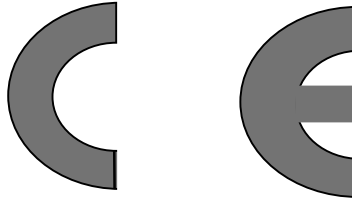


## Importanța EMC. Istoric.

**De la 1 ianuarie 1996 este obligatorie la toate aparatele, sistemele electrice și electronice să îndeplinească normele EMC ale Comunității Europene ca să poată fi oferite pe piață. Producătorul sau importatorul trebuie să primească un semn de conformitate astfel:**



Prima problemă de EMI semnalată a fost atunci când Marconi a instalat demonstrativ un set de telegrafe în legătură cu Anglia, Franța și SUA, care bineînțeles că nu au funcționat bine simultan (JOL72). A fost descoperit astfel accidental că frecvența este importantă în transmisia datelor.

În 1934 a fost creat CISPR, la început fiind interesați de domeniul EMC doar cei care lucrau în domeniul militar. În anii 1945-1955 a crescut precizia echipamentelor servo utilizate în armată, au apărut comunicațiile tactice radio pe nave, a apărut sonarul, s-a răspândit radarul și ca urmare problemele de interferență s-au diversificat. În anii 1955-1965 au apărut noi probleme de interferență datorită introducerii tensiunii de 440V/60Hz pe nave. După 1965 au apărut dispozitivele semiconductoare care au dus la răspândirea, miniaturizarea și diversificarea tuturor echipamentelor electronice.

În prezent o mare parte a populației folosește telefonul mobil, există telecomenzi radio pentru diverse echipamente, comunicații radio punct cu punct, aparate de uz casnic echipate cu microprocesor, comunicații prin satelit, calculatoare personale, posturi naționale și locale radio și TV și ca urmare problematica EMC devine din ce în ce mai importantă. De exemplu în SUA, din 1950 numărul de stații de emisie a crescut de 4 ori și a ajuns la 1400 de stații TV și 11000 radio. FCC a acordat licențe la 12 milioane de stații fixe și mobile pentru comunicații.

EMC este de importanță vitală mai ales în unele domenii:

- în aviație și tehnica spațială
- în marină
- în domeniul automobilelor
- în domeniul transporturilor cu trenuri rapide
- în tehnologia circuitelor integrate

Constructorii de avioane trebuie să fie siguri că aparatul de zbor va funcționa în orice condiții de perturbare electromagnetică. Se impun de aceea teste de susceptibilitate care necesită camere izolate foarte mari și emițătoare de ordinul sutelor de KW. Se caută soluții noi pentru materiale compozite de ecranare, pentru noi metode de test, de predicție și măsurare. Se încearcă mărirea imunității la perturbații a echipamentului electronic de bord. Se verifică de exemplu comportarea avionului la descărcări electrostatice printr-un aparat care descarcă o energie controlată în fuselaj, măsurându-se apoi influențele în interior (\*IEE92).

Un exemplu din tehnologia spațială este satelitul HITEN lansat în 1990 și care și-a terminat misiunea în 1993, cu un calculator de bord care a fost afectat de 655 de erori cauzate de radiațiile cosmice. Salve de erori au apărut după exploziile solare majore. În această perioadă calculatorul a funcționat corect datorită circuitului de votare (redundanță hardware hibridă) (NIR96).

La autoturisme problemele specifice EMC sunt date de faptul că în aceeași incintă trebuie să funcționeze atât partea electrică puternic perturbatoare (aprinderea, ștergătoarele de parbriz, ventilele ABS, comutatorul de lumini) cât și aparate care prelucrează informația (calculatorul de bord, comanda ABS, etc.). Cu cât autoturismul se modernizează și apar module noi de prelucrare, cu atât problemele de EMC devin mai importante.

În domeniul trenurilor rapide, la modernizarea liniei de metrou "Central Line", contractul de asigurare EMC a costat de ordinul a 1 milion de lire. Dificultățile au fost generate de schimbarea vechilor sisteme de semnalizare cu altele noi, fiind necesar totuși ca noile trenuri să poată funcționa și cu vechile sisteme de semnalizare pentru a nu bloca traficul.

În tehnologia VLSI, cerințele care se impun sunt:

- frecvența de tact > 100MHz
- viteze de transfer de ordinul sutelor Mbps
- comunicații la frecvențe > 1GHz

Aceste cerințe necesită o proiectare atentă din punct de vedere EMC. Cu cât în tehnologia VLSI se micșorează dimensiunile și grosimile stratului de siliciu pentru a obține nivele mari de integrare, cu atât circuitele devin mai vulnerabile la perturbații radiate. Un studiu cerut de NASA societății Cirrus Logic solicita ca memoria dintr-un circuit VLSI să fie realizată cu toleranță la erori (prin redundanță).

Un grafic al cheltuielilor de asigurare a EMC pentru diferite faze de realizare a unui aparat (fig. 1.1) sugerează că o preocupare pentru EMC din primele faze asigură costuri reduse.

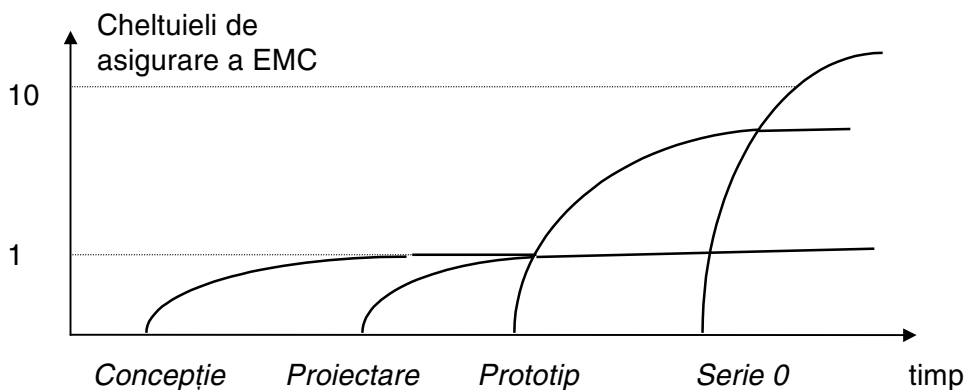


Figura 1.1

Importanța acordată acestui domeniu în țările dezvoltate a dus la organizarea de cursuri post universitare pentru inginerii din învățământ și producție, mai ales în domeniile în care perturbațiile pot produce pagube importante (domeniul militar). Organizatorul acestor cursuri este Donald R White (\*INT86). Se poate menționa ponderea dată în aceste cursuri diferitelor probleme de perturbare. Astfel un curs de 4 zile este împărțit pe zile astfel:

1. Masa, rațiuni și conflicte, masa la plachete cu circuite, ambient electromagnetic
2. Câmpuri electromagnetice, diafonie și surse de alimentare. La surse de alimentare se discută:
  - problemele surselor în comutație
  - filtre de alimentare și transformatoare izolatoare
  - set motor - generator pentru alimentare neîntreruptă
  - surse neîntreruptibile
3. Ecranare, teorie, materiale folosite
4. Rezolvarea unor probleme de interferență

Ca lucrări de referință în domeniu se pot cita cele 6 volume din colecția Don White Consultants (WHI72). În volumul 1 sunt prezentate definițiile și conceptele problemei EMC, arătându-se în detaliu modul în care se manifestă fenomenul de interferență. Lucrarea conține norme, standarde și specificații atât pentru domeniul industrial, cât și al bunurilor de larg consum și militar. Volumul 2 prezintă concepte fundamentale și aplicații practice referitoare la metodele de test și procedurile care trebuie aplicate în vederea atenuării interferenței electromagnetice. Sunt indicate de asemenea proceduri de testare a susceptibilității echipamentelor electronice, atât în cazul perturbațiilor conduse, cât și radiate. Prevenirea, controlul și suprimarea EMI fac obiectul volumului 3.

Lucrarea vizează sursele de EMI și susceptibilitatea receptorilor la perturbații, abordând o serie de probleme specifice cum sunt:

- analiza și prevenirea EMI în sistemele electronice;
- pozarea cablurilor și echiparea conectorilor;
- legătura la pământ -ecranarea și materialele utilizate în acest scop;
- filtrarea și izolarea rețelei de alimentare;
- controlul interferenței în componente, circuite și echipamente.

Aparatura de testare a EMI și condițiile de testare în câmp deschis și în incinte ecranate sunt descrise în volumul 4. Se analizează senzori, analizoare de spectre, precum și sisteme automate de măsură a EMI. Volumul 5 este o introducere în analiza influenței electromagnetice cu aplicații practice. Metodele utilizate, empirice și teoretice acoperă o clasă largă de surse de zgomot din mediul înconjurător: emițătoare și receptoare, radare, comunicații vocale și numerice, aparatură de navigație, etc. O prezentare a numeroaselor reglementări, normative și standarde, precum și a agențiilor de control care au atribuțiuni pe linia specificării măsurilor pentru controlul EMI este dată în volumul 6.

Una din cele mai complete lucrări de referință este (SAN90). În capitolul 1 "Perturbații electromagnetice, mediul electromagnetic și protecția susceptorilor" se trec în revistă noțiuni generale, standarde și reglementări, definiții, și se caracterizează semnalele în domeniul timp și domeniul frecvență. Se enumeră apoi în lucrare posibilități de legare între ele a masei electronice, a pământului de protecție, a carcasei conductive, se indică alegerea punctului de contact la pământ la echipamentele sensibile. Se citează în continuare o listă de măsuri antiperturbative la transmisia intra / intersisteme a semnalelor. Se trec în revistă materiale, componente și dispozitive antiperturbative (filtre, capacități, inductivități și ferite absorbante, elemente de limitare). Capitolul "Protecția ambientului electromagnetic" descrie micșorarea perturbațiilor la generator. Pentru prima dată la noi se face asocierea dintre noțiunea de compatibilitate electromagnetică și poluarea mediului.

O carte de mare valoare a apărut în 1996, tradusă și în limba română (SCH96), care se remarcă prin claritate, simplitate și modernitate.

Pe măsura introducerii materiei de EMC în Universitățile noastre au apărut cărți și studii de compatibilitate, așa cum sunt cele de la Constanța (SOT97) și la Iași (SER95), ultima lucrare fiind un remarcabil tratat de ecranare. O carte apărută la Timișoara (IGN96) detaliază aspecte legate de măsurări în EMC.

Publicațiile periodice în domeniul compatibilității electromagnetice sunt IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility și EMC Technology Magazine (Don White Consultants).

EMC studiază unele efecte ale câmpului electromagnetic. Chiar dacă se poate considera banal, este bine să fie dată la început o definiție a câmpului electromagnetic (DIM72):

*"Câmp electromagnetic- formă a materiei care prezintă o anumită continuitate a distribuției în spațiu, caracterizată printr-un câmp electric și unul magnetic variabile în timp, care se condiționează reciproc și se propagă cu viteza luminii. În fiecare punct al câmpului, asupra corpurilor încărcate sau polarizate electric, polarizate magnetic sau prin care circulă curent electric, acționează forțe și cupluri de forțe determinate de cele 4 mărimi vectoriale (H,B,D,E)."*

## 1. Interacțiunea dintre mediu și echipamentele electronice

Asupra unui sistem electronic se manifestă o multitudinea de influențe exterioare. Figura 1.2 arată o imagine globală a influențelor exterioare, cu exemple sugestive:

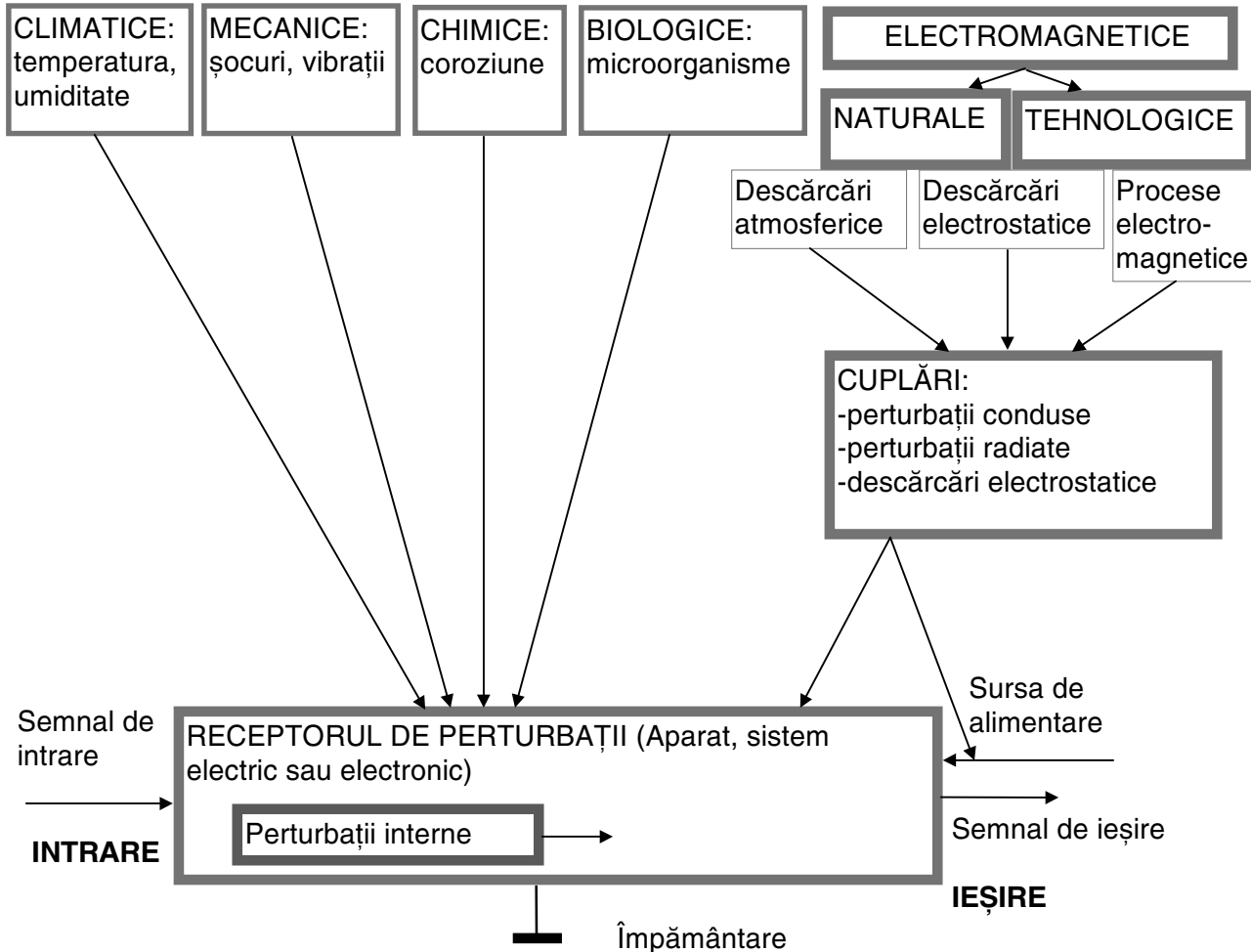


Figura 1.2

Obiectul compatibilității electromagnetice este studiul perturbațiilor electromagnetice.

