

COMPATIBILITATEA ELECTROMAGNETICA **a circuitelor, modulelor si echipamentelor electronice**

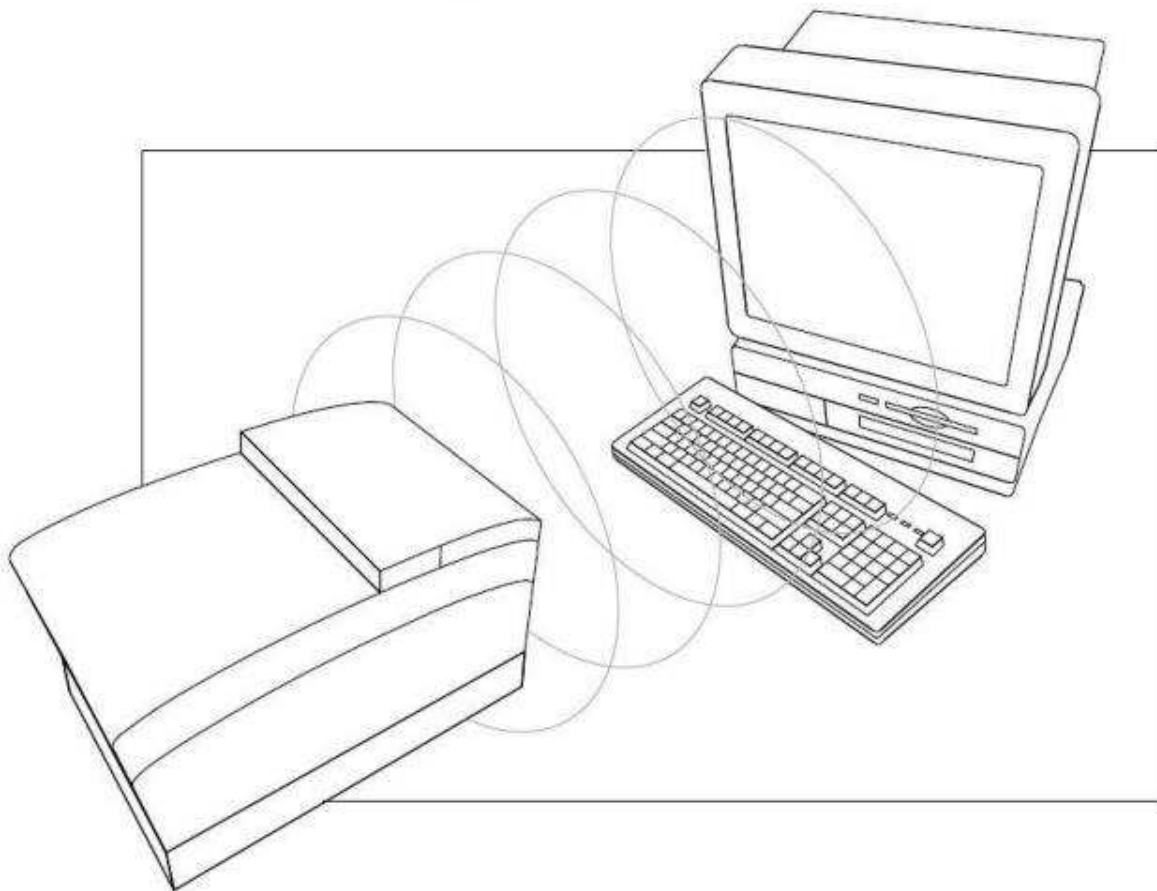
- **Echipamente industriale: conducere procese, actionari etc**
- **Echipamente de masurare, monitorizare si control**
- **Echipamente de telecomunicatii si tehnica de calcul**
- **Echipamente militare**
- **Echipamente auto:computer bord, ABS, ESP etc**
- **Bunuri de larg consum**

BIBLIOGRAFIE

- A.J. Schwab:** **Compatibilitate Electromagnetică**
Editura Tehnică, 1996
- Gh. Hortopan: Principii și tehnici de Compatibilitate
Electromagnetică
Editura Tehnică, 1998
- A. Ignea: Compatibilitate Electromagnetică
Editura de Vest, 2007
- R.J. Baker: CMOS Circuit Design, Layout&Simulation,
3rd edition, Wiley, 2010
- W. Boxleitner: ESD and Electronic Equipment
IEEE Press, 1989
- R. Perez:
(editor) Handbook of Electromagnetic Compatibility
Academic Press, 1995
- Ben Dhia,
Ramdani, Sicard EMC of Integrated Circuits
Springer, 1999
- L. Tihanyi EMC in Power Electronics
IEEE Press, 1995
- M. I. Montrose Printed Circuit Board Design Techniques for EMC
Compliance
IEEE Press, 1996

COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICA

Caz tipic de interferenta



Perturbatii radiate si conduse

Perturbat – Perturbator

Victima – Sursa

COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICA – CEM = ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY – EMC =

Definiție: Coexistența pașnică, neconflictuală a emițătoarelor și receptoarelor de energie electromagnetică

Poluare electromagnetică

Interferență electromagnetică \equiv Perturbație electromagnetică

Electromagnetic Interference – EMI

Perturbații reversibile / ireversibile

Aparat (emițător compatibil) – produce emisii perturbatoare tolerabile (prescrise)

Aparat (receptor compatibil) – rezistă la emisii perturbatoare acceptabile (prescrise)

Interferențe – Perturbații - Imunitate

MODEL DE INTERFERENȚĂ





CEM - Definiție conform IEC 60050(161)

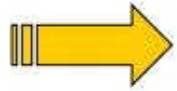
“The ability of an equipment or system to function satisfactorily in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances to anything in that environment”

“Capacitatea unui echipament sau sistem de a funcționa satisfăcător în mediul său electromagnetic fără să producă perturbații electromagnetice inacceptabile altor echipamente sau sisteme aflate în acel mediu”



CEM - Cu ce scop ?

- mai putine defecte și probleme de utilizare
- creșterea vânzarilor (marcajul CE)
- securitatea muncii
- sănătatea umană



Percepția convențională

“If it looks like a duck and if it walks like a duck and it quacks like a duck, it probably is a duck”

“Dacă arată ca o rață și se mișcă ca o rață și măcăne ca o rață este probabil o rață”

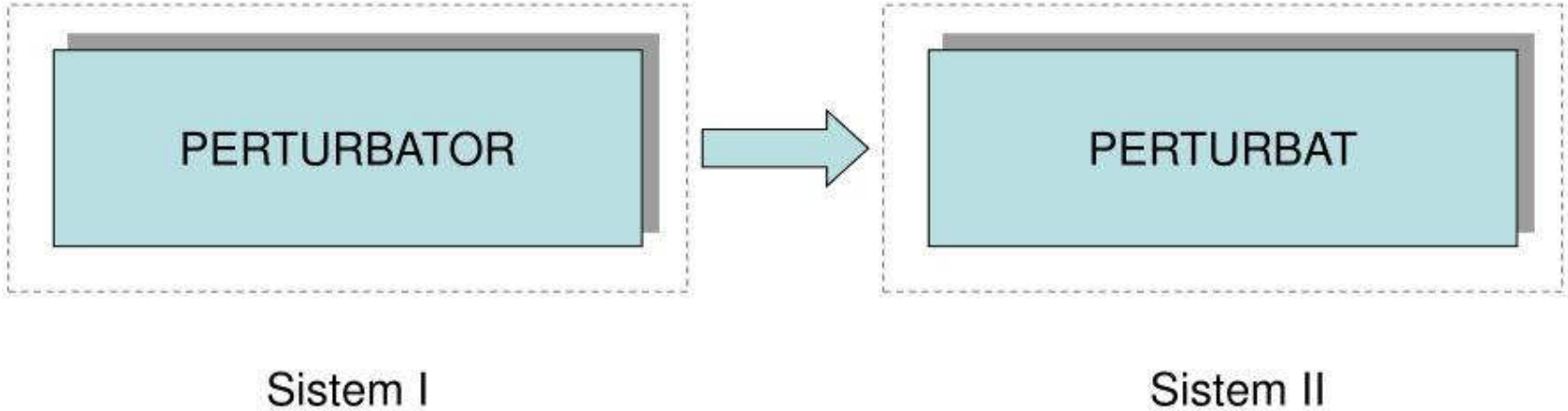


Percepția expertului în CEM (Henry W.Ott USA)

