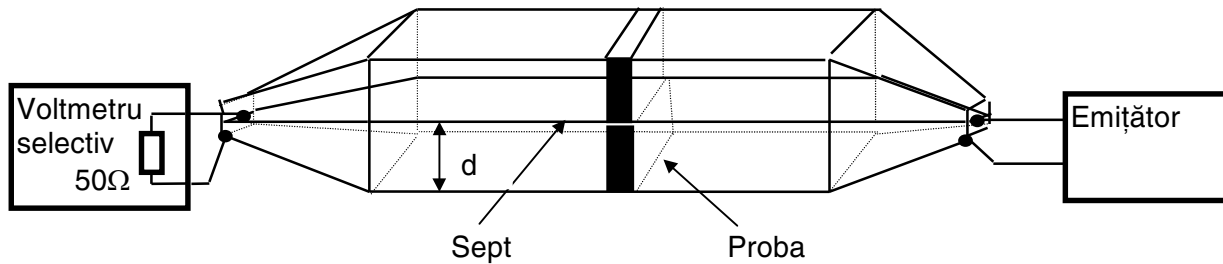


Figura 5.44

Intensitatea câmpului electric este $E=U/d$, U fiind tensiunea de ieșire a emițătorului. Se pot atinge intensități ale câmpului între 100-500V/m. Incinta poate fi folosită până la frecvențe de ordinul 500MHz. Pentru simularea câmpului într-o astfel de incintă se pot folosi programele MAFIA și CONCEPT (Germania, 1997). Aceste programe, unul folosind metoda diferențelor finite și altul metoda momentelor, au ca date de intrare dimensiunile geometrice ale incintei, furnizând la ieșire direcția vectorilor E și H în întreaga incintă. Rularea durează mult pe PC, de aceea programele se rulează pe stații grafice cu procesoare RISC.

O parte a energiei emise se reflectă, o parte se absoarbe în probă și o parte este recepționată de voltmetrul selectiv. Pentru măsurarea atenuării introduse de probă se măsoară câmpul fără probă și cu probă, în toată gama de frecvențe.

O metodă asemănătoare, dar cu precizie mai ridicată necesită 2 incinte TEM cuplate electromagnetic, ca în figura 5.45:

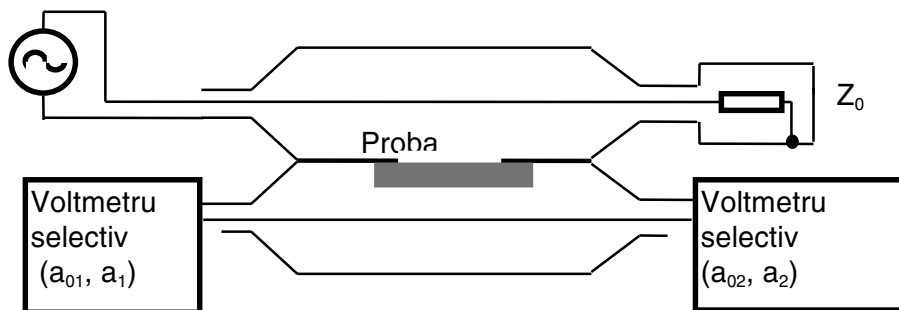


Figura 5.45

Se măsoară câmpul fără probă și se obțin atenuările a_{01} și a_{02} și cu probă, a_1 și a_2 . Media acestor valori este mai exactă decât valoarea determinată în figura 5.44.

La precizii mici se poate folosi incinta cu 2 camere. Proba se introduce între 2 dipoli electrici sau magnetici, într-o incintă izolată (SCH96).

Atenuarea prin reflexie a unui perete absorbant

Profitând de proprietatea cuplorului direcțional de a furniza un semnal proporțional cu diferența între câmpul radiat și cel reflectat, se poate măsura coeficientul de reflexie al unui perete absorbant ca în figura 5.46:

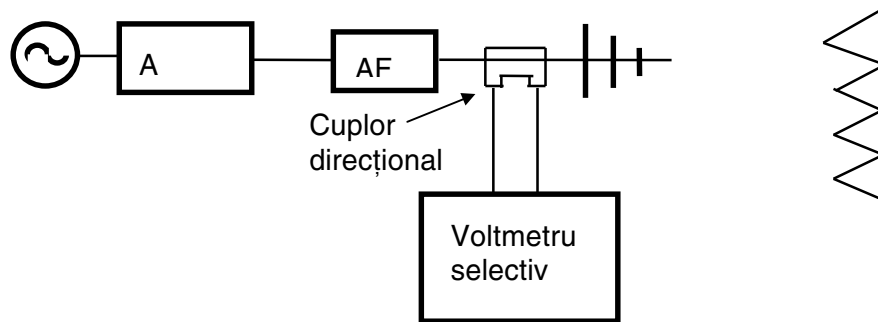


Figura 5.46

Măsurarea atenuării pentru filtre de rețea

Măsurarea atenuării filtrelor de rețea se face în 3 moduri, arătate în figura 5.47:

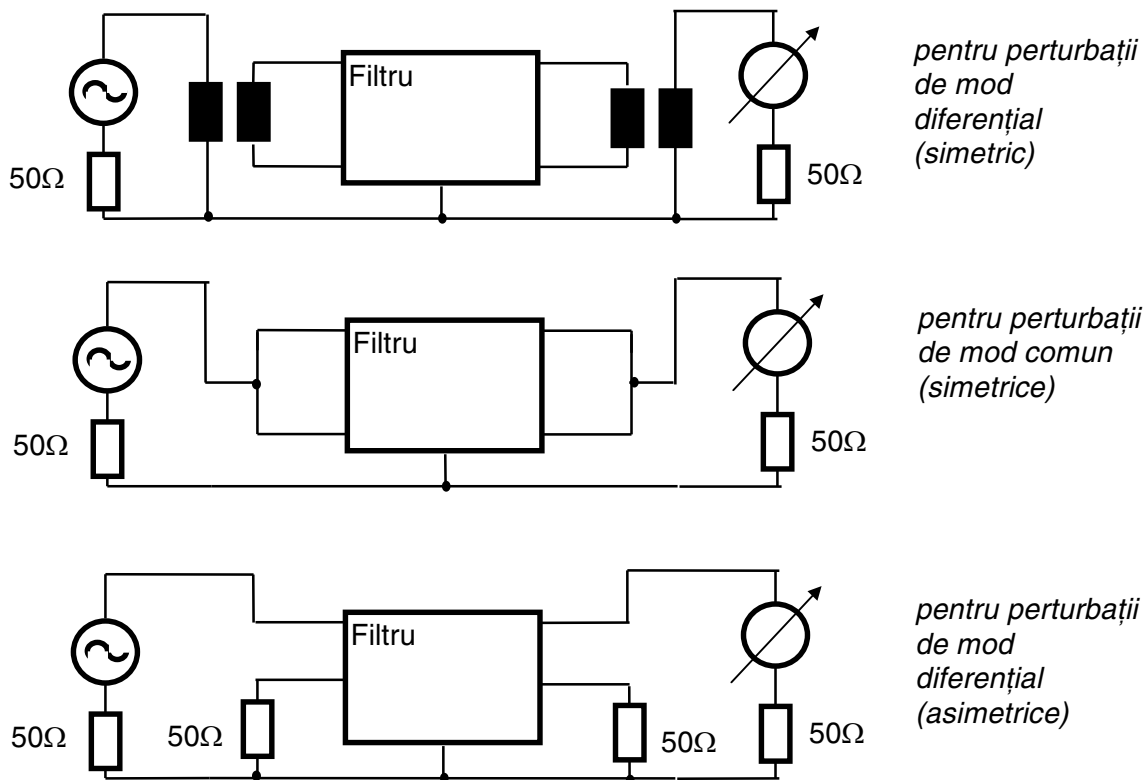


Figura 5.47

5.8. Măsurări automate

Măsurările automate se fac etapizat, astfel (GOP95):

-Pre-măsurarea dă un tablou general al spectrului perturbației. Se poate face prin detecția amplitudinii maxime, în tot spectrul.

-Culegerea de date- se stochează doar frecvențele critice sau domeniile de frecvență în care perturbația este mare (sau marginea de imunitate este mică).

-Măsurarea finală- se face doar în domeniile critice de frecvență.

O schemă bloc pentru măsurarea câmpului radiat este dată în figura 5.48:

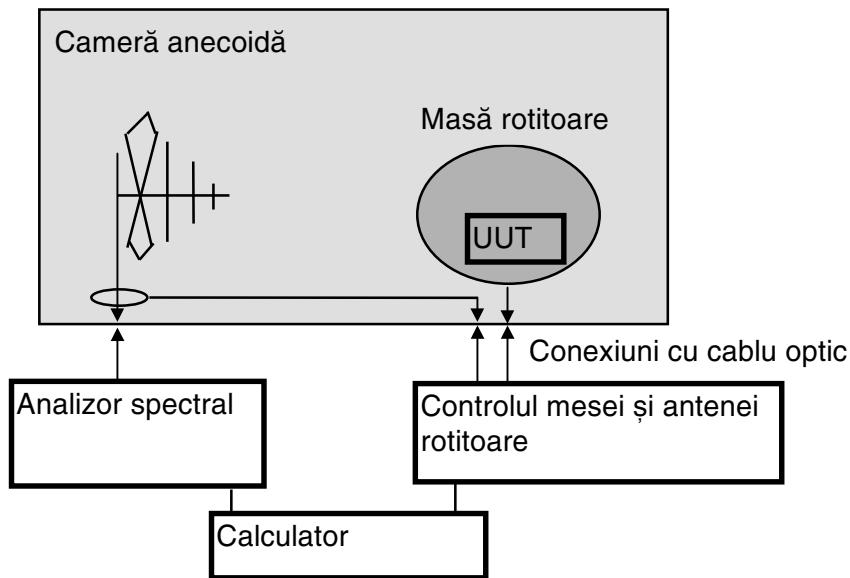


Figura 5.48

Schema bloc pentru determinarea susceptibilității la câmp radiat (după IEC 1000) este dată în figura 5.49:

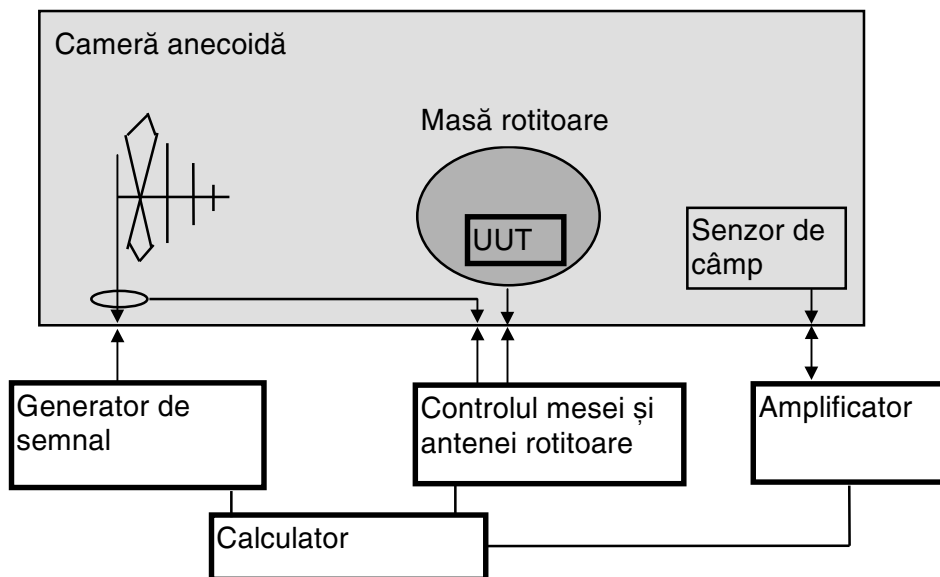


Figura 5.49

La măsurarea susceptibilității nu este nevoie de schimbarea unghiului de măsurare. Generatorul de semnal este în gama 30-1000 MHz, cu amplificator de putere 25-200W pentru sisteme mici, realizând o intensitate a câmpului de 3-10V/m și cu amplificator de 1-10kW pentru a realiza 30-200V/m.

Măsurarea automată a susceptibilității aparatelor la perturbații conduse prin rețea se poate face ca în figura 5.50: (GER98)

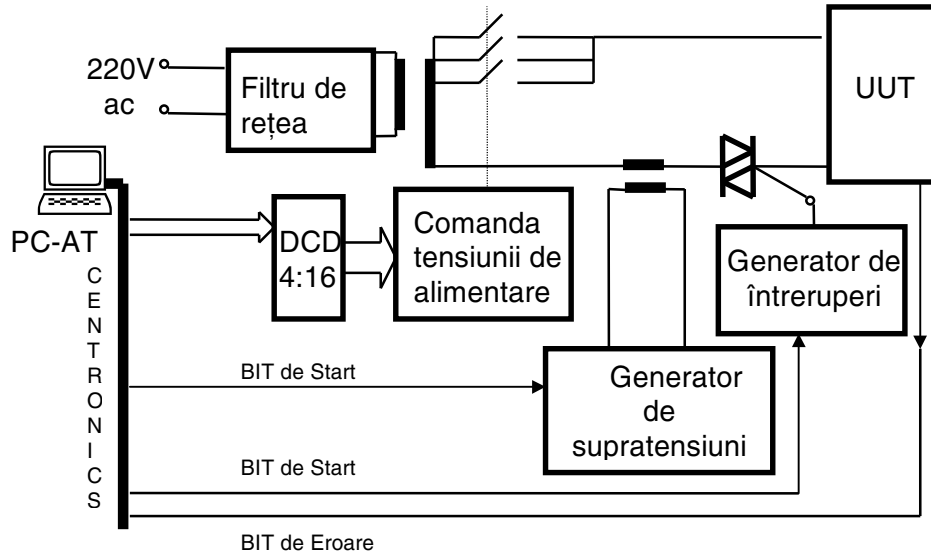


Figura 5.50

Calculatorul coordonator stabilește secvența de test prin interfața paralelă CENTRONICS. Se pot genera:

- variații în trepte ale valorii efective ale tensiunii de alimentare
- întreruperi singulare și salve de întreruperi
- supratensiuni singulare și salve de supratensiuni

Standul de test poate lucra în două regimuri:

- verificarea susceptibilității, care se realizează aplicând perturbații conform normelor în vigoare (EN61000/1994, IEC555, IEC1000, DIN VDE 0160, 0838, 0839);
- măsurarea susceptibilității, care se realizează aplicând perturbații crescătoare, până la limita la care aparatul nu mai funcționează corect, semnalizată de semnalul de Eroare.