### 1.1. Definiții. Aspecte juridice

**Compatibilitatea electromagnetică EMC**, (*EMC- Electromagnetic Compatibility în engleză, respectiv EMV- Electromagnetische Verträglichkeit în germană*), constă în abilitatea sistemelor sau subsistemelor de a opera în mediul stabilit, fără să sufere și fără să cauzeze degradări inacceptabile ale funcționării din cauza influențelor electromagnetice (conform Dicționarului Electrotehnic Internațional IEC 50).

Compatibilitatea electromagnetică are 4 componente esențiale:

- caracteristicile perturbațiilor și ale generatorului de perturbații
- caracteristicile traseului de transmitere a perturbațiilor între perturbant și perturbat
- susceptibilitatea dispozitivului perturbat la tipul energiei perturbante a generatorului

d) timpul sau momentul în care emite perturbatorul în raport cu nivelul de susceptibilitate la perturbații al dispozitivului perturbat în acel moment.

**Starea de compatibilitate electromagnetică** este atinsă într-un sistem când nivelul de imunitate la perturbații al oricărui dispozitiv din sistem este mai ridicat decât nivelul de perturbații la care este supus dispozitivul. Starea de compatibilitate depinde de sistem, deci un dispozitiv poate fi compatibil într-un sistem dar poate să nu fie în altul.

**Nivelul de imunitate electromagnetică** al unui dispozitiv se definește ca valoarea maximă a perturbației care poate fi aplicată dispozitivului fără ca acesta să-și piardă din performanțele nominale (garantate).

**Marginea de compatibilitate** se definește ca raportul între nivelul de imunitate la perturbații al dispozitivului sau sistemului și nivelul de perturbații la care este supus.

**Interferența electromagnetică** se definește ca interacțiunea între perturbant și perturbat care afectează performanțele perturbatului.

**Susceptibilitatea electromagnetică** constă în capacitatea și nivelul cu care un dispozitiv sau sistem răspunde la energia nedorită a perturbației.

Un organism însărcinat cu studiul problematicii EMC, propuneri de standardizare, reclamații, este CISPR, (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectrique).

**Aspectul juridic** al compatibilității electromagnetice este următorul: cel care construiește și pune în exploatare un sistem nou este responsabil. El trebuie să ia toate măsurile pentru a limita perturbațiile generate. Mai mult, aparatul trebuie să îndeplinească și condițiile specificate în standarde ulterioare apariției aparatului, în caz contrar el trebuie retras de pe piață.

Este cunoscut cazul unei clădiri noi, cu geamuri metalizate care a împiedicat recepția TV unui grup de case. Constructorul clădirii a fost obligat prin hotărâre judecătorească să instaleze un releu pe clădire.

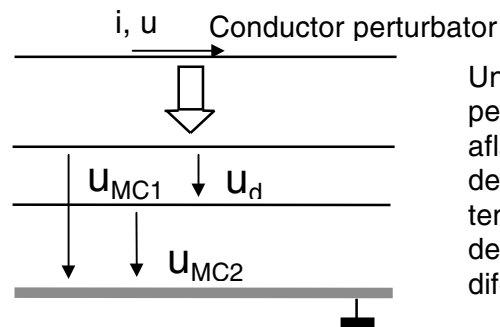
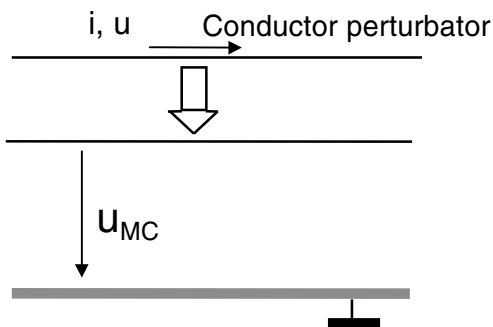
### **Perturbații de mod comun și diferențial (figura 1.3):**

Se definește prin tensiune de mod comun (longitudinal), tensiunea între un conductor și pământare (sau ecran). Se definește prin tensiune de mod diferențial (transversal), tensiunea între două conductoare izolate de sol. Tensiunile perturbatoare pot fi aplicate simetric sau asimetric, figura 1.3. Tot în figura 1.3 sunt date exemple de aplicare a perturbațiilor la AO.

$u_{MC}$  - tensiune de mod comun

$u_d$  - tensiune de mod diferențial

$$u_d = u_{MC1} - u_{MC2}$$

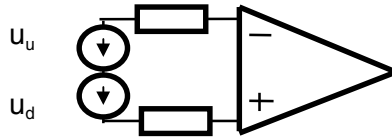


Un conductor perturbator parcurs de  $i$ , aflat la potențialul  $u$  determină apariția unor tensiuni perturbatoare de mod comun și diferențiale.

### diferențial simetric

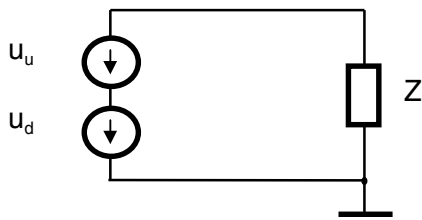


exemplu cu AO în configurație diferențială

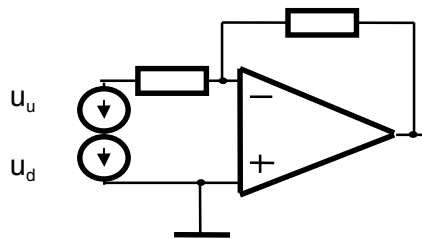


*Tensiunea perturbatoare diferențială simetrică se aplică în serie cu tensiunea utilă, în circuite simetrice.*

### diferențial asimetric

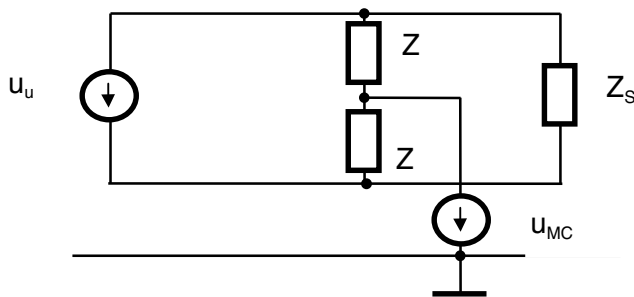


exemplu cu AO

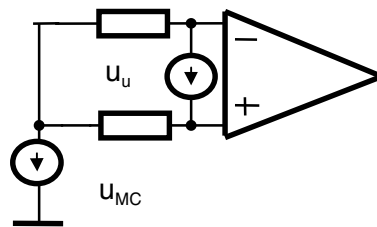


*Tensiunea perturbatoare diferențială asimetrică se aplică în serie cu tensiunea utilă, în circuite asimetrice (legate la masă).*

### de mod comun simetric

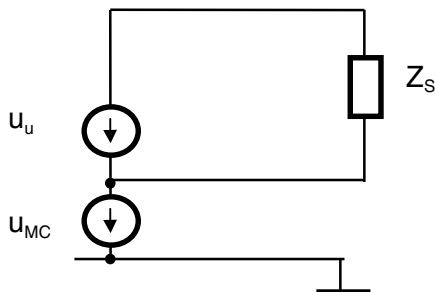


exemplu cu AO

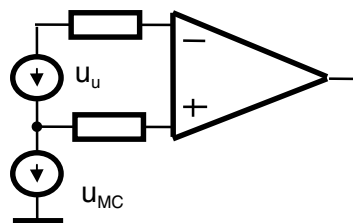


*Tensiunea perturbatoare de mod comun simetrică se aplică între masă și cele 2 linii de semnal prin impedanțele \$Z\$.*

### de mod comun asimetric



exemplu cu AO



*Tensiunea perturbatoare de mod comun asimetrică se aplică între masă și una din liniile de semnal.*

Figura 1.3

În EMC mărimile se exprimă logaritmice:

tensiunea:

$$u_{dB} = 20 \lg U_x / U_0, \quad U_0 = 1 \mu V$$

curentul:

$$i_{dB} = 20 \lg I_x / I_0, \quad I_0 = 1 \mu A$$

intensitatea câmpului electric:

$$E_{dB} = 20 \lg E_x / E_0, \quad E_0 = 1 \mu V/m$$

intensitatea câmpului magnetic:

$$H_{dB} = 20 \lg H_x / H_0, \quad H_0 = 1 \mu A/m$$

puterea:

$$P_{dB} = 10 \lg P_x / P_0, \quad P_0 = 1 pW$$

### Funcționare perturbată

Un sistem electric sau electronic interacționează cu multe sisteme externe - operatorul uman, perifericele de calculator, rețeaua de alimentare, alte sisteme electrice etc. Aceste sisteme externe interacționează cu sistemul după legi bine stabilite, pentru a obține o utilitate maximă a sistemului de calcul. Există însă și sisteme care, pe lângă efectul util prezintă și un efect perturbator. În sensul cel mai larg, denumirea de sistem poate fi atribuită oricărei colecții de obiecte sau fenomene între care există relații de interdependență. Pentru cunoașterea sistemului nu este suficientă analiza părților componente, ci este necesar și studiul comportamentului său, adică al relațiilor sale cu mediul. Un sistem electric și mediul pot fi priviți ca doi parteneri într-un joc (Neumann, 1947) care are ca scop ordinea și dezordinea. Mediul tinde conform celui de-al doilea principiu al termodinamicii să crească dezordinea, iar sistemul electric tinde să micșoreze dezordinea (entropia).

Atunci când mediul câștigă acest joc, sistemul electric nu mai funcționează sigur, fiind puternic perturbat.

**Funcționarea nesigură a sistemului este datorată influenței perturbatoare a unor sisteme externe.**

**Perturbația** este o modificare, neregularitate, deranjament în funcționarea unui sistem, a unei mașini, în evoluția unui fenomen, etc. (\*DEX75).

Studiul global al tuturor influențelor este imposibil. De aceea autorii selectează anumite aspecte ale influențelor externe sau câteva din influențele externe mai însemnate.

Principial, studiul acestor influențe se realizează în mai multe etape:

1. Simularea unui anumit tip de perturbație pe calculator
2. Generarea perturbației cu un aparat de test
3. Măsurarea efectelor perturbației
4. Determinarea unor măsuri de creștere a imunității sistemului la acest tip de perturbație.

Un pas superior în analiza acestor influențe se face prin automatizarea procesului de generare și măsurare a perturbației (THI91).

## 1.2. Standarde naționale și internaționale

Colecția de standarde românești în domeniu:

a. **STAS 6048/1-80** Antiparazitarea surselor de perturbații radioelectrice. Standardul stabilește prescripțiile generale referitoare la antiparazitarea radioelectrică în gama 0,15-1000 MHz, impusă surselor de perturbații radioelectrice. Standardul conține metoda de măsurare a tensiunilor perturbatoare din rețea, între firele active și pământ cu un circuit serie C, R, L. Se definește rețeaua artificială ca un dispozitiv care se intercalează în timpul măsurărilor între sursa de perturbații și rețeaua de alimentare pentru a crea la bornele de alimentare ale sursei de perturbații o impedanță definită în gama de frecvențe în care se măsoară, creându-se astfel condiții de măsurare repetabile și comparabile;

b. **STAS 6048/2-91** perturbații radioelectrice în iluminatul cu tuburi fluorescente tubulare, limite și metode specifice de măsurare;

c. **STAS 6048/3-83** instalații de telecomunicații prin fir, limite admisibile ale perturbațiilor, condiții și metode specifice de măsurare;

d. **STAS 6048/4-83** vehicule și utilaje echipate cu motor cu aprindere prin scânteie, limite admisibile ale perturbațiilor și condiții specifice de încercare (echivalent cu CISPR 12);

e. **STAS 6048/5-71** transport electric, limite admisibile și condiții speciale de încercare;

f. **STAS 6048/6-84** aparate și instalații generatoare de înaltă frecvență de uz industrial, științific, medical, casnic sau similar;

g. **STAS 6048/7-80** aparate, mașini și instalații electrice (echivalent cu CISPR 14);

h. **STAS 6048/8-71** linii aeriene de transport de energie electrică de înaltă tensiune și echipament de linie;

i. **STAS 6048/9-80** antiparazitarea radioelectrică a radioreceptoarelor și receptoarelor TV;

j. **STAS 6048/10-87** aparate și echipamente pentru prelucrarea informațiilor EPI. EPI se împart în două clase, A și B, clasa B fiind mai restrictivă. Limitele admise tensiunii perturbatoare la bornele rețelei de alimentare sunt date în tabelul 1.1, considerând  $0 \text{ dB} = 1 \mu\text{V}$ :

Tabelul 1.1

Domeniul de frecvență	Valori cvasivârf	Valori medii
A 0,15-0,5 MHz	79dB	66dB
A 0,5-30MHz	73dB	60dB
B 0,15-0,5MHz	66-56dB	56-45dB
B 0,5-5MHz	56dB	46dB
B 5-30MHz	60dB	50dB

Limitele admisibile ale câmpului perturbator radiat sunt date în tabelul 1.2:

Tabelul 1.2

Domeniul de frecvență	Valori cvasivârf
A 30-230MHz	30dB
A 230-1000MHz	37dB
B 30-230MHz	30dB
B 230-1000MHz	37dB

Se observă că diferența între clase se face la limitele perturbațiilor din rețeaua de alimentare;

k. **STAS 9379-74** condensatoare, bobine de șoc, rezistoare și filtre utilizate pentru antiparazitarea radioelectrică. Metode de determinare a caracteristicilor de înaltă frecvență.

Din această trecere în revistă a standardelor românești în vigoare se constată larghețea legislației antiperturbative de la noi și simplitatea cu care sunt abordate standardele. Pentru tensiunea de alimentare se impun doar limitele frecvențelor superioare și nu se abordează nici unul din celelalte defecte posibile în rețea.