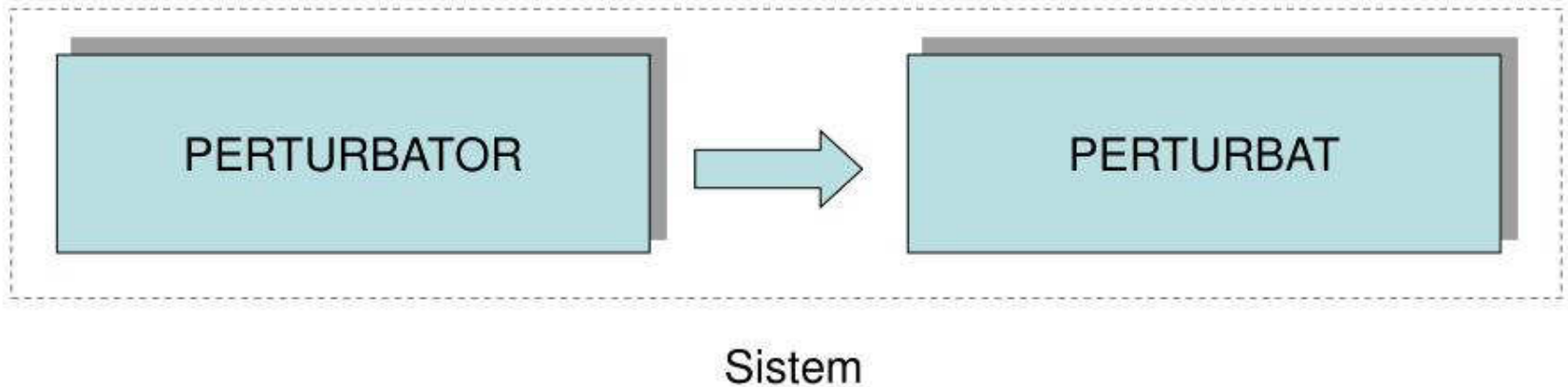
“If it radiates like an antenna and it receives like an antenna and it doesn't look like an antenna, it probably still is an antenna”

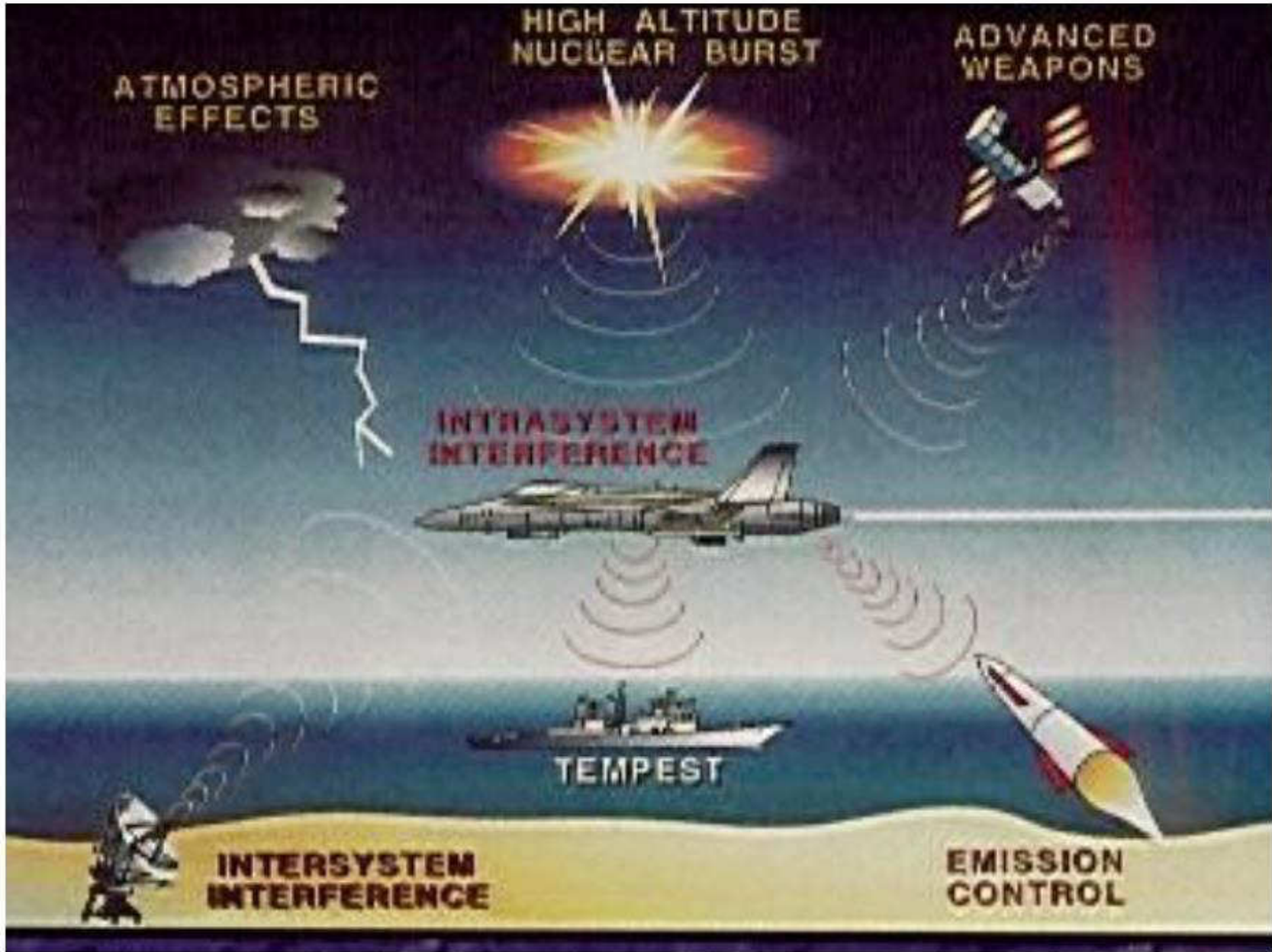
“Daca radiază ca o antenă și recepționează ca o antenă și nu arată ca o antenă, rămâne totuși o antenă”

Interferența intersistem



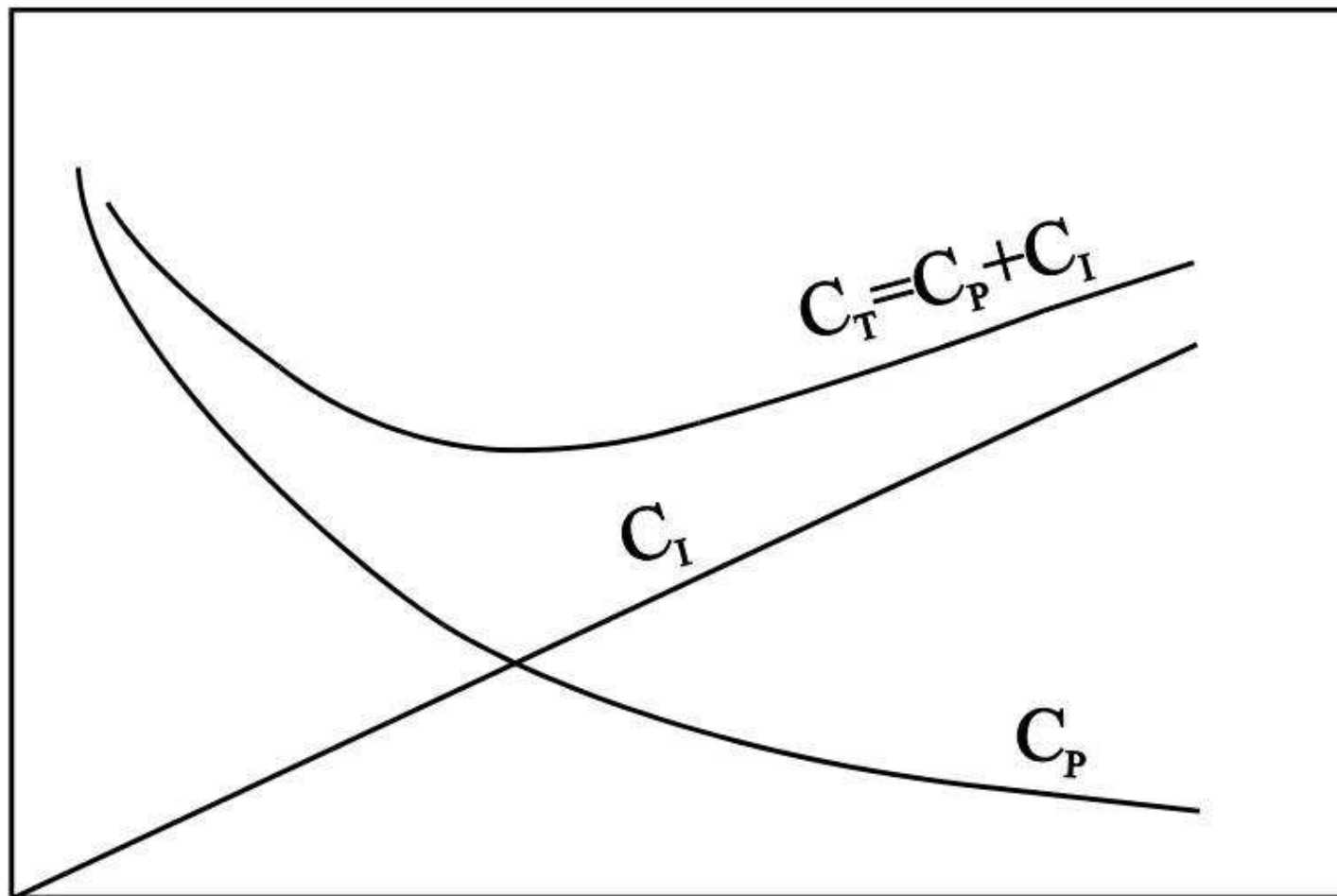
Interferența intrasistem





CONCEPTIA SISTEMELOR COMPATIBILE (Proiectarea compatibilității electromagnetice)