În ultimii ani în România s-au adoptat standarde noi, aliniate la standardele europene (\*BUL98), astfel:

- SR-CEI 1000-2-1/96 (IEC 1000-2-1)
- SR-CEI 1000-2-2/96 (IEC 1000-2-2)
- SR-EN 60555-1 (IEC 555-1)
- SR-EN55011/97 (CISPR 11)
- SR-CISPR 13+A1+A2/95 (CISPR 13)
- SR-EN 55015/95 (CISPR 15)
- SR-CISPR16-1/97 (CISPR 16-1)
- SR-CISPR 17/95 (CISPR 17)
- SR-CISPR 22/96 (CISPR 22)



Standarde în curs de publicare:

SR-CEI 50 (IEC 50)

SR-EN61000-3-2 (IEC 1000-3-2)

SR-ETS 300127 (ETS 300127) standarde de telecomunicații

SR-ETS 300386-1 (ETS 300386-1) standarde de telecomunicații

Proiecte de standarde:

SR-CEI 1000-2-5 (IEC 1000-2-5)

SR-EN 61000-3-3 (IEC 1000-3-3)

SR-EN 50081-1, SR-EN 50081-2 (IEC 1000-6)

Fiecare țară are standarde proprii pentru reglementarea problemelor de compatibilitate electromagnetică. Pentru ca echipamentele electrice și electronice să poată funcționa și în alte țări, deci să poată fi importate și exportate au fost puse la punct reglementări internaționale. Organismele preocupate de această problemă sunt: CISPR, CIGRE (Conferința internațională de rețele electrice mari la înaltă tensiune), CEE (Comisia internațională pentru aprobarea echipamentelor electrice), CEI (IEC) (Comisia electrotehnică internațională) și alte organisme. De exemplu reglementările pentru autoturisme au fost propuse de ONU pe baza recomandărilor CISPR.

Un standard acceptat în multe țări este FCC Docket 20780. STAS 6048/10/1987 se aliniază la acest standard ca și concepție generală. FCC a adoptat reglementările la recomandările CISPR.

Organismele care se ocupă de schimburi comerciale și acorduri privind taxele, așa cum este GATT sunt foarte interesate ca produsele să respecte standardele internaționale privind EMC.

Problematika recunoașterii mutuale a produselor în Comunitatea Europeană este o problemă de prim interes (GRE94). În general piața certifică aspectele de calitate a produselor. În ceea ce privește protecția omului sau EMC produsele trebuie să respecte anumite condiții. Abia în 1993 CE a publicat în Jurnalul Oficial al Comunității un set de condiții necesare. În interiorul Comunității controlul este asigurat de "controlul intern de producție" al fiecărei unități productive. În afară de acest control, produsul trebuie să fie aprobat de o altă unitate productivă sau de cercetare. Pentru un produs din exteriorul Comunității aprobarea este mai dificilă, documentația produsului trebuie aprobată în Comunitate și se poate chiar decide o vizită la producător.

În general în SUA standardele EMC (FCC- Federal Communication Commission) sunt mai puțin restrictive, de aceea pentru produsele care se exportă se utilizează standardele europene. Standardul la care se aliniază toate calculatoarele personale, precum și subsambele lor este FCC-Docket 20780 care precizează nivelele limită acceptate pentru perturbațiile emise de mini-microcalculatoare sau sisteme digitale. Sistemele sunt împărțite conform acestui standard în două clase: clasa A domestică și clasa B instalații comerciale. Clasa B are restricții mai mari.

Standardele Comunității Europene (Norme Europene) se numesc EN. Câteva din aceste standarde și domeniul în care se aplică la nivelul anului 1996 sunt date în continuare (SCH96). Aceste norme sunt în continuă modificare și perfecționare.

EN 50065-1 Transportul energiei electrice prin rețele de medie tensiune (semnalizări în instalații de joasă tensiune)

EN 50081-1 EMC, norme de bază pentru emisii, zone de locuit și birouri

EN 50081-2 EMC, norme de bază pentru emisii, zone industriale

EN 50082-1 Generic pentru susceptibilitate, zone de locuit și birouri

EN 50082-2 (proiect) Generic pentru susceptibilitate, zone de locuit și birouri

EN 50140 (prenormă) EMC, norme de bază pentru susceptibilitatea la câmpuri electromagnetice

EN 50142 (prenormă) EMC pentru aparate electrice și electronice, perturbații generate de câmpuri

EN 50142 (prenormă) susceptibilitatea la șocuri de tensiune

EN 50147-1 (proiect) camere absorbante, măsurarea atenuării prin ecran

EN 50147-2 (proiect) camere absorbante, aparatura de măsurare

EN 50217 (proiect) măsurarea la locul de instalare a perturbațiilor emise

EN 55011 (CISPR 11) Valori limită ale perturbațiilor și metode de măsurare a interferenței pentru aparate de înaltă frecvență de uz industrial, științific și medical (aparate ISM)  
EN 55013 (CISPR 13) Valori limită ale perturbațiilor și metode de măsurare a interferenței pentru aparate radio și TV  
EN 55014 (CISPR 14) Valori limită ale perturbațiilor și metode de măsurare a interferenței pentru aparate de uz casnic, scule portabile și aparate similare  
EN 55015 (CISPR 15) Valori limită ale perturbațiilor și metode de măsurare a interferenței pentru sisteme de iluminat  
EN 55020 Susceptibilitatea radioreceptoarelor  
EN 55022 (CISPR 22) Valori limită ale perturbațiilor și metode de măsurare a interferenței pentru sisteme de calcul  
EN 55025 (proiect) Valori limită ale perturbațiilor și metode de măsurare a interferenței în mijloacele de transport  
EN 60555 (IEC 555) EMC norme de bază pentru sistemele de alimentare  
EN 60555-2 Perturbații în sistemele de alimentare datorită aparatelor de uz casnic (armonici)  
EN 60555-3 Perturbații în sistemele de alimentare datorită aparatelor de uz casnic (fluctuații de tensiune)  
EN 60801-2 EMC în automatizări industriale. Protecția la descărcări electrostatice.  
EN 60868 Măsurarea zgomotului  
EN 61000 EMC generic  
EN 61000-2-4 Perturbații conduse în mediu industrial  
EN 61000-4-8 Susceptibilitatea la câmpuri magnetice de 50Hz  
EN 61000-4-9 Susceptibilitatea la câmpuri magnetice în impuls  
EN 61000-4-11 Susceptibilitatea la perturbații din rețea (întreruperi, oscilații)

Standardele CISPR (IGN96):

CISPR 11- Limite și metode de măsurare a caracteristicilor de perturbare radioelectrică pentru aparate industriale, științifice și medicale;  
CISPR 12- Limite și metode de măsurare a caracteristicilor de perturbare radioelectrică pentru vehicule, bărci cu motor și mașini antrenate de motoare cu aprindere comandată;  
CISPR 13- Limite și metode de măsurare a caracteristicilor de perturbare radioelectrică pentru receptoarele de radiodifuziune și televiziune și a echipamentelor asociate;  
CISPR 14- Limite și metode de măsurare a caracteristicilor de aparate electrocasnice, a utilajelor portative și a aparatelor electrice similare, relativ la perturbațiile radioelectrice;  
CISPR 15- Limite și metode de măsurare a caracteristicilor de perturbare radioelectrică pentru lămpile fluorescente și corpuri de iluminat;  
CISPR 16- Specificații ale CISPR pentru aparatele și metodele de măsurare a perturbațiilor radioelectrice;  
CISPR 17- Metode de măsurare a caracteristicilor de antiparazitare ale dispozitivelor de reducere a perturbațiilor radioelectrice și ale filtrelor pasive;  
CISPR 18/1,2,3- Caracteristicile de radio-interferență ale liniilor și echipamentelor de înaltă tensiune;  
CISPR 19- Ghid de utilizare a metodei de substituție pentru măsurarea radiațiilor emise de cuptoare cu microunde la frecvențe de peste 1GHz;  
CISPR 20- Limite și metode de măsurare a caracteristicilor de imunitate pentru receptoarele de radiodifuziune și televiziune și echipamentelor asociate;  
CISPR 21- Perturbarea comunicațiilor radiotelefonice mobile în prezența zgomotelor în impuls; metode de apreciere a degradării și metode de ameliorare a funcționării;  
CISPR 22- Limite și metode de măsurare a caracteristicilor de perturbare radioelectrică pentru echipamente informatice;  
CISPR 23- Calculul valorilor limită pentru echipamentele industriale, științifice și medicale.

Cunoașterea standardelor și a metodelor de măsurare este importantă pentru autocertificare, pentru fiecare firmă constructoare de aparatură electrică și electronică. Normele EMC de măsurare se clasifică în norme de bază, generice și de produs (KRE98):

- normele de bază conțin definiția fenomenelor perturbatoare, metodele de încercare și de măsurare, instrumentația de încercări, structura de bază a încercărilor, limitele admisibile ale nivelelor de perturbație. Numai cu normele de bază nu se pot face măsurări valide.

- normele generice precizează condițiile în care încercările EMC se consideră relevante și condițiile de acceptare a rezultatelor (repetabilitate, aparatura de test, condițiile de mediu);

- normele de produs prevăd în plus față de normele generice metodele, succesiunea, secvențele, operațiile de efectuare și de evaluare a rezultatelor, specifice unei clase de produse. Unde există norme de produs, acestea sunt aplicate în totalitate. Dacă nu există norme de produs se aplică normele generice.

Există laboratoare speciale de certificare, acreditate, așa cum este NAMAS (National Measurement Accreditation Service, format în 1985 în Anglia).

Pentru verificarea aparatelor și echipamentelor electronice din punctul de vedere al calității, există organisme internaționale, dintre care cele mai cunoscute sunt: UNDERWRITES LABORATORIES INC în SUA, CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION în Canada și TUV RHEINLAND în Germania. După obținerea vizei de calitate, responsabilitatea juridică se împarte între constructor și organismul care a acordat viza.

Standardele civile erau acum 5 ani o colecție destul de eterogenă de standarde. Integrarea europeană a făcut ca în ultimii ani să fie adoptate standarde unice, care acoperă cea mai mare parte a problematicii. Standardele militare coexistă cu standardele civile, fiind de obicei paralele, dar cu restricții mai mari. În ultimii ani și standardele militare au fost refăcute (MIL STDS 461-462) pentru a le apropia de standardele civile care au devenit coerente (WITT89). Se consideră în general că standardele militare sunt cele mai bune din punctul de vedere tehnic și al clarității (MOR94).

Standardul militar MIL STD 461 împarte testele la care sunt supuse echipamentele în teste de emisie (E) și teste de susceptibilitate (S). Aceste teste se fac cu perturbații conduse (C) și radiate (R). Pentru ca o firmă să poată încheia un contract cu armata SUA trebuie să demonstreze capacitatea ei de a proiecta conform cu cerințele EMC, de a produce și de a măsura conform standardelor militare de EMC.

În acest curs multe din referințe se fac la standardele germane de EMC DIN VDE (Institutul german de inginerie electrică) pentru că aceste standarde se consideră cele mai severe și mai complete standarde în Europa.

Fără să aibă o legătură directă cu EMC, standardele de calitate asigură unui produs și performanțe din acest punct de vedere. Standardul (familia de standarde) acceptat în toată lumea este ISO 9000. Definierea termenilor este dată în ISO 8402/1994.

### 1.3.Surse de perturbații

Sursele de perturbații se clasifică:

- de bandă îngustă (rețeaua de alimentare, telefon mobil, generatoare industriale de înaltă frecvență etc.)

- de bandă largă

- tranzitorii (comutatoare, arcuri electrice etc.);

- permanente (radiații cosmice, comutații de tiristoare etc.).

Surse importante de perturbații sunt emițătoarele de comunicații, care se clasifică:

- emițătoare comerciale: AM, FM, VHF, UHF;

- emițătoare de voce: telefonie mobilă, radiotelefoane, comunicații de amatori (comunicații punct cu punct);
- emițătoare în spațiu: sateliți, comunicații între sateliți;
- navigație: comunicații aeriene, navale, spațiale;
- radar: aerian, naval, de trafic terestru.

Fiecare aparat electric se comportă ca o sursă de perturbații. Astfel, un radioreceptor superheterodină generează o perturbație de frecvența oscilatorului intern. Un televizor generează o perturbație de 15,75KHz (frecvența liniei) iar un monitor SVGA între 35-65KHz. Un calculator generează un semnal de frecvența ceasului unității centrale, a ceasului de magistrală și a ceasului unor echipamente periferice. Un cuptor cu microunde generează o frecvență de circa 2450MHz, aparatura medicală de microunde 27-2450MHz, cea de terapie 1MHz iar cea de diagnoză între 1MHz și 5MHz. În industrie sunt puternic perturbatoare motoarele, întrerupătoarele, arcurile electrice iar în cercetare aparatura de generare a energiilor înalte (ciclotron, sincrotron). Perturbatoare sunt de asemenea becurile cu neon și regulatoarele de tensiune cu triacuri și tiristoare care generează perturbații conduse prin rețeaua de alimentare.

IEC 65-4 clasifică mediul perturbat și sursele de perturbații în mai multe clase astfel:

**Clasa 1**, nivel foarte redus al perturbațiilor, de exemplu într-un loc unde:

- există perturbații în rețea datorită comutărilor (porniri/ opriri) ale unor aparate;
- sursele de alimentare au filtre de rețea;
- transmisii sunt făcute prin cablu ecranat;
- iluminarea se face cu becuri cu incandescentă;
- orice stație de emisie se află la o distanță mai mare de 1km.

**Clasa 2**, nivel redus al perturbațiilor:

- există supratensiuni în rețea;
- transmisii neecranate;
- sursele nu au filtre de rețea;
- în zonă există comunicații de radiotelefoane sau telefoane mobile.

**Clasa 3**, nivel de perturbare industrial:

- există un sistem de împământare;
- nu există separare între circuitele de curent mare și circuitele de comandă;
- există sisteme de emisie de putere mare în vecinătate.

**Clasa 4**, nivel înalt de perturbare, de exemplu mediu cu înaltă tensiune, laborator de încercări.

**Clasa X**, nivel extrem de perturbat pentru care nu există norme.

### Exemple de surse de perturbații

Sistemul electric de aprindere la un autoturism cu aprindere prin scânteie (figura 1.4) este puternic perturbator. Aceste perturbații sunt de bandă largă, permanente, dar cu importante componente tranzitorii. Frecvența maximă poate ajunge la ordinul MHz.

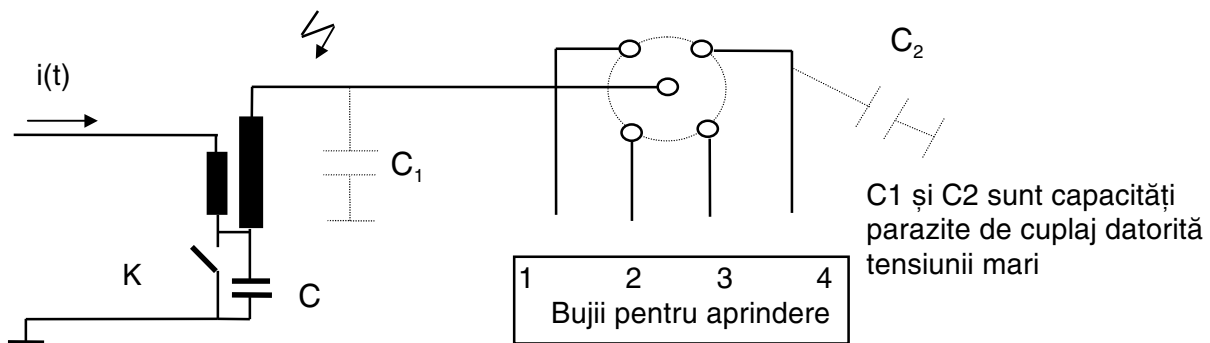


Figura 1.4

Tensiunile mari produc perturbații prin cuplaj capacitiv, iar curentul mare  $i(t)$  produce un câmp magnetic important. În SUA standardul SAE J-551C specifică valorile admisibile pentru perturbațiile emise, măsurate la 10 m de automobil. În Europa se aplică standardul CISPR 12.

O altă sursă de perturbații de bandă largă, tranzitorie este sistemul de aprindere al tuburilor fluorescente, figura 1.5. Până la aprinderea lămpii starterul conduce, pentru rețea existând o sarcină inductivă importantă. După încălzirea electrozilor și aprinderea lămpii, starterul se deschide. Unele aparate care funcționează la frecvențe joase pot fi perturbate, de exemplu stimulatorul cardiac. În figura 1.5 este arătat și graficul tensiunii în timp, la momentul aprinderii. Valorile limită ale perturbațiilor sunt specificate de CISPR 15 (VDE 0875 în Germania).

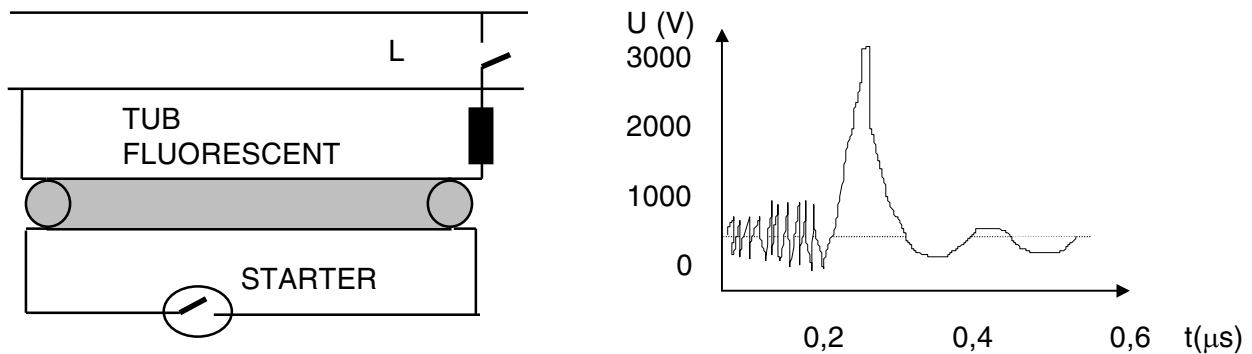


Figura 1.5

O altă sursă de perturbații generate în rețea este motorul de curent continuu cu colector (figura 1.6). Apar atât perturbații de mod diferențial  $U_d$  cât și perturbații de mod comun  $u_p$ . În aceeași figură este arătată tensiunea diferențială perturbatoare pentru o râșniță de cafea.

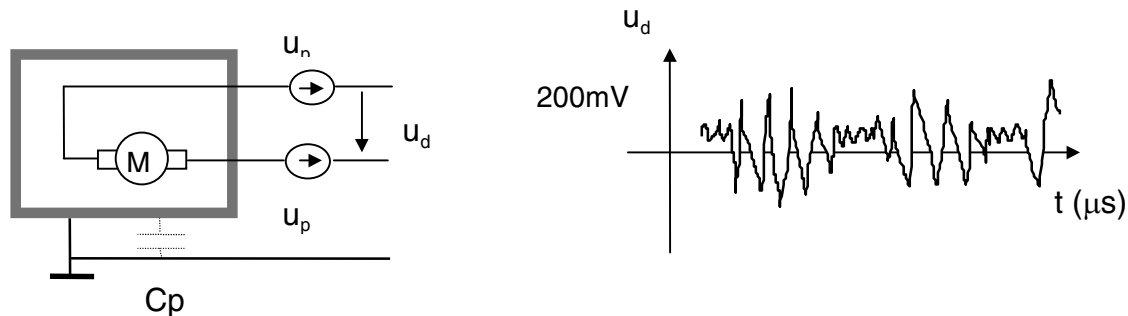


Figura 1.6

Comutarea (închiderea sau deschiderea) unui releu produce perturbații importante în circuitul comutat, ca în figura 1.7:

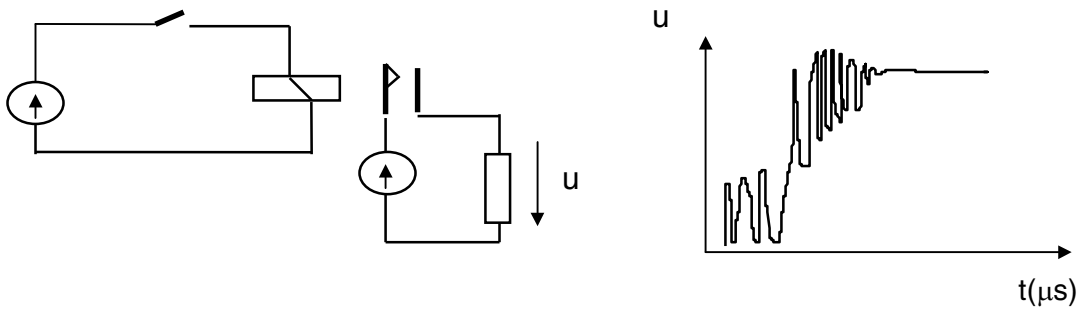


Figura 1.7

Un triac sau tiristor generează perturbații în rețea care depind de viteza de comutație a triacului sau tiristorului și de inductivitatea sarcinii, figura 1.8. La o frecvență de 100kHz perturbațiile pot atinge 1V, ca să scadă la 30MHz până la 1 mV.

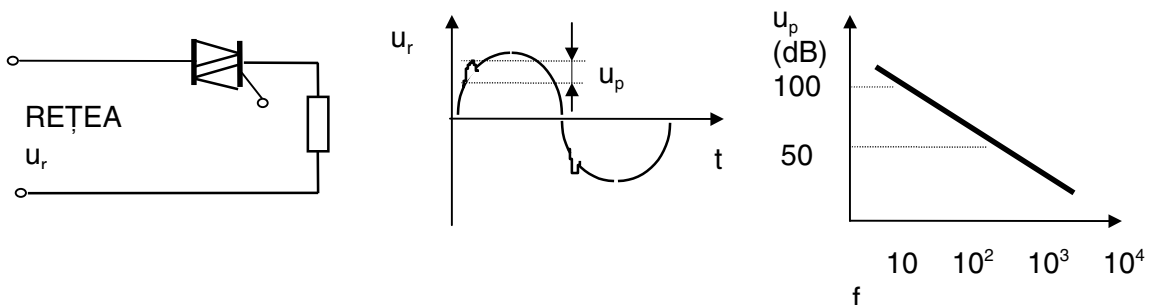


Figura 1.8

O sursă permanentă de perturbații de bandă îngustă, este linia de înaltă tensiune, figura 1.9. Câmpul electric în jurul unui stâlp are valori importante.

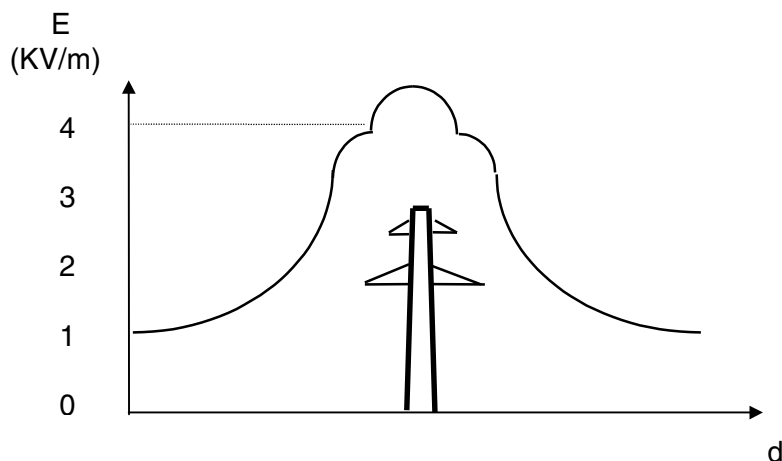


Figura 1.9

## Interferența electromagnetică neaccidentală

Interferența neaccidentală (provocată) este o latură mai puțin studiată în lucrările de EMC, dar studiată și aplicată în societate de unele organisme. În analiza unei interferențe electromagnetice trebuie cunoscută și această posibilă sursă. Interferența neaccidentală poate fi de mai multe feluri:

- bruiatul și realizarea de ținte false, care în ultima vreme se mai numește și "război electronic". Ca exemplificare se poate menționa războiul din Golf (poate și Revoluța din 1989);
- furtul de informație, de la microfoanele montate în birouri până la interceptarea convorbirilor telefonice transmise prin satelit;
- arme cu impuls electromagnetic (SOT97) care se bazează pe emisia unui câmp electromagnetic puternic și direcționarea lui spre o țintă pentru a produce perturbări ale echipamentelor electronice ale inamicului.

## 1.4.Efectul asupra ființelor vii

Sistemele biologice interacționează cu câmpul electromagnetic. Interacțiunile se pot clasifica după frecvența câmpului:

- frecvențe joase (50Hz-100KHz), câmpuri generate de rețea, autoturisme, echipamente industriale
- frecvențe înalte (100KHz-1GHz), câmpuri generate de posturile radio în toate lungimile de undă, televiziune, telefonie mobilă, radiotelefoane etc.
- microunde (peste 1GHz), cuptoare cu microunde, radare etc.

Nivelele de expunere se exprimă în  $W/m^2$ , dar uneori efectele câmpului electric fiind diferite de cele ale câmpului magnetic, nivelele de expunere se pot exprima în  $V/m$  sau  $A/m$ . În SUA nivelele medii se situează la valoarea de  $50 \mu W/m^2$ . În apropierea unui turn de control radar aviatic se poate ajunge la  $0,8 W/m^2$ .

Interacțiunile pot fi:

- indirecte, ca de exemplu prin încărcarea electrostatică a unui obiect și descărcarea prin corpul uman
- directe, prin radiație, la care s-au pus în evidență sub 100kHz interacțiuni cu sistemul nervos, iar peste 100kHz efecte termice

Efectul termic constă în ridicarea temperaturii locale a corpului (în general cu câteva grade Celsius), la care organismul răspunde cu termoreglare. În general se consideră că efectele câmpului electromagnetic nu sunt mutagene.

Câteva din efectele expunerii la câmpuri electromagnetice pentru corpul omenesc (\*EL93):

- efecte cutanate, încălzirea pielii (pt. frecvențe mari). Unele organe interne pot suferi arsuri (la nivele mari de expunere) fără a se simți durere;
- efecte oculare, iritația ochilor, cataracta;
- tulburări de ritm cardiac, oboseală, anxietate, hipertensiune. Aceste efecte apar doar la nivele foarte mari de expunere ( $50W/m^2$  pe perioada de ore).

Persoanele mai afectate sunt personalul militar care lucrează cu radare și personalul medical care lucrează cu aparate de diatermie.

Este greu de făcut o analiză corectă a efectelor expunerii. De exemplu un studiu asupra efectului telefonului mobil arată o rată de mortalitate mai mare la utilizatorii acestui echipament. Dar cât din acest efect se datorează câmpului electromagnetic și cât stressului asociat persoanelor utilizatoare este greu de apreciat.

Nu există deocamdată standarde europene pentru stabilirea expunerilor acceptabile. Este necesară o atenție deosebită la interferența câmpului cu unele aparate medicale așa cum este stimulatorul cardiac (pace maker).

## 2. Perturbații electromagnetice. Căi de pătrundere.

În general un sistem electric este format din blocuri generatoare de perturbații și blocuri posibile receptoare între care se pot stabili căi de cuplaj. Schema generală a unui sistem electric în interacțiune electromagnetică cu mediul este dată în figura 2.1.

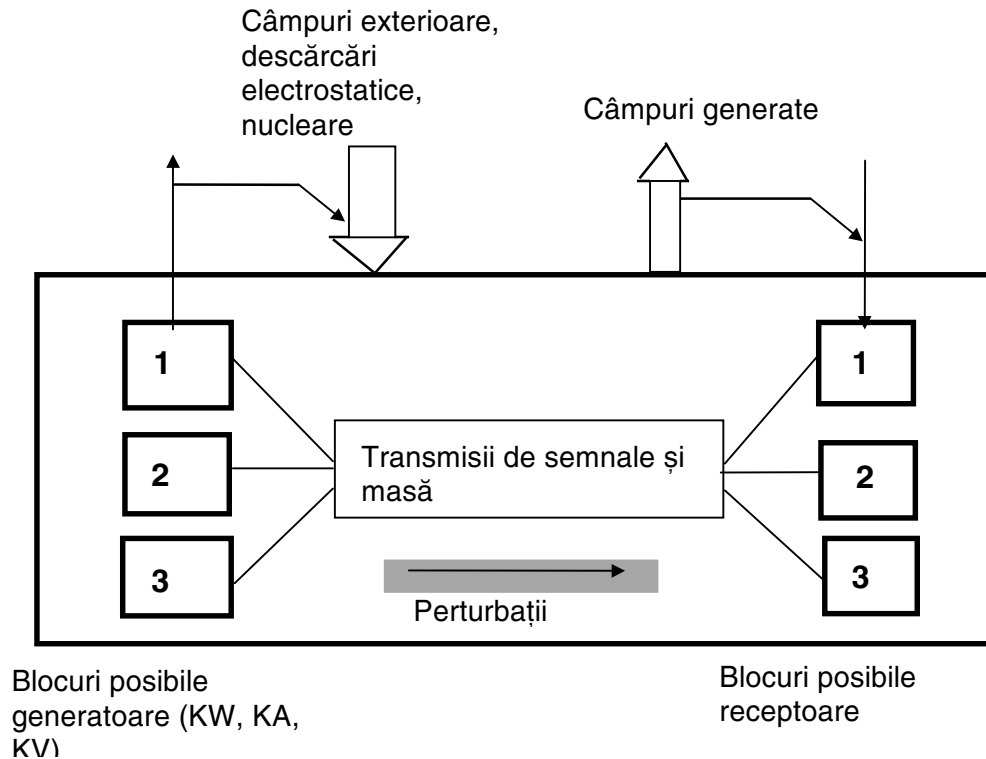


Figura 2.1

Un automobil modern poate avea zeci de blocuri, iar un avion sute de blocuri. Blocurile generatoare pot afecta atât blocurile receptoare de perturbații cât și mediul exterior. Blocurile receptoare pot fi influențate de perturbațiile externe și de perturbațiile generate de blocurile posibile generatoare.