Costuri



P_{EMI}

Aprecierea cantitativă a compatibilității electromagnetice



logaritmul raportului mărimilor care intră în discuție (U, I, P, E, H etc)

Avantaje:

- reprezentarea concentrată a unor mărimi care variază într-un domeniu foarte larg (câteva decade)
 - tratarea aditivă a unor rapoarte care uzual sunt tratate multiplicativ

 - **Nivel de semnal (nivel absolut al unui semnal)**
< Logaritmul raportului dintre mărimea de sistem și valoarea sa de referință >
 - **Raport de transfer (atenuare, amplificare)**
< Logaritmul raportului dintre mărimea de intrare și cea de ieșire a unui sistem >
- Observație:** se raportează numai modulele mărimilor respective
- Unitatea de măsură:** Bel (B) de la numele lui Alexander Graham Bell
- Uzual se folosește: deciBel (dB)

A. Dacă nivelul se referă la puteri:

$$N = 10 \log \frac{P_x}{P_o}$$

Dacă $P_o = 1 \text{ mW}$ rezultă $N [\text{dBm}]$

B. Dacă nivelul se referă la tensiuni, curenți, câmpuri

$$N = 20 \log \frac{U_x}{U_o}$$

Dacă $U_o = 1 \mu\text{V}$ rezultă $N [\text{dB}\mu\text{V}]$

C. Atenuarea unui ecran magnetic, a unui filtru

$$a_s = 20 \log \frac{H_e}{H_i} = f(f) \quad a_F = 20 \log \frac{U_1}{U_2} = f(f)$$

D. Amplificarea unui amplificator multietajat

$$a = 20 \log (a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \dots a_n)$$

Exemple

Δ Tensiuni, curenți, câmpuri

3 dB \rightarrow 1,41 6dB \rightarrow 2 10dB \rightarrow 3,16 20dB \rightarrow 10 40dB \rightarrow 100 60dB \rightarrow 1000

Δ Puteri

3 dB \rightarrow 2 6dB \rightarrow 4 10dB \rightarrow 10 20dB \rightarrow 100 40dB \rightarrow 10000

Conversia unităților de măsură

Exemplu: dBm \rightarrow dB μ V

Se cunoaste impedanta Z a sistemului

$$N[\text{dBm}] = 10 \log \frac{P_x}{1\text{mW}} = 10 \log \frac{U_x^2 / Z}{1\text{mW}} = 10 \log \frac{U_o^2 (U_x^2 / U_o^2) / Z}{1\text{mV}}$$

Pentru $U_o = 1\mu\text{V}$ $Z = 50\Omega$

$$N[\text{dB}\mu\text{V}] = 107 + N[\text{dBm}]$$

In general
$$N[\text{dB}\mu\text{V}] = 90 + 10 \log(Z) + N[\text{dBm}]$$

Altă unitate de măsură

$$N_{Np} = \ln \frac{U_x}{U_o}$$

$$P_{Np} = \frac{1}{2} \ln \frac{P_x}{P_o}$$

$$\frac{U_x}{U_o} = e \quad N=1 \text{ Neper}$$

Neper – unitate de masura in sistemul de unitati SI

Relația Neper - decibel

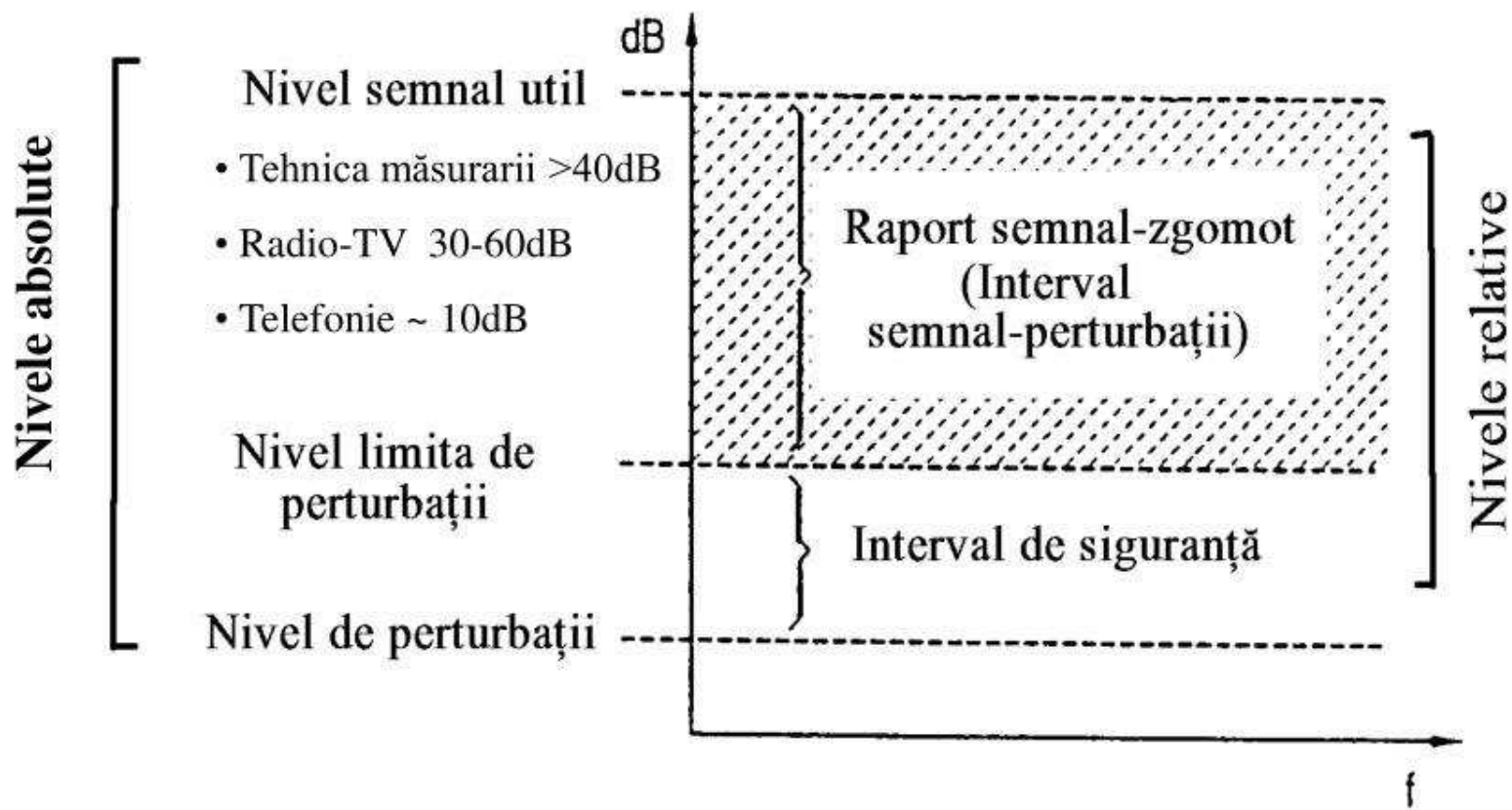
$$\ln \frac{U_x}{U_o} [\text{Np}] = 20 \frac{U_x}{U_o} [\text{dB}]$$