### 2.1. Cuplaje parazite capacitive, inductive, galvanice

#### Moduri de cuplaj

Se referă la componenta b) a EMC din definiție, adică caracteristicile traseului de transmitere a perturbațiilor.

Cuplajul poate fi:

- **galvanic**, suportul este un material conductor,
- **inductiv**, dacă circuitul perturbator este parcurs de un curent mare care crează un câmp magnetic important. Cuplajul se face prin fluxul magnetic care înconjoară circuitul perturbat. Se definește o inductanță mutuală între sursă și victimă, care caracterizează cuplajul;



- **capacitiv**, dacă circuitul perturbator se află la un potențial ridicat în raport cu o referință (pământul) ceea ce crează un câmp electric între sursă și victimă. Cuplajul este caracterizat prin capacitatea echivalentă.
- prin **radiații**, dacă circuitul perturbator și perturbat sunt destul de îndepărtate pentru ca inductanța mutuală și capacitatea echivalentă să fie foarte mici.

Dacă distanța între sursă și victimă  $d < \lambda$  unde  $\lambda$  este lungimea de undă a fenomenului perturbator, atunci se consideră fenomene de joasă frecvență. Dacă  $d > \lambda$  fenomenele sunt de înaltă frecvență și trebuie ținut cont de fenomenele de propagare.

Cuplarea capacitivă, ca și cea inductivă este proprie situației în care perturbatorul este cuplat față de perturbat la distanțe mai mici decât lungimea de undă  $\lambda$  a perturbației.

În general, în interiorul aparaturii electrice, distanțele sunt mai mici decât lungimea de undă, și efectul perturbator este determinat de capacități și inductivități parazite și nu prin radiație electromagnetică.

Influențele între circuitul perturbat și perturbator sunt arătate în figura 2.2:

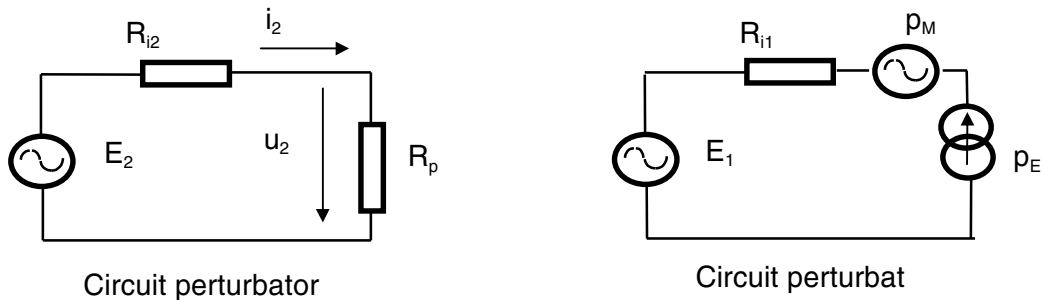


Figura 2.2

$E_1$ ,  $E_2$  sunt tensiunile utile proprii, sursele având rezistențele interne  $R_{i1}$  și respectiv  $R_{i2}$ .

$$p_M(t) = -M_{12} \partial i_2(t) / \partial t \quad (2.1)$$

$p_M$  este tensiunea perturbatoare prin cuplaj inductiv,  $M_{12}$  fiind inductivitatea mutuală dintre cele două circuite.

$$p_E(t) = C_{12} \partial u_2(t) / \partial t \quad (2.2)$$

$p_E$  este curentul perturbativ prin cuplaj capacitiv,  $C_{12}$  fiind capacitatea între cele două circuite.

$$i_2 = E_2 / (R_{i2} + R_p)$$

iar pentru  $R_p \gg R_{i2}$

$$p = p_M(t) + p_E(t) \cdot R_{i1} = (-M_{12} / R_p + R_{i1} \cdot C_{12}) \partial E_2(t) / \partial t \quad (2.3)$$

$p$  fiind perturbația totală

În regim periodic sinusoidal, problema se poate simplifica astfel, figura 2.3:

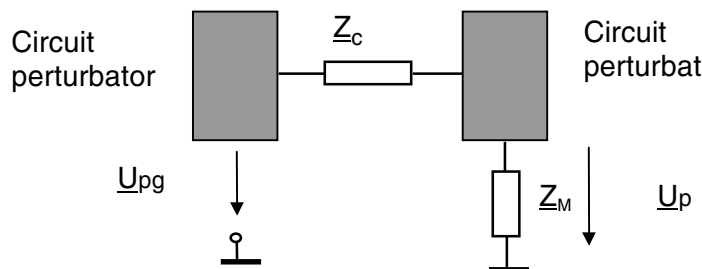


Figura 2.3

În complex:

Tensiunea apărută în circuitul perturbat  $\underline{U}_p$ , datorită tensiunii perturbatoare  $\underline{U}_{pg}$

$$\underline{U}_p = \underline{U}_{pg} \cdot \underline{Z}_M / (\underline{Z}_M + \underline{Z}_C) \quad (2.4)$$

și pentru că  $\underline{Z}_C \gg \underline{Z}_M$

$$\underline{U}_p = \underline{U}_{pg} \cdot \underline{Z}_M / \underline{Z}_C \quad \underline{Z}_M / \underline{Z}_C = \beta \quad (2.5)$$

$\beta$ - factor de umplere perturbativă.

### Cuplarea parazită capacitivă

Circuitul perturbator (1) are un potențial ridicat față de circuitul perturbat (2), figura 2.4:

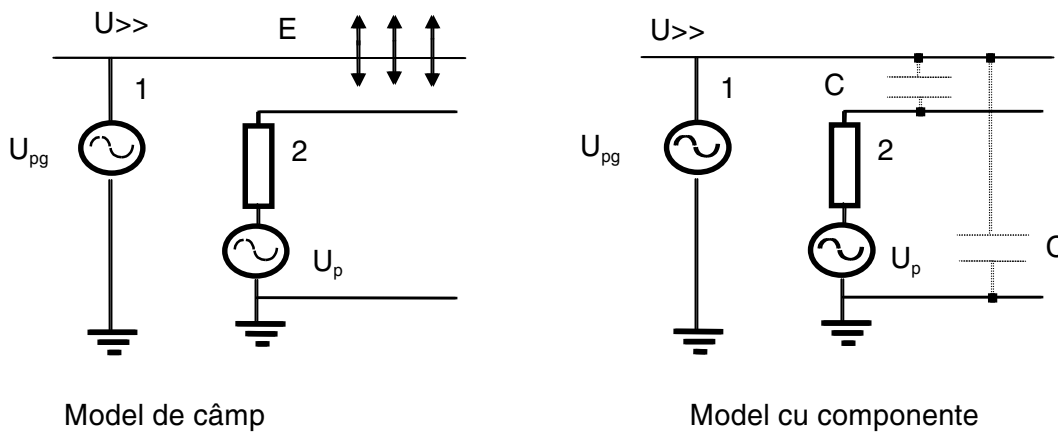


Figura 2.4

Dacă receptorul de perturbații (în cazul simplificat) posedă o impedanță de intrare rezistivă ( $Z_M=R$ ), tensiunea la perturbat prin cuplaj capacitiv ( $Z_C=1/j\omega C$ ) este (cu referire la figura 2.3):

$$\underline{U}_p = R C j\omega \underline{U}_{pg} \quad (2.6)$$

Rezultă măsurile pentru minimizarea tensiunii perturbative:

- 1.-prin reducerea spectrului perturbant (atenuarea fronturilor rapide), această cerință este contradictorie cu necesitatea fronturilor rapide pentru reducerea puterii disipate pe elementele de comutație;
- 2.-prin reducerea rezistenței de intrare a receptorului în limita acceptată de schemă sau prin reducerea impedanței de intrare selectiv cu frecvența;
- 3.-reducerea influenței perturbatorului, micșorarea  $U_{pg}$ , prin separarea traseelor și alte metode geometrice: scurtare, distanțare, perpendicularizare, simetrizare, radializare;
- 4.-micșorarea capacității parazite de cuplare, reducerea suprafeței, distanțare, ecranare, gardare.

Influențele parazite datorate cuplării sunt puternic rejectate prin recepția diferențială (analogică sau digitală) a semnalelor. Este necesar ca influențele parazite să penetreze în mod identic în ambele trasee ale transmisiei diferențiale, deci ambelor trasee trebuie să li se creeze condiții electrice și constructive similare față de perturbatorii învecinați.

### Cuplarea parazită inductivă

Circuitul perturbator (1) este parcurs de un curent mare care creează un câmp magnetic important, figura 2.5:

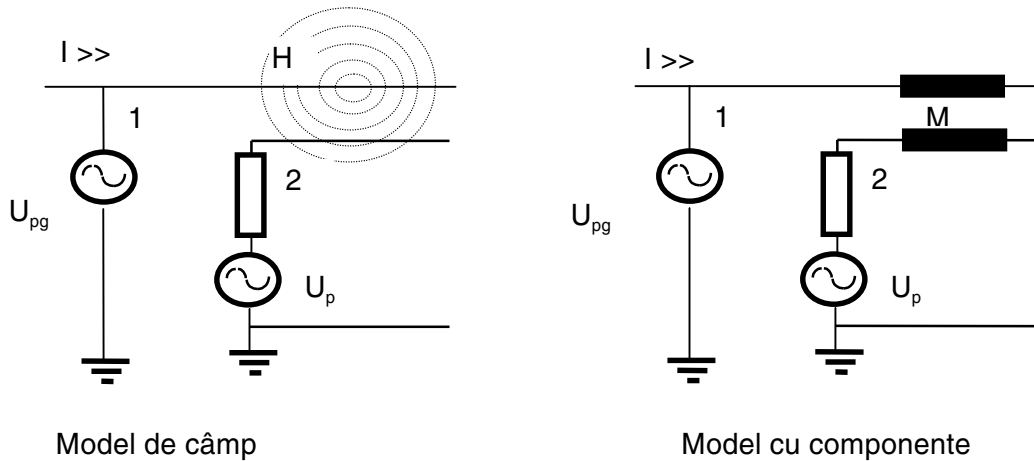


Figura 2.5

Din relația (2.1), în complex:

$$\underline{U}_p = -Mj\omega I_2 \quad (2.7)$$

cea ce arată dependența tensiunii în circuitul perturbat de curentul din circuitul perturbator.

Câteva măsuri pentru reducerea tensiunilor perturbatoare:

- 1.-prin reducerea spectrului perturbant,
- 2.-micșorarea inductivității mutuale prin metode geometrice ca distanțare, separare, perpendicularizare, simetrizare.

Tot în cadrul metodelor geometrice se pune condiția ca circuitul perturbat să închidă o suprafață cât mai redusă.

### Cuplarea parazită galvanică:

Cuplaje galvanice pot apare în următoarele moduri:

- 1.-prin rețeaua de alimentare de 220Vc.a.,
- 2.-la subsamblele cuplate prin legături de semnal ;
- 3.-prin împământare.

La două circuite având aceeași masă, sau la două circuite 1 și 2 (în figura 2.6), utilizând o impedanță comună Z curenții unui circuit pot influența curenții celuiilalt circuit. Între cele două circuite apare un cuplaj galvanic.

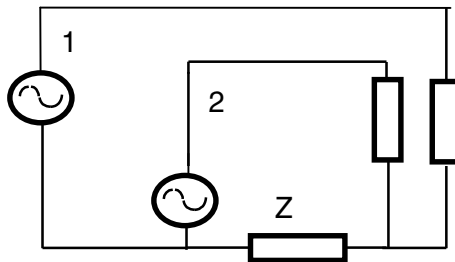


Figura 2.6

În general se recomandă transmiterea tuturor tensiunilor de alimentare și de semnal cu retur propriu, fără a se folosi returul altui semnal, iar punctul de masă să fie realizat conform regulii paralelogramelor, cu legarea într-un singur punct, ca în figura 2.7:

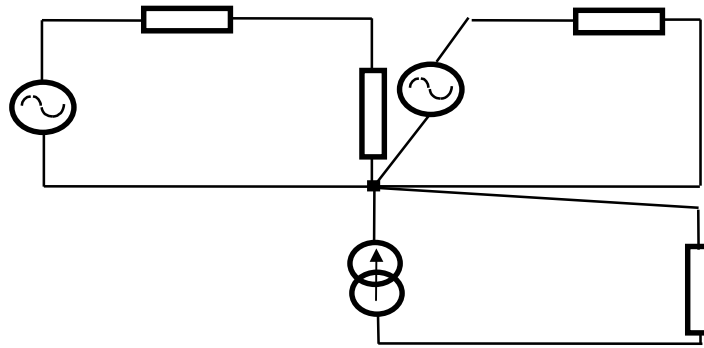


Figura 2.7

### Cuplaje prin radiații electromagnetice

Acest tip de cuplaj este caracteristic situației în care circuitul perturbat este față de circuitul perturbator la o distanță mai mare decât lungimea de undă a perturbației, figura 2.8:

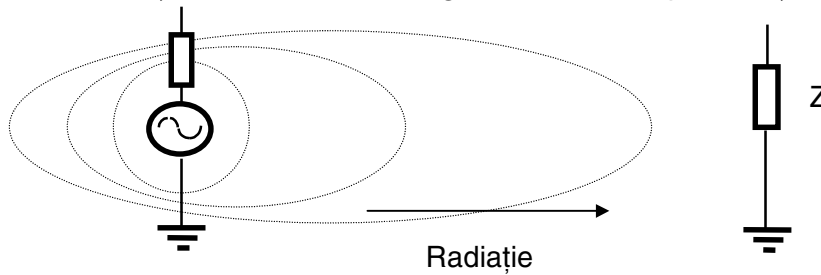


Figura 2.8

Este un tip de cuplaj mai puțin frecvent în sistemele de electronică industrială și automatizări, dar foarte frecvent în domeniul telecomunicațiilor.

Atenuarea acestor perturbații se realizează cu ecrane. Atenuarea prin absorbție depinde de grosimea materialului ecranului, de frecvența perturbatoare și de natura materialului. Atenuarea prin reflexie depinde printre altele de unghiul de incidență la ecran. Cablurile cu ecrane concentrice, producând multe reflexii, sunt foarte eficiente la eliminarea acestui tip de cuplaj. Dificultăți mari sunt la frecvențe joase unde atenuările prin reflexie și absorbție sunt mici. Soluția ar fi mărirea grosimii materialului și alegerea materialului. În figura 2.9 se arată atenuările succesive ale unei unde incidente la ecran. Prin reflexie energia undei se micșorează cu  $W_1$  și  $W_3$  iar prin absorbție în materialul ecranului cu  $W_2$ .