Pentru $\frac{U_x}{U_o} = e$ $N[\text{dB}] = 20 \log e = 8,686$

$$1 \text{ Np} = 8,686 \text{ dB};$$

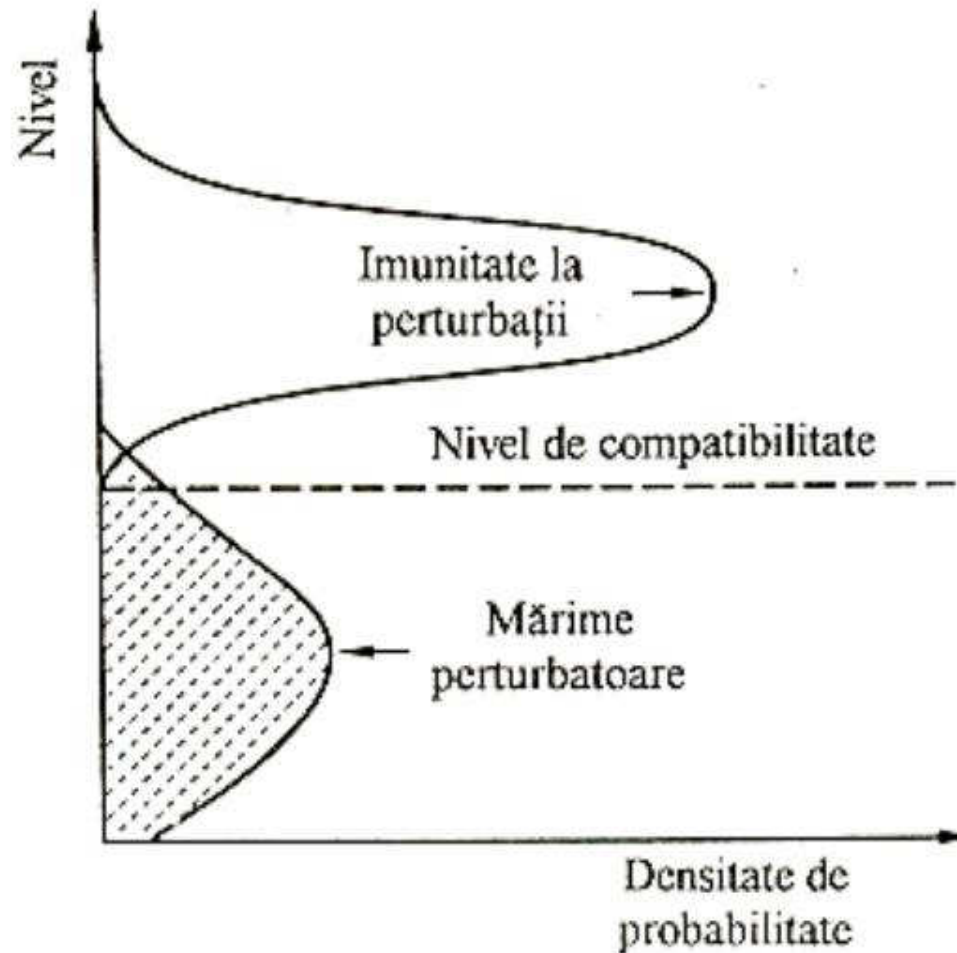
$$1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Np}$$

Nivel de perturbații - Raport semnal - zgomot



Stabilirea nivelului de compatibilitate al unui sistem

- *Distributia statistica a imunitatii la perturbatii*
- *Distributia statistica a emisiilor perturbatoare*



Intervale statice semnal-perturbatii minime

Starea logică Low $U_{PL} = |U_{iL,max} - U_{oL,max}|$

Starea logică High $U_{PH} = |U_{iH,min} - U_{oH,min}|$

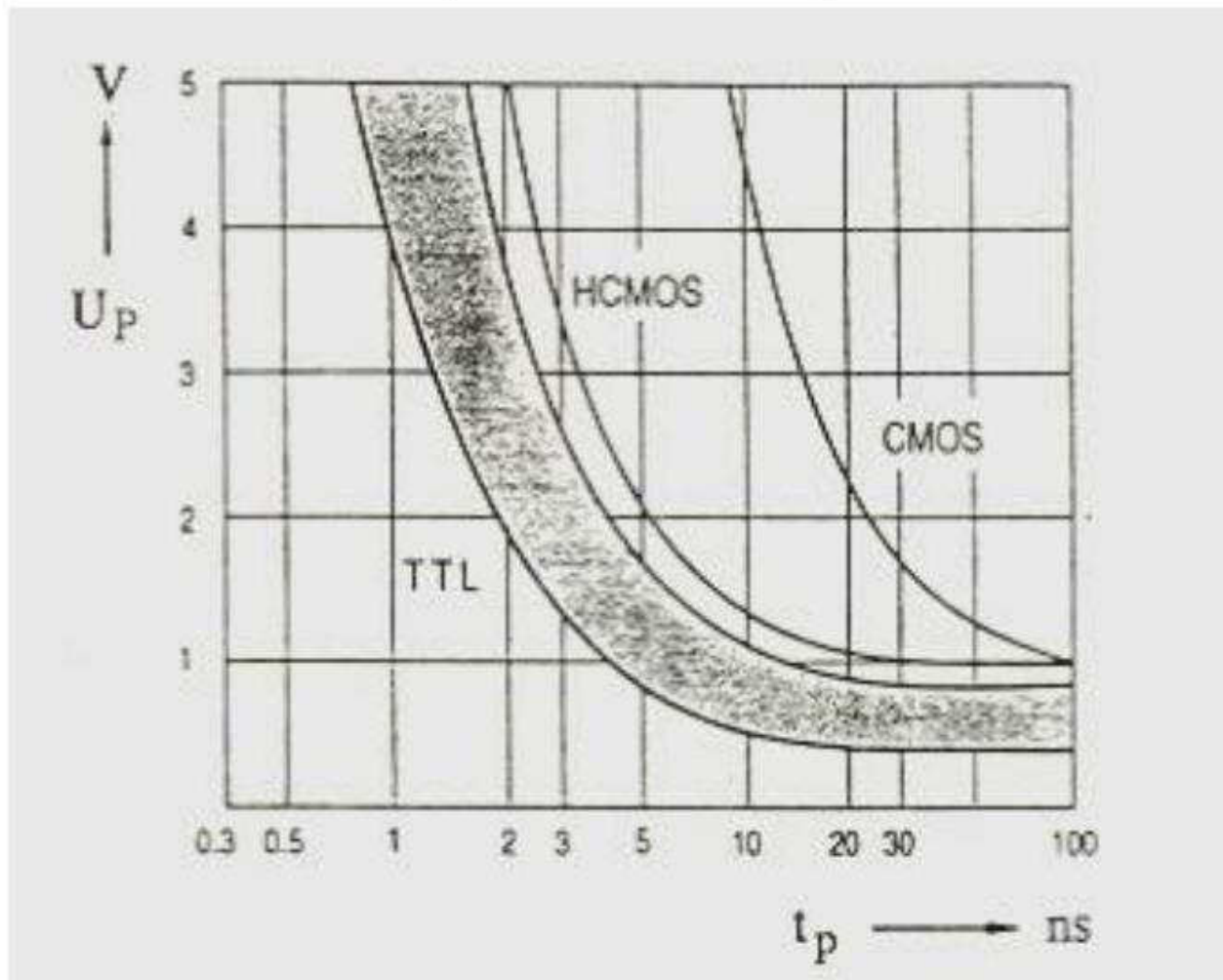
Exemple: Intervale semnal-perturbatii statice la diferite IC

Familia	Tipul	Tensiunea de lucru [V]	U_{PL} [V]	U_{PH} [V]
<i>TTL</i>	LS (Low-Power-Schottky)	5	0,3	0,7
	ALS (Advanced-LS)			
	AS (Advanced-Schottky)			
	F (Fairchild-AS, Fast)			
<i>CMOS</i>	HC (High-Speed-CMOS)	2	0,2	0,4
		4,5	0,8	1,25
		6	1,1	1,7
	AC (Advanced-CMOS)	3	0,8	
		4,5	1,25	
		5,5	1,55	
<i>CMOS-TTL</i>	HCT (High-Speed-CMOS-TTL)	5	0,7	2,4
	ACT (Advanced-CMOS-TTL)			

Circuite integrate numerice

Intervale semnal - perturbatii statice si dinamice

Regim dinamic: durata semnal perturbator \ll timp intarziere la comutare CI(t_D)