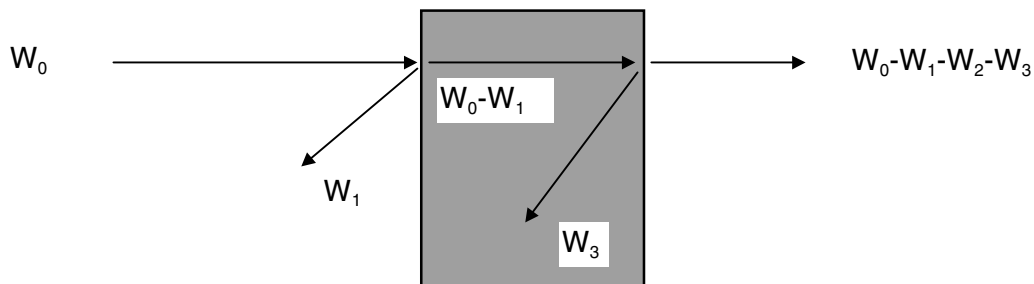


Figura 2.9

## 2.2. Mase și împământări antiperturbative

### Definiții:

1. **Împământarea** este definită ca potențialul (dorit zero) al unei zone a solului, a cărei comportare electrică este dependentă de tipul de sol, de umiditate, de temperatură, de sezon, de adâncimea de implantare a electrozilor, etc. Împământarea este realizată fizic cu electrozi îngropați în sol și/sau prin legături de nul de protecție.

Observație: legătura prin nul de protecție este mult mai puternic perturbantă decât legarea direct la pământ.

2. **Potențialul de referință (masa electrică)** este potențialul față de care se face referirea potențialelor de semnal, pe cât posibil fără amestecul unor tensiuni perturbatoare. La potențialul de referință se pot cupla ecranele cele mai apropiate electric de potențialul de referință.

Problema esențială, cea a conectării între masa electronică și împământare are trei aspecte:

1. **protecția umană;**
2. **susceptibilitatea la perturbații;**
3. **protecția sistemelor împotriva distrugerii de către supratensiuni.**

Cea mai importantă regulă este că aspectul 1 este primordial în orice împrejurare. Aspectul 1 solicită ca învelișul metalic al aparatului electric să fie conectat la împământarea de protecție.

Aspectul 2 solicită, mai ales la subsansamblele care prelucrează tensiuni analogice mici (uV, mV), deconectarea masei electrice de împământare și reducerea cuplajelor cât mai mult posibil.

Aspectul 3 solicită, pentru mai multe aparate interconectate, existența unei conexiuni între masa electrică și împământare, cel puțin atâta timp cât aparatele sunt interconectate.

Aspectele 1 și 3 pe de o parte, și 2 pe de altă parte, sunt contradictorii. O rezolvare constă în legarea permanent a masei electrice la împământare, iar anumite subsansamble care prelucrează tensiuni mici să fie cu masă flotantă, și separate galvanic. Aceste subsansamble trebuie să nu poată genera, nici măcar accidental, tensiuni periculoase.

Fie un sistem S, având masa electronică M, fără legătură la pământ, figura 2.10. Nu există nici un motiv ca acest sistem să nu funcționeze corect. Dacă este alimentat de la baterii, aspectul 1 este respectat. Dacă este alimentat de la rețea, aspectul 1 nu este respectat.

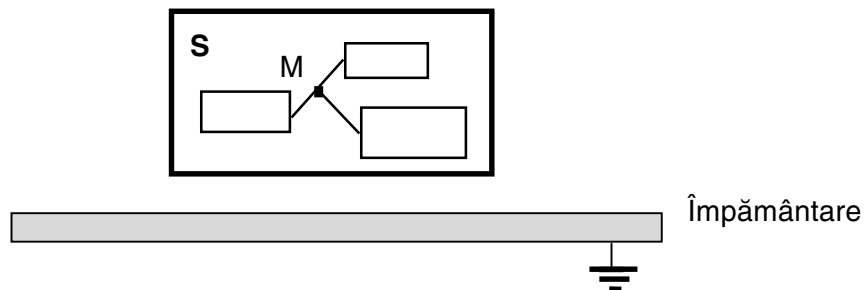


Figura 2.10

Pentru un sistem S, alimentat de la rețea, împământarea este obligatorie. Dacă masa electronică nu este legată la împământare apar cuplaje parazite (de obicei capacitive (C)) între masa electronică și carcasă, deoarece carcasa (la potențialul împământării) înconjoară subsansamblele cu masa electronică M, figura 2.11:

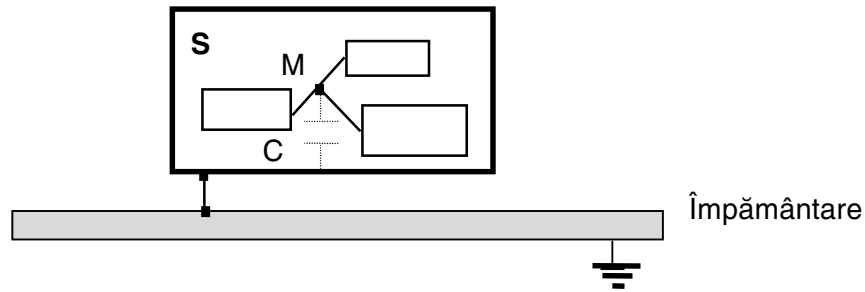


Figura 2.11

Pentru reducerea perturbațiilor prin cuplaj capacitiv, masa electronică se poate lega la împământare, figura 2.12:

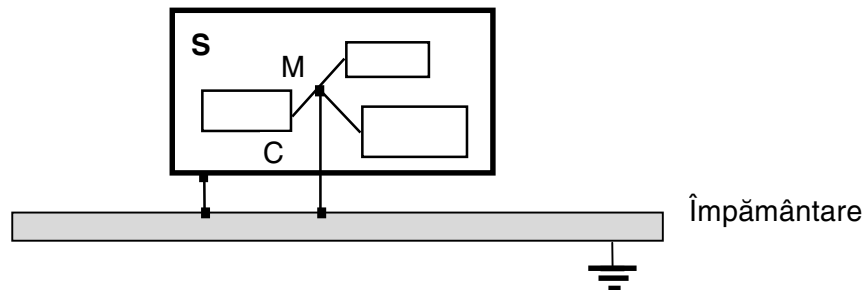


Figura 2.12

Împământarea poate fi puternic perturbativă.

#### Realizarea legăturii potențialelor de referință:

Trebuie să se respecte principiul de radializare a legăturilor și conectare paralelogramică a circuitelor cu punct comun. Sau, altfel spus, potențialele de referință trebuie conectate într-un singur punct comun.

#### Legarea între potențialul de referință și împământare:

În cazul în care este necesară legarea potențialului de referință cu împământarea, aceasta se poate face, figura 2.13:

1. într-un singur punct central (single point ground) (figura 2.13 a)

2. într-un plan sau volum care se numește masă distribuită (multi point ground) (figura 2.13 b).

Acest mod de legare este posibil doar când linia de împământare are impedanță mică.

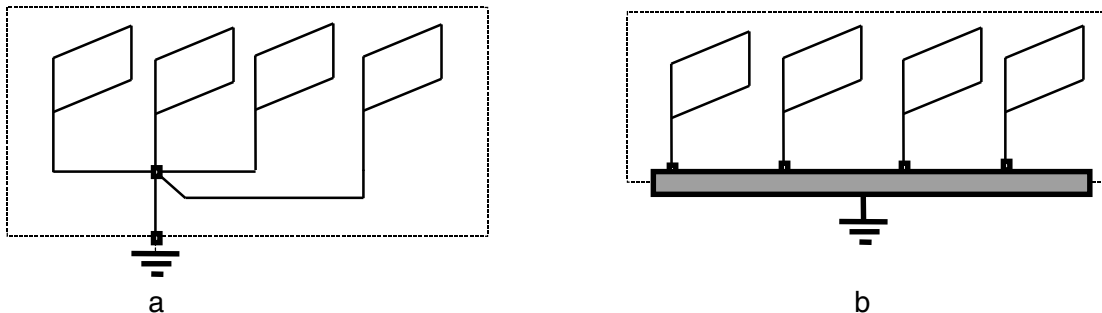


Figura 2.13

La o legare într-un singur punct, pentru a evita cuplajele capacitive, firul potențialului de referință se duce distanțat, sau ecranat față de carcasa aparatului legată la împământare, figura 2.14:

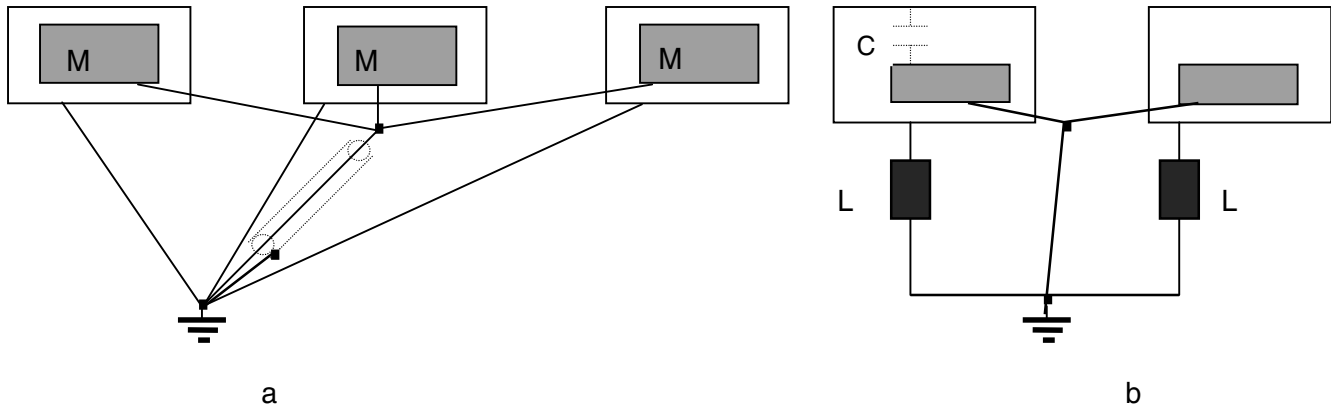


Figura 2.14

Fie un sistem ca cel din figura 2.14, a, în care conectarea masei la împământare se face într-un singur punct. Dacă subansamblele sunt deconectate, nu este respectat aspectul 3. de protecție la supratensiuni deoarece se întrerupe legătura între masa de referință și împământare. Deci această situație este riscantă. Chiar dacă este defavorabil perturbativ, trebuie cuplată în acest caz fiecare masă la împământare, în fiecare subansamblu.

Se consideră că inductivitățile  $L$  cuplate între carcasă și împământare au efecte antiperturbative. Inductivitățile se cuplează doar dacă standardele permit.

### Legarea la un sistem mixt, analog, digital și de forță

Masa analogică și cea digitală trebuie duse separat, izolat și distanțat față de masa de forță. Masa analogică și cea digitală se conectează într-un singur punct, cel mai favorabil din punct de vedere antiperturbativ, care este convertorul analog numeric.

Masa analogică trebuie protejată pe cât posibil, evitând cuplajele capacitive cu celelalte mase.

**Exemplu:** Fie configurația unui sistem PC AT format din unitate centrală, monitor și imprimantă, alimentate printr-un prelungitor cu împământare. Întreruperea unui fir de împământare de la un subansamblu la ștecher afectează aspectul 1 și 3., protecția umană și a sistemelor împotriva distrugerii de către supratensiuni, datorită tensiunii mari care apare între carcasă (prin cuplaje) și masa de semnal. Legarea carcaselor la împământare este favorabilă antiperturbativ, ea fiind realizată într-un singur punct.

Ce se întâmplă la conectarea unei linii de semnal când subansamblele sunt alimentate? Este posibilă atingerea în cuplă întâi a liniei de masă, apoi a liniilor de semnal și nu se va întâmpla nimic. Este echiposibilă atingerea întâi a liniei de semnal, caz în care semnalele nu au o referință, și circuitele cuplate se pot distruge. Atenție!, la cuplarea unui subansamblu cu altul cel puțin unul trebuie să nu fie alimentat.

## 2.3.Ecranare, torsadare, gardare

Măsura ecranării este dată de factorul de ecranare  $Q$

$$Q = H_i / H_o \quad (2.8)$$

$H_i$  este câmpul în interiorul incintei ecranate

$H_o$  este câmpul în exteriorul incintei ecranate

În mod curent se lucrează cu logaritmul inversului factorului de ecranare, adică atenuarea introdusă de ecran:

$$a_E = 20 \lg 1/Q \quad (\text{dB}) \quad (2.9)$$

Ecranarea este o măsură eficientă atât pentru limitarea perturbațiilor emise de un agresor cât și apărarea unui aparat victimă. Acest principiu se numește de reciprocitate.

Câmpurile electromagnetice se pot clasifica în:

- câmpuri statice (câmp electrostatic, câmp magnetostatic)
- câmpuri variabile
  - câmpuri cvasistatice (lent variabile)
  - câmpuri variabile

Câmpurile pot fi apropiate sau îndepărtate, după poziția generatorului. Determinarea intensității câmpurilor se poate face folosind ecuațiile lui Maxwell.

### Ecranarea împotriva cuplajelor capacitive

Ecranul, realizat dintr-un material conductor are rolul de a reduce cuplajele capacitive, figura 2.15 a, b, c, d:

a. între punctele  $P_1$  și  $P_2$  nu există ecran, apare capacitatea de cuplaj  $C$

b. un ecran conductor nelegat la masă între cele două puncte micșorează capacitatea de

cuplaj la valoarea  $C_e = C_3 + \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$ , neglijând  $C_4$

c. dacă ecranul este legat la masă dispăre  $C_4$ , deci situația este mai favorabilă din punct de vedere EMC

d. este mai favorabil ca ecranul să închidă cât mai mult circuitul  $P_2$  (perturbat sau perturbator), deoarece  $C_3$  devine foarte mic.

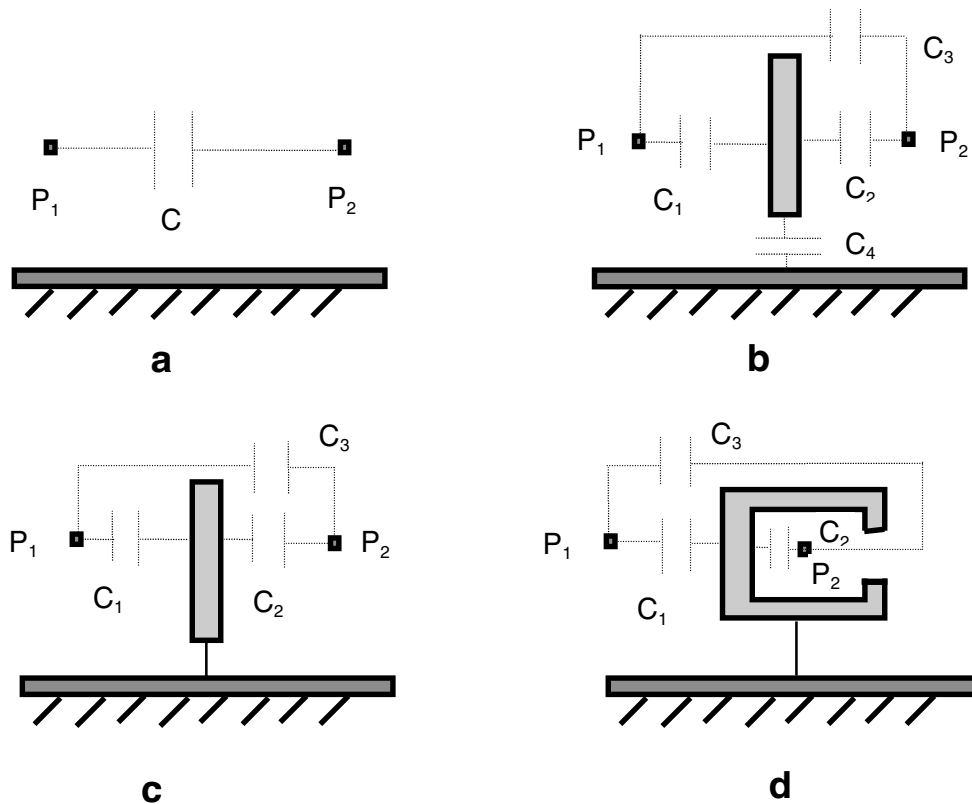


Figura 2.15



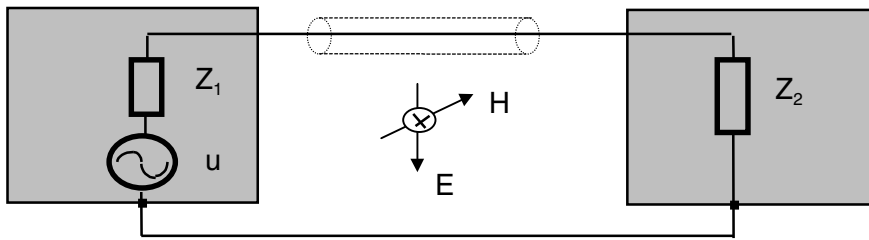
## Grosimea ecranului

Atât pentru micșorarea radiației parazite, cât și a cuplajului capacitiv, ecranul trebuie realizat din materiale bune conductoare (Cu,Al), cu o grosime mai mare decât adâncimea efectului pelicular (Skin). Deci grosimea ecranului depinde de frecvență.

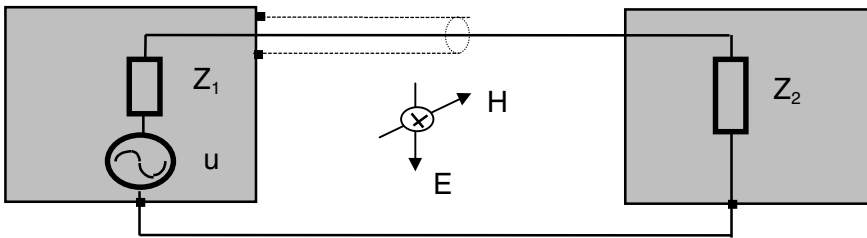
### Reguli de legare a ecranului.

- a - ecranul trebuie să închidă cât mai complet circuitul perturbat.
- b - ecranul să fie legat la masa electronică printr-o legătură cât mai scurtă.
- c - ecranul să nu aibă alte cuplaje galvanice.
- e - ecranul se leagă la masa electronică la *ambele extremități* sau la *o singură extremitate*, în acest al doilea caz astfel:
  - la traductor, dacă traductorul are punct de masă împământat obligatoriu,
  - la amplificator, dacă amplificatorul are masa electronică împământată,
  - dacă și traductorul și amplificatorul au împământări, obligatoriu este nevoie de separare galvanică pe calea de transmisie a receptorului.

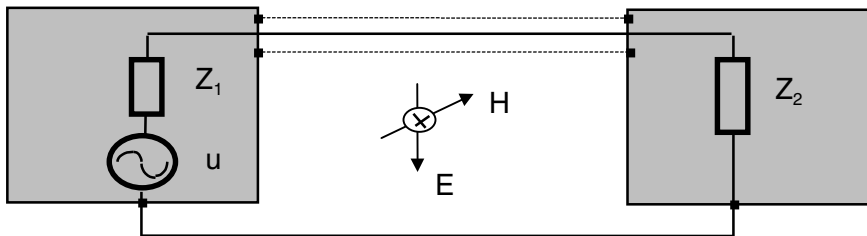
Problema legării ecranului la una dintre extremități sau la ambele depinde de calitatea masei electronice. În figura 2.16 sunt arătate cele 3 situații posibile de legare a ecranului.



*Tensiunea creată de câmpul electric în ecran perturbă tensiunea pe  $Z_2$ . Tensiunea creată de fluxul magnetic care depinde de curent și suprafața închisă perturbă de asemenea tensiunea pe  $Z_2$ . În această situație ecranul este inutil.*



*Tensiunea creată de câmpul electric în ecran se scurge la masă. Tensiunea creată de fluxul magnetic perturbă la fel ca în cazul precedent.*



*Nici tensiunea creată de E nici cea creată de H nu perturbă circuitul receptor. Dacă distanța dintre generator și receptor este mare și există o diferență de potențial între mase se creează un curent prin ecran care are efecte extrem de perturbatoare.*

Figura 2.16

Când predomină cuplajele capacitive și distanța între generator și receptor este mică se recomandă legarea ecranului la un singur capăt.

Când este obligatorie legarea la un singur capăt și apar cerințe contradictorii (și traductorul și amplificatorul au împământări) se pot folosi ecrane duble, figura 2.17.

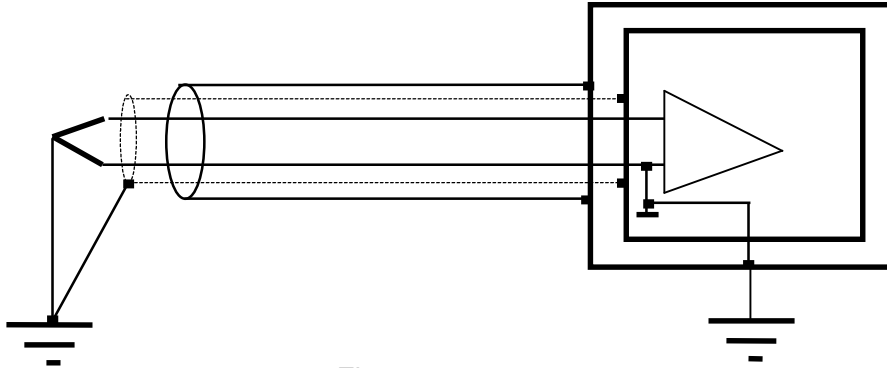


Figura 2.17

Regula este ca ecranul interior să se lege la potențialul cel mai curat din punct de vedere antiperturbativ (cel al traductorului în cazul figurii 2.17). Este nevoie de asigurarea că cele două potențiale ale împământării sunt neperturbante, pentru ca ecranul exterior să nu perturbe ecranul interior. Aspectul de protecție umană este respectat. Dubla ecranare nu este la fel de favorabilă ca și o decuplare galvanică.

### Ecranarea împotriva cuplajelor inductive

Materialul ecranului trebuie să fie un material magnetic. Pentru ca fluxul creat de firul miez din ecran să fie compensat de fluxul ecranului, trebuie ca traseul de retur să fie asigurat prin ecran, vezi figura 2.18.



Figura 2.18

Din punct de vedere al cuplajelor capacitive, această legătură este defavorabilă. S este o sursă de curent care poate genera perturbații de natură inductivă.

Este important ca circuitul perturbator și cel perturbat să închidă suprafețe cât mai reduse pentru că tensiunea indusă într-o buclă conductivă este proporțională cu inducția magnetică și cu suprafața închisă de circuit.

Apărarea împotriva cuplajelor capacitive și inductive se face cu ecranări multiple, figura 2.19.

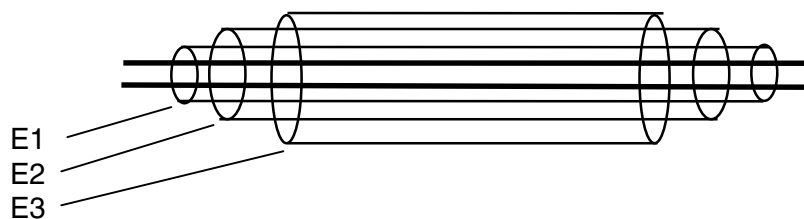


Figura 2.19

E1 este un ecran pentru cuplaje capacitive din cupru, aluminiu sau tresă de cupru, legat la masa electronică

E2 este un ecran pentru cuplaje capacitive legat la împământare

E3 este un ecran din materiale magnetice pentru cuplaje inductive

### Ecranarea împotriva câmpurilor electrostatice și magnetostatice

Câmpul electric și cel magnetic nu penetrează în interiorul ecranat, cum se vede în figura 2.20, în cazul unui ecran cilindric:

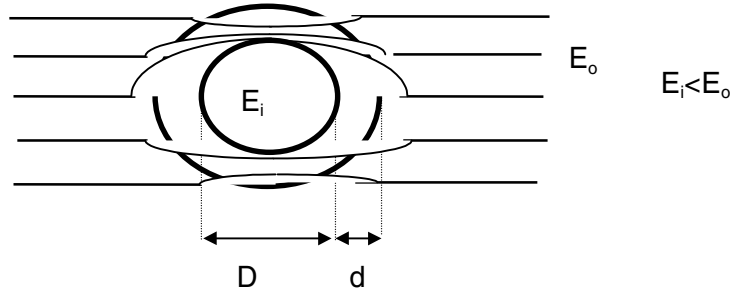


Figura 2.20

Atenuarea pentru un ecran cilindric se poate calcula după relația:

$$a_e = 20 \lg \frac{E_o}{E_i} \approx 20 \lg \left( 1 + \frac{4d\epsilon_r}{3D} \right) \quad (2.10)$$

Această relație este valabilă și pentru câmpul magnetic, înlocuind  $\epsilon_r$  cu  $\mu_r$ .

**Observație:** Un ecran conectat incorect poate crea o situație mai perturbativă decât lipsa ecranării.

### Ecranarea activă

Prin acest procedeu, figura 2.21, amplificatorul receptor controlează potențialul ecranului și îl aduce cât mai aproape de potențialul semnalului util. Se anulează astfel motivația apariției unui curent (datorită capacităților parazite) între firul activ și ecran. Prin divizorul rezistiv realizat cu  $R_1$  și  $R_2$  și amplificatorul  $A_1$ , potențialul ecranului este adus la o valoare egală cu potențialul firului activ.

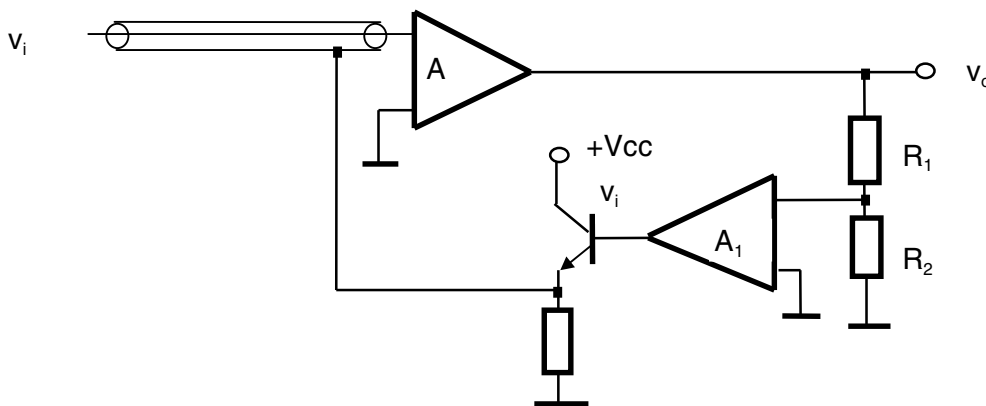


Figura 2.21

**Observație:** domeniul materialelor folosite pentru ecranare este foarte dinamic. Se pot menționa produse de ultimă oră, așa cum sunt aliajele de cupru-beriliu pentru garnituri elastice, elastomeri și spume conductive, filtre de aer metalizate etc. Astfel în (\*EPN98) sunt prezentate diferite tipuri constructive (peste 250 de tipuri) și caracteristici de ecranare.

## 5. Torsadarea

Torsadarea este înfășurarea firelor de semnal între ele. Torsadarea are efecte pozitive din punct de vedere EMC, figura 2.22:

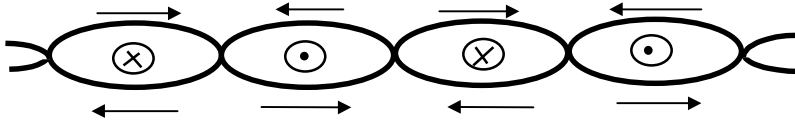


Figura 2.22

Astfel se egalizează cuplajele capacitive pentru cele două trasee, și o recepție diferențială va rejecta perturbațiile cuplate capacitiv. Printr-un efect de ecranare parțială se reduc capacitățile parazite. Din punct de vedere al influențelor inductive, prin torsadare, câmpul radiat se compensează reciproc, între buclele vecine.

O caracteristică a torsadării este numărul de răsuciri pe metru.

Un cablu torsadat, apoi ecranat, este extrem de eficient din punct de vedere al EMC

În anumite situații cablul torsadat poate fi mai eficient decât unul ecranat (la recepții diferențiale). În prezent cablurile torsadate s-au înlocuit pentru lungimi mici cu cablu panglică, cu trasee de masă între cele de semnal.