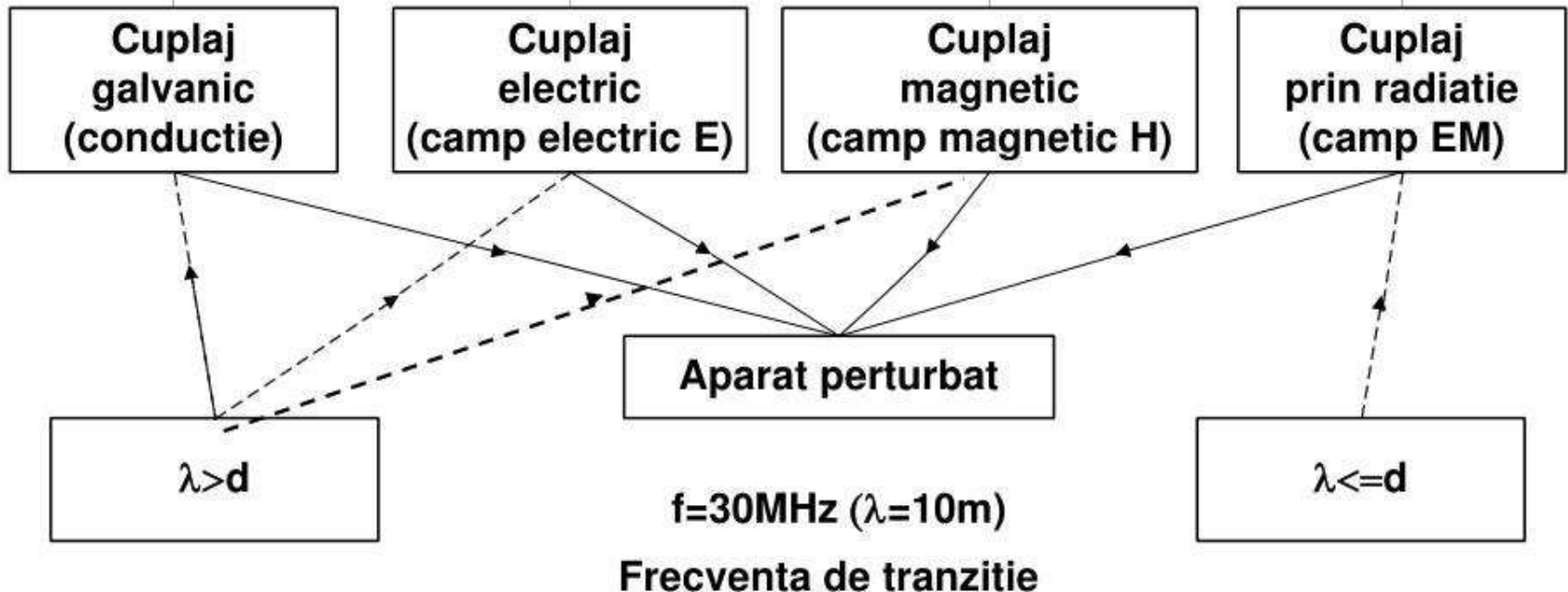


Natura Interferentelor electromagnetice

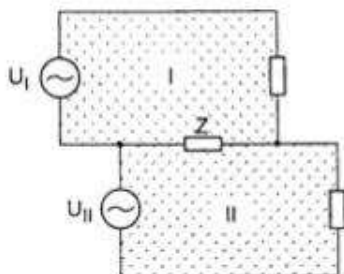
Cai de propagare

Crosstalk - Diafonie

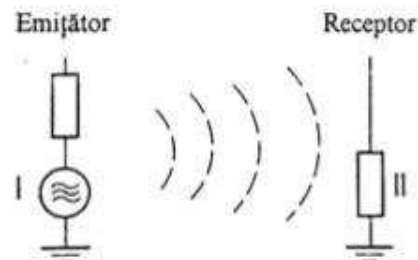
Mediul
Electromagnetic
Perturbator



Cuplaj galvanic

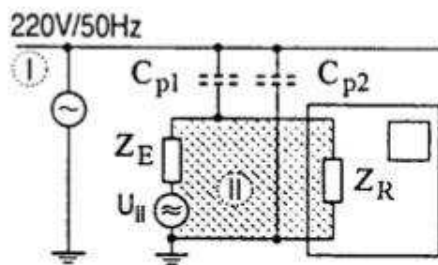
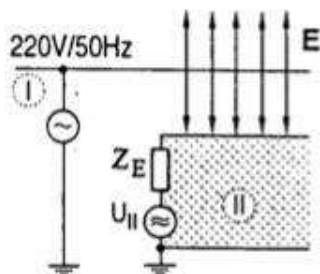


Cuplaj electromagnetic

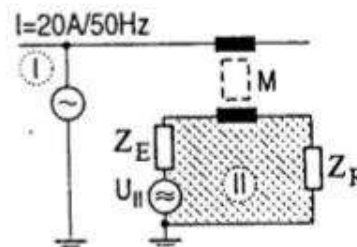
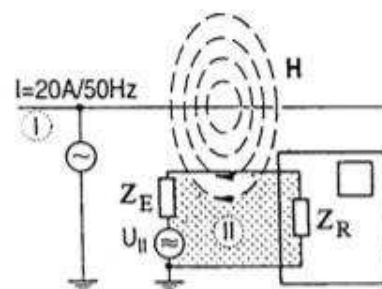


Zona depărtată a câmpului em

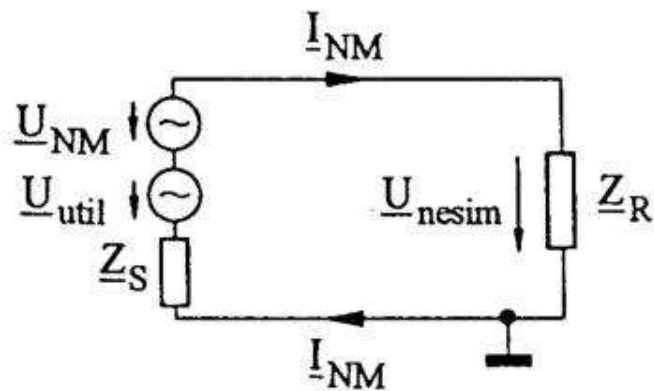
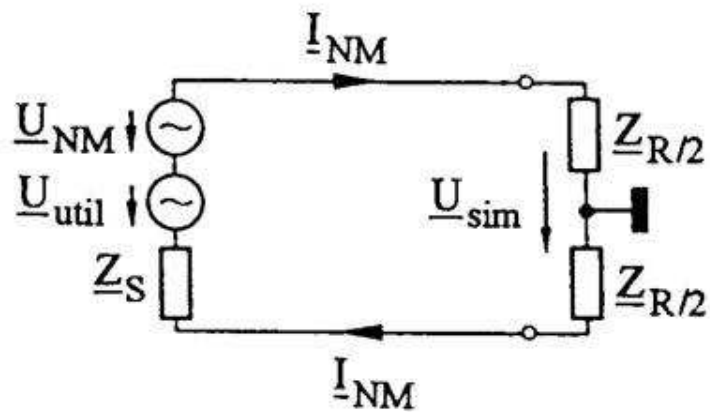
Cuplaj electric



Cuplaj magnetic

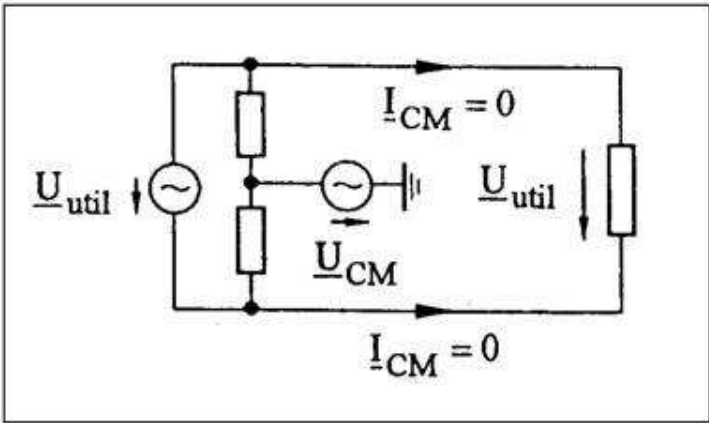


PERTURBAȚII DE MOD NORMAL

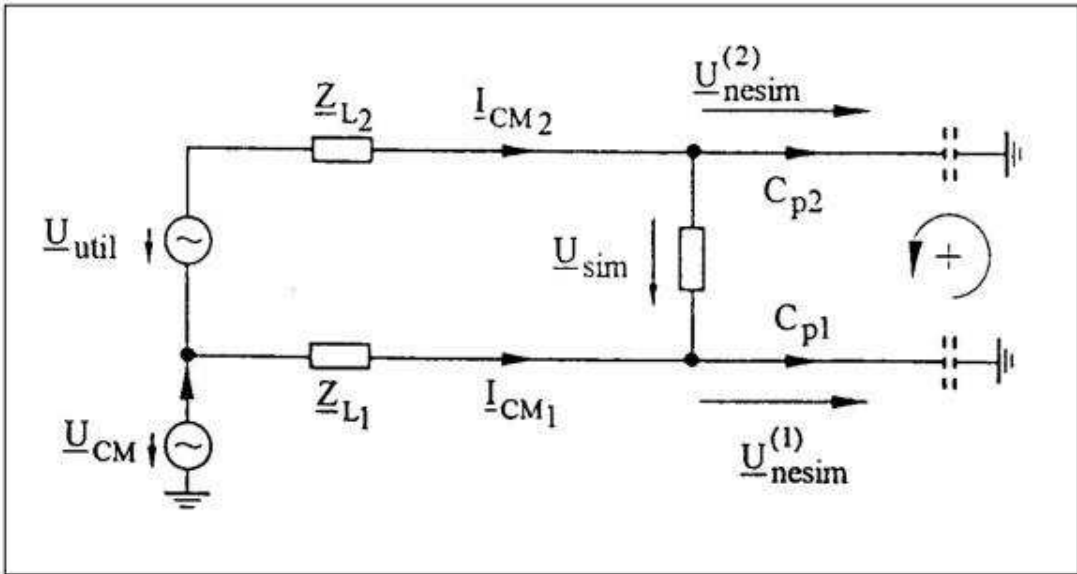
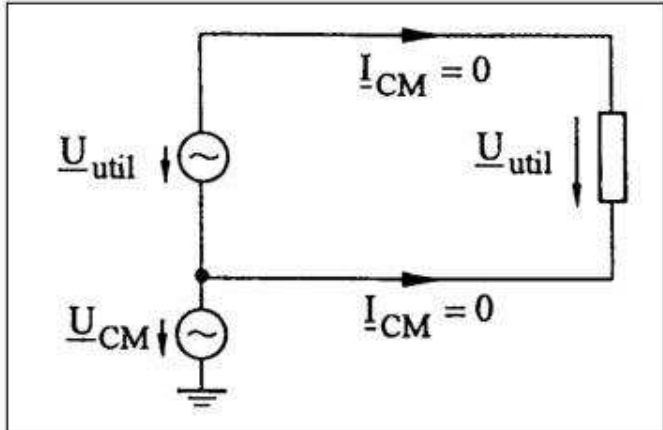


$$\frac{U_{NM}}{U_P} = \frac{Z_R + Z_S}{Z_R} \approx 1$$

PERTURBAȚII DE MOD COMUN



JF



IF

$$\underline{U}_{sim} = \underline{U}_{NM} = \underline{U}_P$$

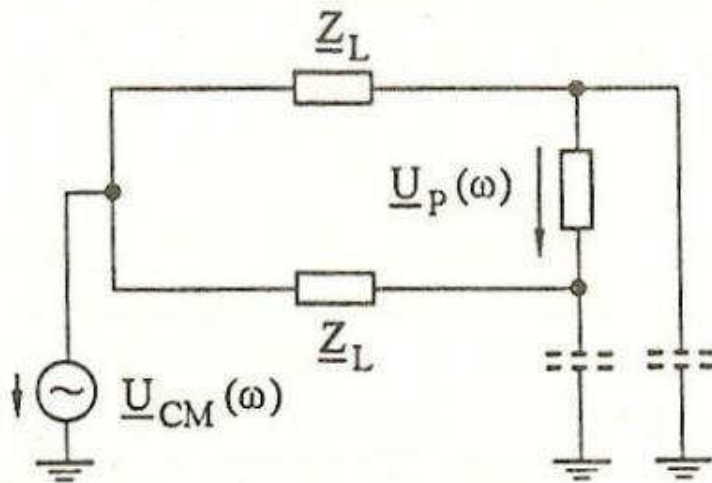
$$FCCN = \frac{\underline{U}_{NM}(\omega)}{\underline{U}_{CM}(\omega)}$$

Determinare experimentală
pentru $\underline{U}_{util} = 0$

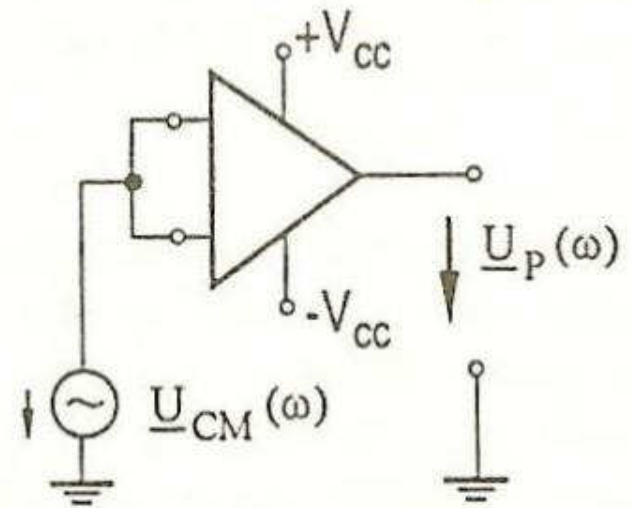
Factor de Conversie CM în NM

$$F_{CCN} = \frac{|\underline{U}_{NM}(\omega)|}{|\underline{U}_{CM}(\omega)|} = \begin{cases} 1 = \text{Conversie totală} \\ 0 = \text{Sisteme simetrice} \end{cases}$$

Determinări experimentale pentru $\underline{U}_{NM} = 0$

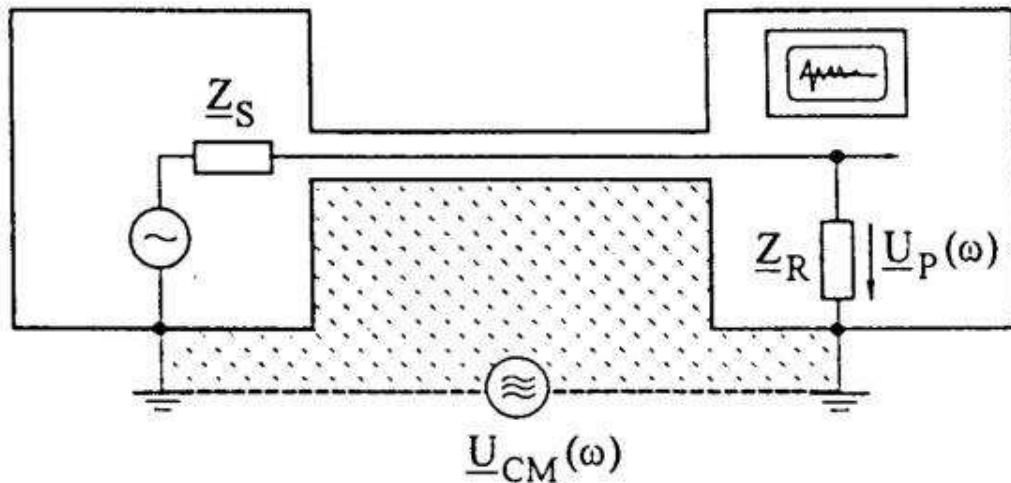


a



b

Conversia CM / NM



$$FCCN = \frac{|U_P(\omega)|}{|U_{CM}(\omega)|} = \frac{Z_R}{Z_S + Z_R}$$

Denumiri sinonime

Semnal mod normal

- Tensiune transversală
- Tensiune simetrică
- Mod diferențial
- Mod serial
- Mod impar
- Mod normal

Semnal mod comun

- Tensiune longitudinală
- Tensiune nesimetrică
- Mod comun
- Mod paralel
- Mod par
- Tensiune sincronă