## 6. Gardarea

Pentru amplificarea unor tensiuni mici în prezența unor tensiuni de mod comun mari nu se pot aplica metode de separare. Gardarea este o măsură antiperturbativă foarte eficientă ce constă în ecranarea amplificatorului de intrare, fără ca amplificatorul de intrare să fie legat la masă cu o intrare (floating input), figura 2.23 a:

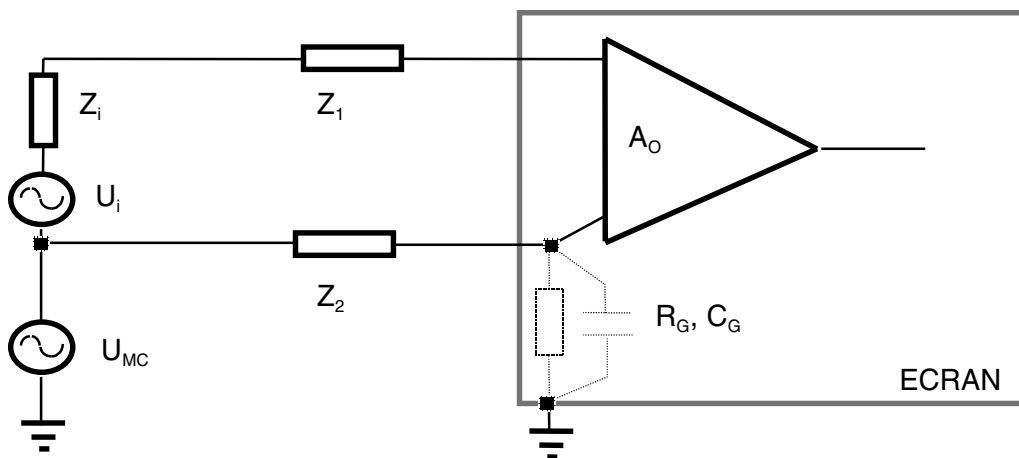


Figura 2.23 a

Conectarea unei borne la masă ar duce la apariția unui curent prin  $Z_2$  datorită tensiunii de mod comun  $U_{MC}$ . Căderea de tensiune pe  $Z_2$  (impedanța firului de intrare) se adaugă la tensiunea de intrare  $U_i$  și denaturează măsurarea. Dacă borna nu se leagă la masă  $U_{MC}$  generează un curent perturbator prin  $R_G$ ,  $C_G$  și  $Z_2$  ( $Z_2$  este de regulă o inductanță).  $R_G$  este rezistența de izolație ( $10^9$  ohmi) iar  $C_G$  capacitatea de cuplaj (1000pF). Se pot realiza astfel măsurători cu o atenuare a tensiunii de mod comun de 80dB. O atenuare de 140dB-160dB se poate realiza cu o gardare dublă, aducând un fir suplimentar de la împământarea traductorului, de exemplu prin ecranul cablului de transmisie, figura 2.23 b:

Garda nu se leagă la nici un potențial la receptor. La amplificatoarele care permit, garda o poate constitui chiar capsula metalică a circuitului.

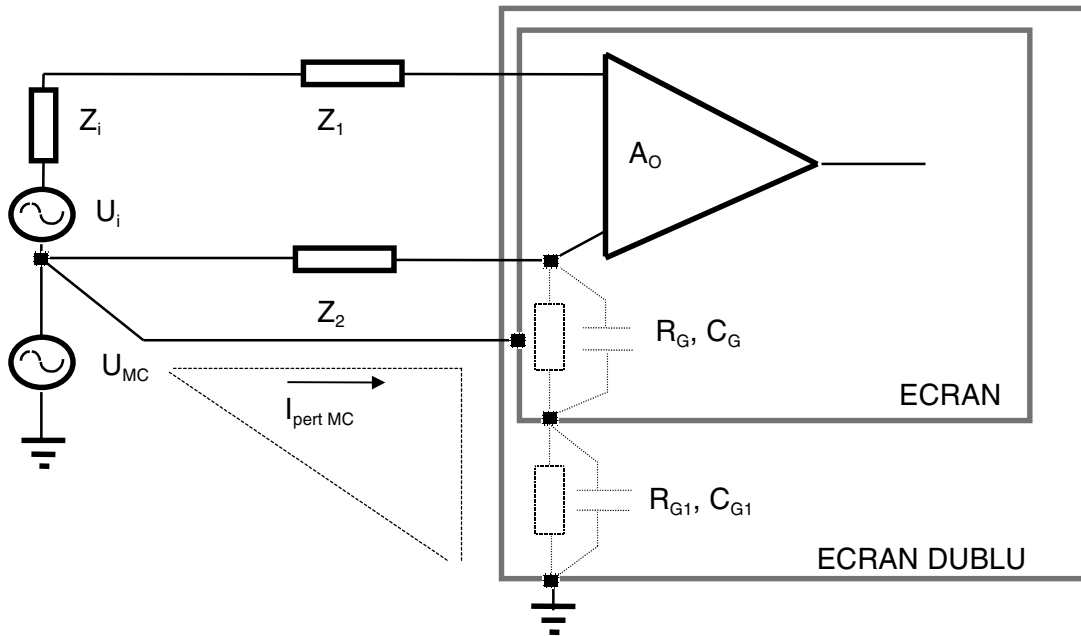
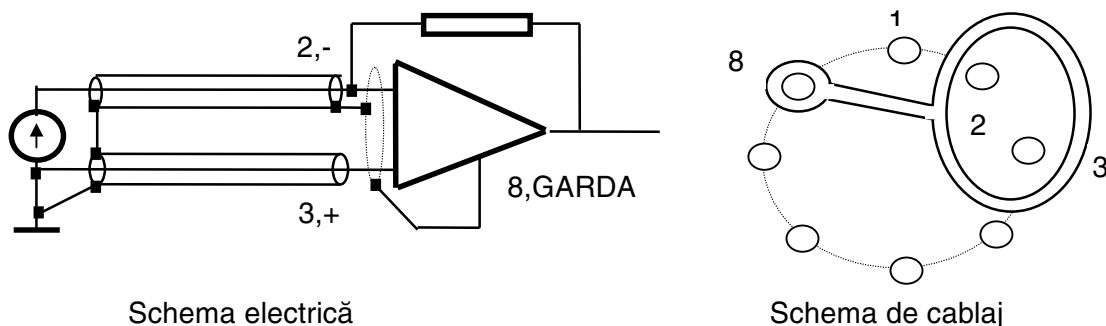


Figura 2.23 b

### Exemplu:

La CI analogice BURR BROWN OPA101 și OPA102 (amplificator operațional de precizie) la pinul 8 este capsula, de care se leagă garda ca în figura 2.24.



Schema electrică

Schema de cablaj

Figura 2.24

La circuitele aceleiași firme, PGA200 și PGA201(amplificator de instrumentație cu control digital) există un pin pentru comanda potențialului ecranului în mod ecranare activă, ca în figura 2.25 (mai este nevoie de un amplificator operațional conectat ca repetor) :

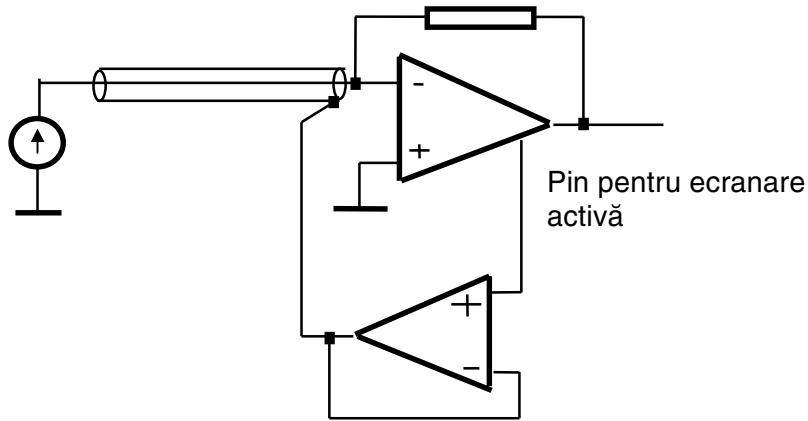


Figura 2.25

## 2.4.Perturbații prin descărcări electrostatice și nucleare

### 1.Perturbații prin descărcări electrostatice

Între un individ și un aparat electronic se poate naște o descărcare electrostatică datorită încărcării electrostatice a individului prin frecarea cu aerul și faptului că sistemul este legat la împământare (figura 2.26a). Durata descărcării este de tipic 50-500ns, încărcarea unui individ putând ajunge la o sarcină de aproximativ  $2 \mu\text{C}$ , având o capacitate tipică de 150pF, deci o tensiune mai mare de 10kV. Descărcarea are loc conform schemei din figura 2.26b:

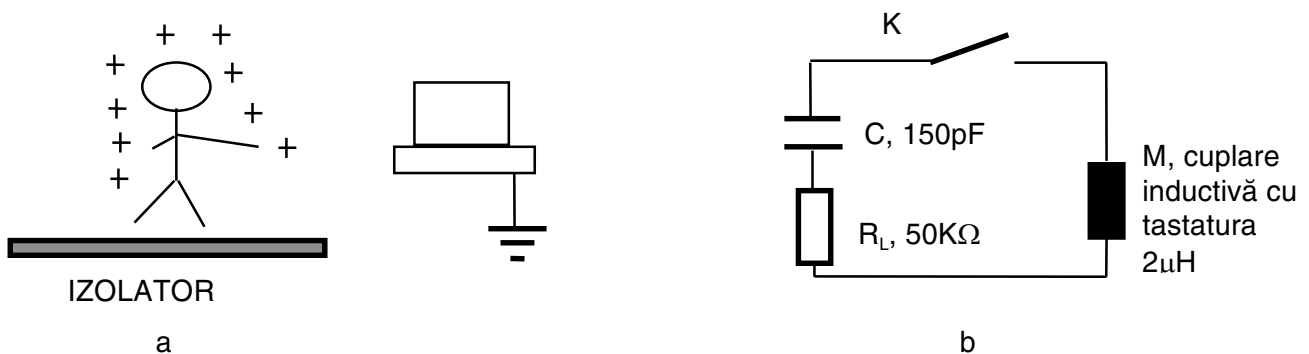


Figura 2.26

Descărcarea va conduce la apariția unei oscilații amortizate la frecvența de circa 8MHz. Descărcarea poate produce o eroare în sistemul electronic supus descărcării.

## 2.Descărcarea electromagnetică atmosferică LEMP (Lightning Electromagnetic Pulse).

Descărcarea are loc la o tensiune tipică de 100MV. Spectrul descărcării este foarte larg, deci puternic perturbator, mai ales pentru instalațiile de telecomunicații. Dacă cuplarea LEMP este galvanică echipamentele sunt distruse.

Parametrii tipici pentru o descărcare atmosferică simplificată sunt dați în figura 2.27:

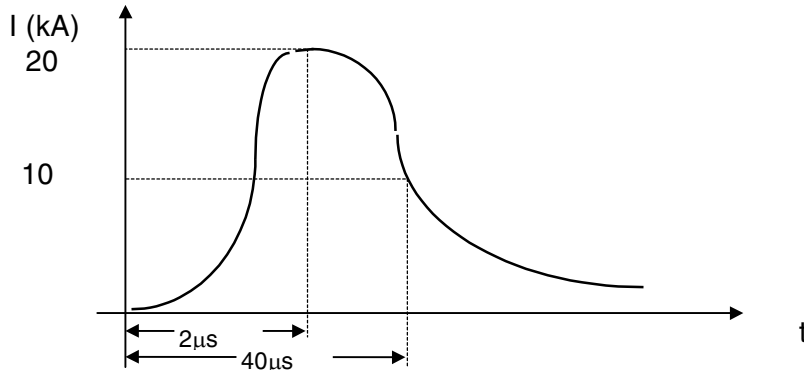


Figura 2.27

Practic, după acest impuls apar mai multe impulsuri, de amplitudine mai mică. NASA a stabilit un profil de curent care se potrivește în circa 98% din cazuri (standard american SAE AE 4L) (MOR94), figura 2.28:

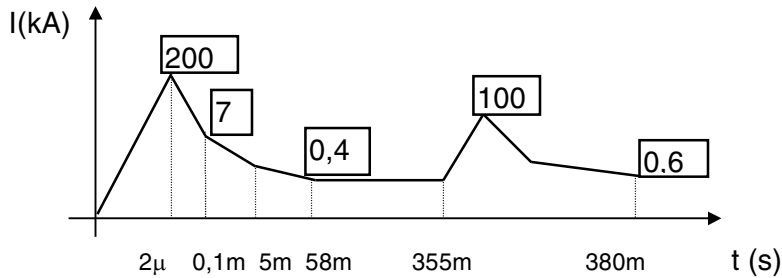


Figura 2.28

Descărcările directe sunt puțin probabile dacă clădirile au împământări conform standardelor. O descărcare la împământare poate produce o diferență de potențial periculoasă, ca în figura 2.29:

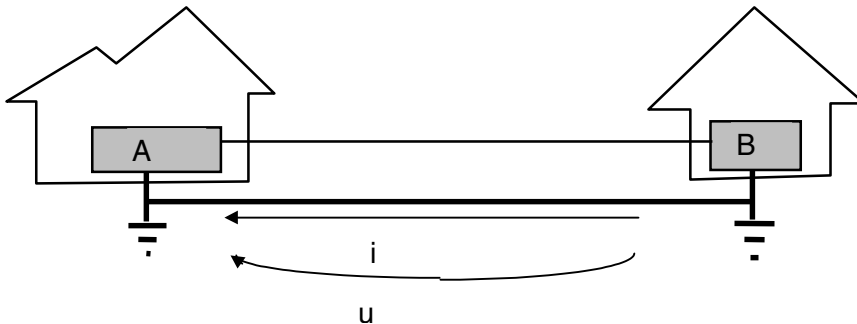


Figura 2.29

Apare tensiunea u între împământările celor două sisteme, ceea ce duce la o tensiune între împământarea și legătura de semnal pentru unul dintre sistemele interconectate, periculoasă pentru acest sistem.

### 3. Impulsul electromagnetic nuclear NEMP (Nuclear Electromagnetic Pulse).

Orice explozie nucleară (atât cele naturale, cum ar fi exploziile solare și care se transmit prin radiații cosmice cât și cele artificiale, cum ar fi testele nucleare) creează un câmp electromagnetic extrem de puternic, impulsul creat fiind extrem de perturbator. Impulsul constă în raze gamma. După distanța la care are loc explozia impulsurile pot fi:

- endo NEMP, la explozie apropiată
- exo NEMP, la explozie îndepărtată

Ultimele cercetări arată că impulsul NEMP este una din cauzele importante ale erorilor din memoriile RAM dinamice de mare capacitate. NEMP nu are energia suficientă pentru a fi resimțit de corpul uman.

Acest tip de perturbații este studiat în domeniul militar.

La descărcarea atmosferică și la NEMP este important nivelul de energie recepționat de circuitul perturbat. Astfel, un tabel sumar este dat în (IAN92):

**Energia necesară pentru perturbarea și distrugerea unor componente** este dată în tabelul

2.1:

*Tabelul 2.1*

Componenta	Perturbare (J)	Distrugere (J)
Circuite CMOS	$10^{-7}$	$10^{-6}$
Tranzistori	$10^{-6}$	$10^{-5}$
Diode	$10^{-5}$	$10^{-4}$
Diode Zener	$10^{-3}$	$10^{-2}$
Relee	-	$10^{-1}$
Tranzistoare de putere	$10^0$	$10^{+1}$
Diode de putere, tiristoare, triaci	$10^{+1}$	$10^{+2}$