Pământ și masă

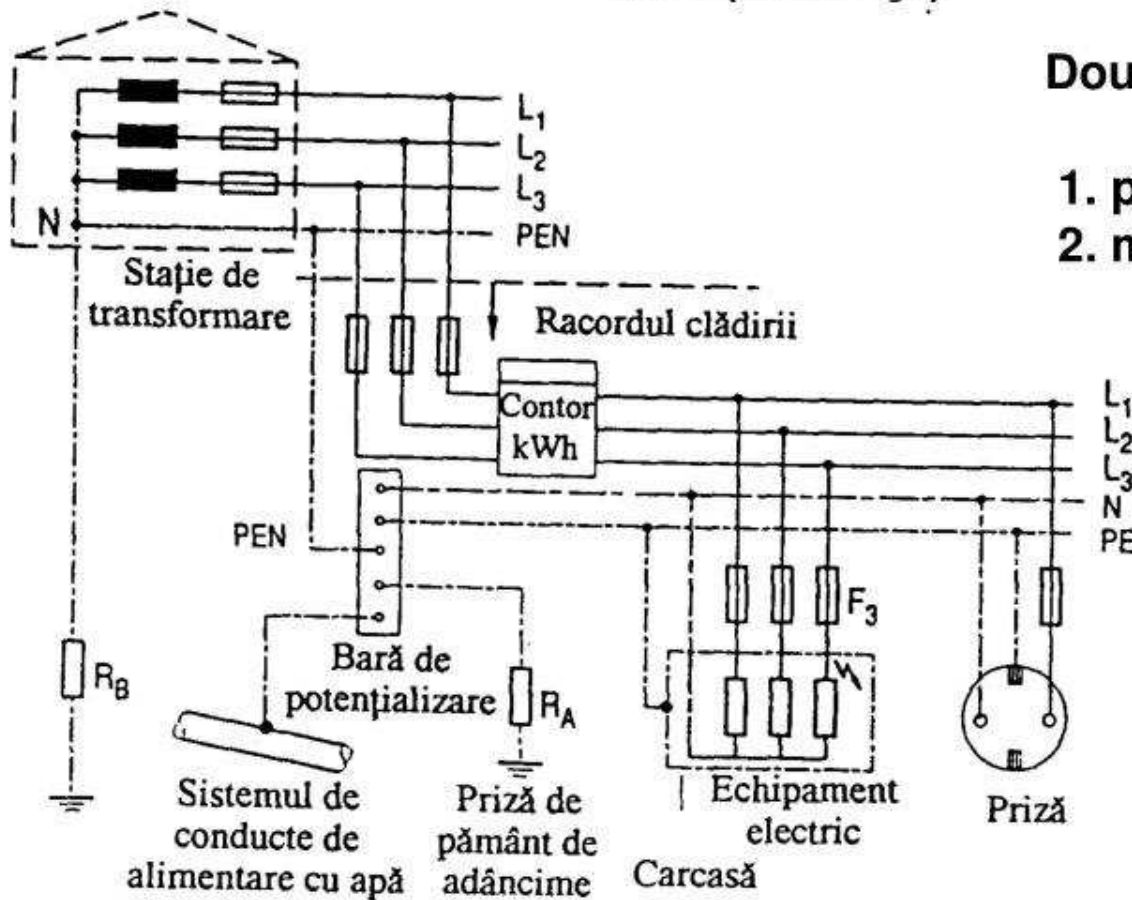
Scopuri diferite

securitate (protecție)

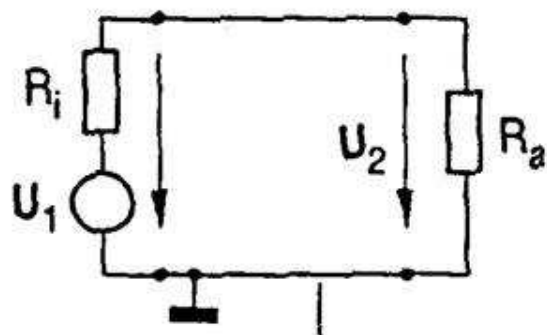
cem (referință)

Două noțiuni:

1. pământ (pământ de protecție)
2. masă (conductor de referință)

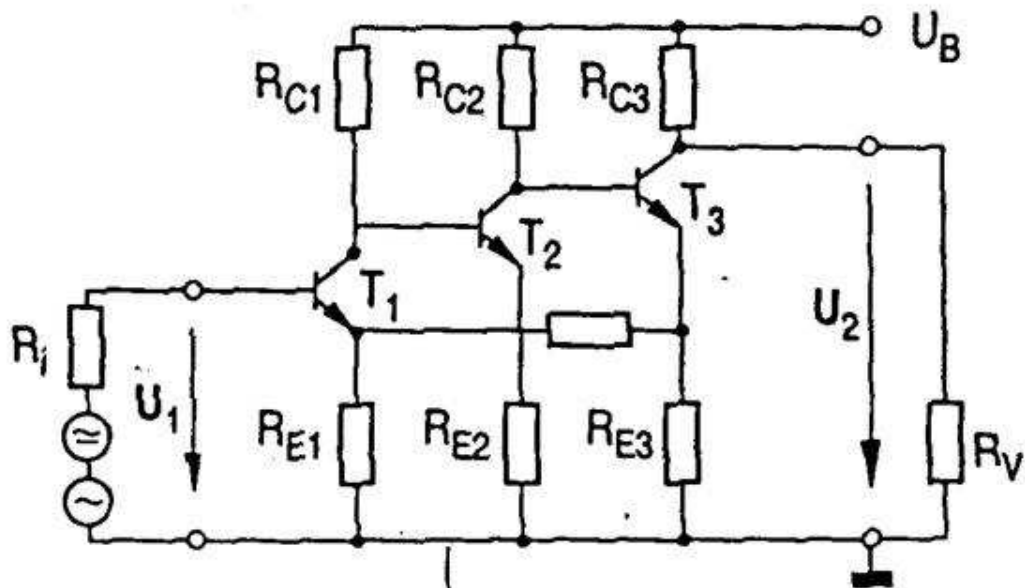


Notiunea de masa in electronica



a)

Conductor
de masă

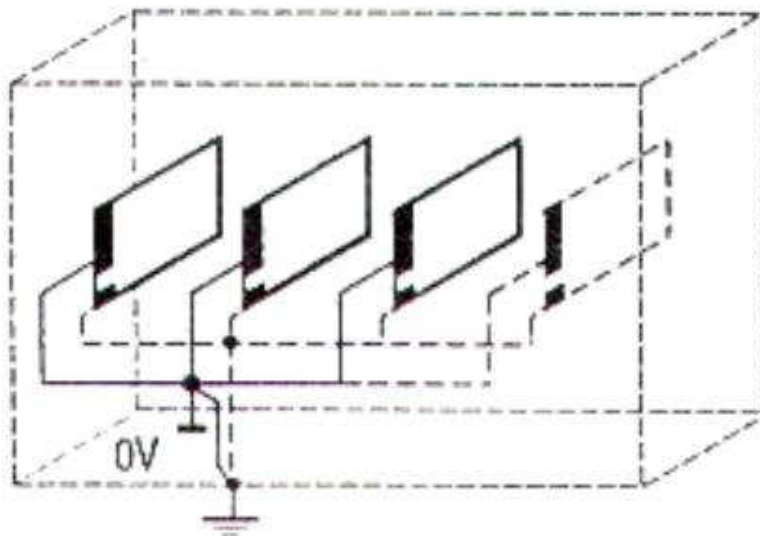


b)

Masa comună

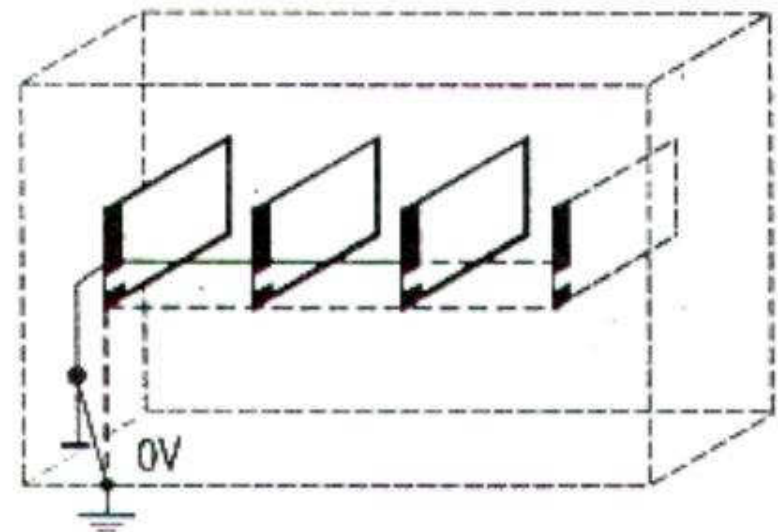
- punct de masă central
- masă distribuită (strat de masă la PCB)

Exemple pentru punct de masa central



a)

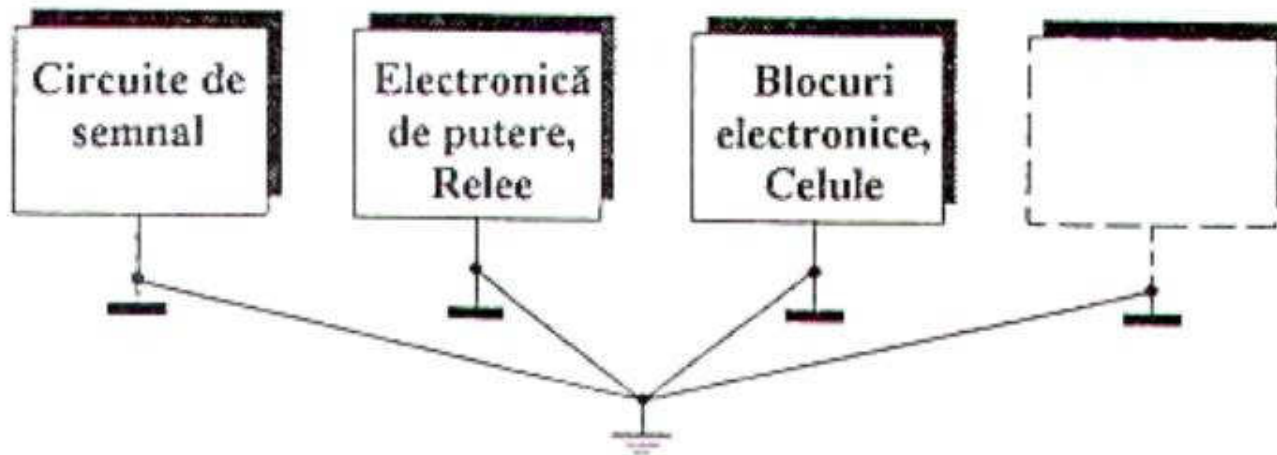
**Executie cu legaturi radiale
(optima)**



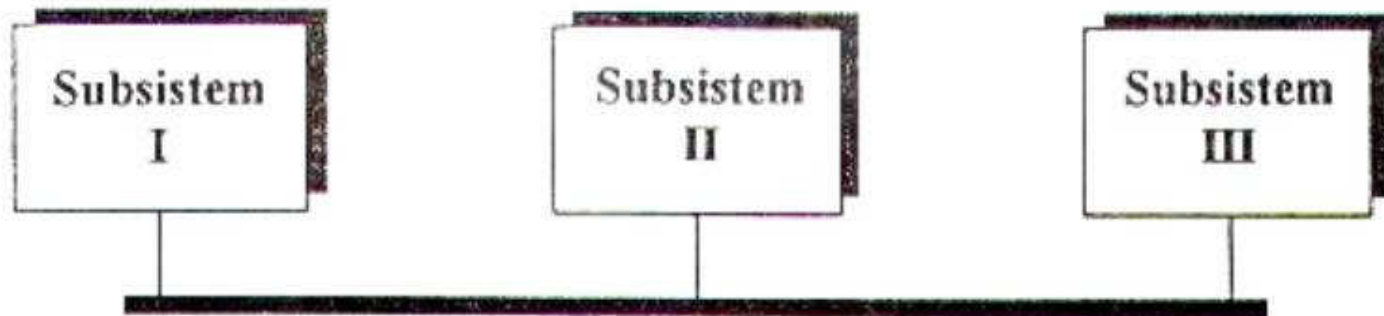
b)

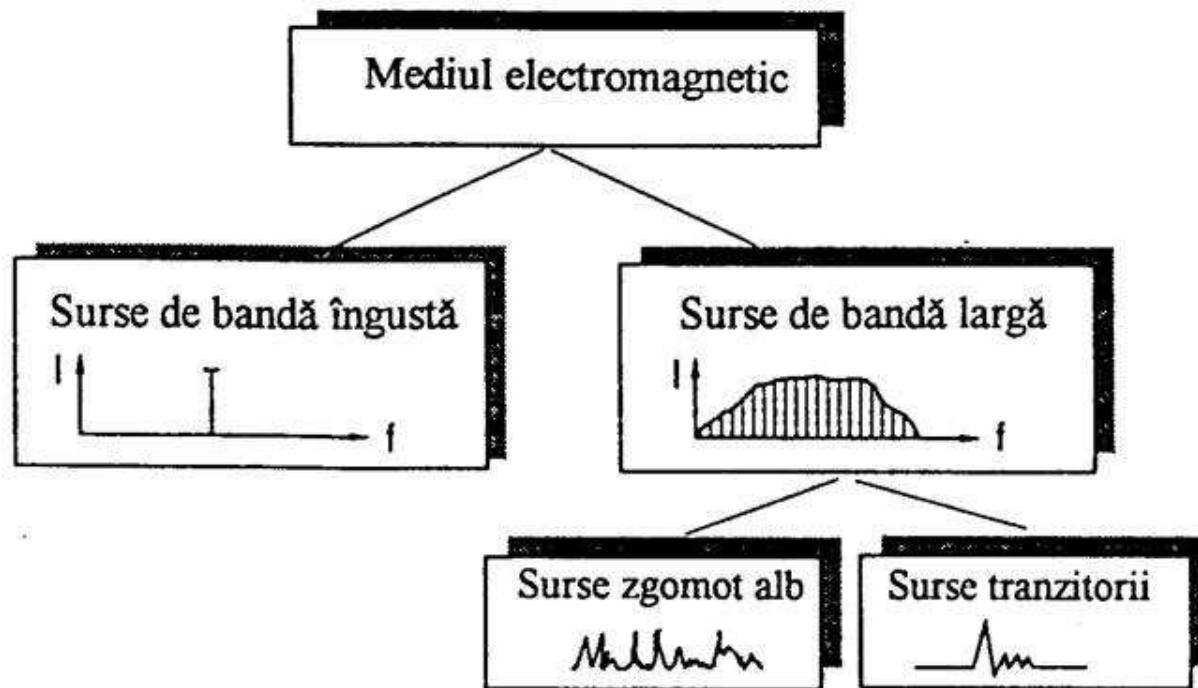
Executie cu bara colectoare

Gruparea unitatilor functionale similare



Legatura de masa distribuita





- Conceptul de CEM: clasic/modern

SURSE DE PERTURBATII DE BANDA INGUSTA

- Emițătoare de perturbații (Radio-TV/Telefonie/Relee/Navigație/Radar)
- GIF pentru industrie, cercetare, medicină, gospodărie (ISM)
- Receptoare Radio-TV, sisteme de calcul, surse în comutație
- Efecte perturbatoare asupra rețelei de alimentare
- Interferențe datorate liniilor electrice aeriene

SURSE DE PERTURBATII DE BANDĂ LARGĂ INTERMITENTE

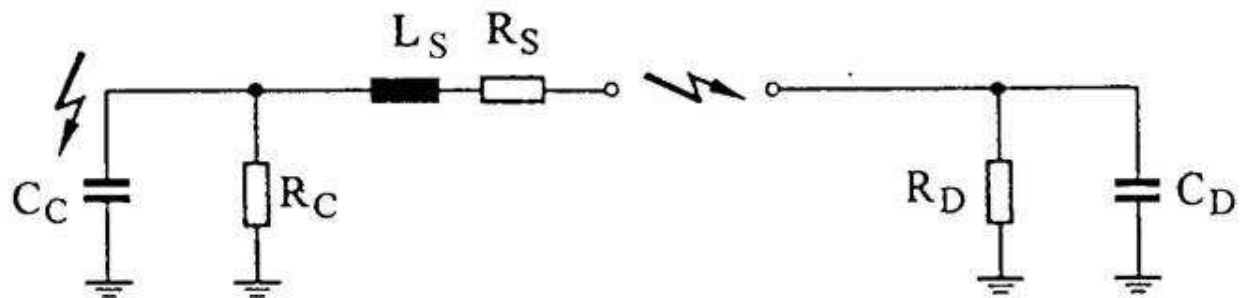
- Instalații de aprindere autovehicule
- Lămpi cu descărcări în gaze
- Motoare cu colector
- Linii electrice aeriene de IT

SURSE DE PERTURBATII TRANZITORII DE BANDA LARGA

- Comutarea inductivităților
- Fenomene tranzitorii în rețele de JT, MT și IT
- Fenomene tranzitorii în Laboratoare de Încercări și de fizică
- Descărcări electrostatice
- Descărcarea de trăsnet (LEMP)
- Impulsul electromagnetic nuclear (NEMP)

DESCĂRCĂRI ELECTROSTATICE

Model de rețea pentru ESD



Sursa ESD

$C_C = 50 \dots 1500 \text{ pF}$

Pământ

$R_D = 0$ $C_D = \infty$

Mobilier

$R_S = 10 \text{--} 50 \text{ ohm}$:

om

$C_C = 150 \text{ pF}$

$R_S = 1 \text{ kohm}$

$L_S = 1 \text{ } \mu\text{H/m}$

Obiect izolat

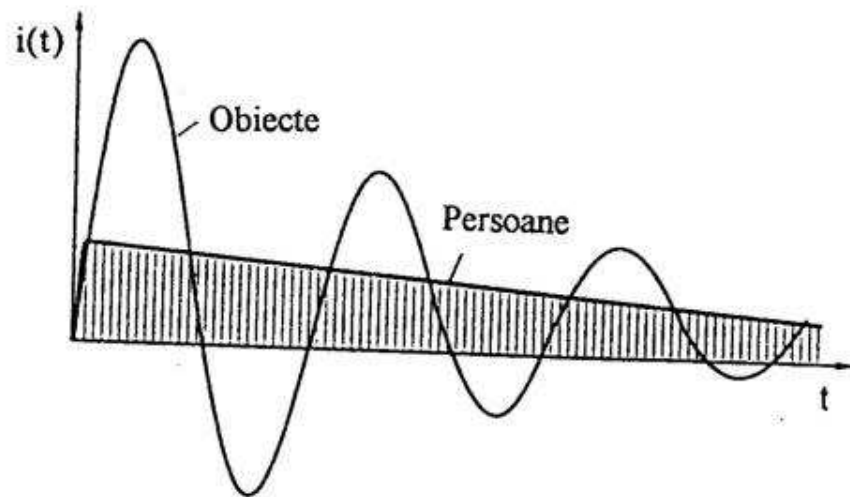
$R_D = \infty$

$i_{\text{max}} = 2 \dots 50 \text{ A}$

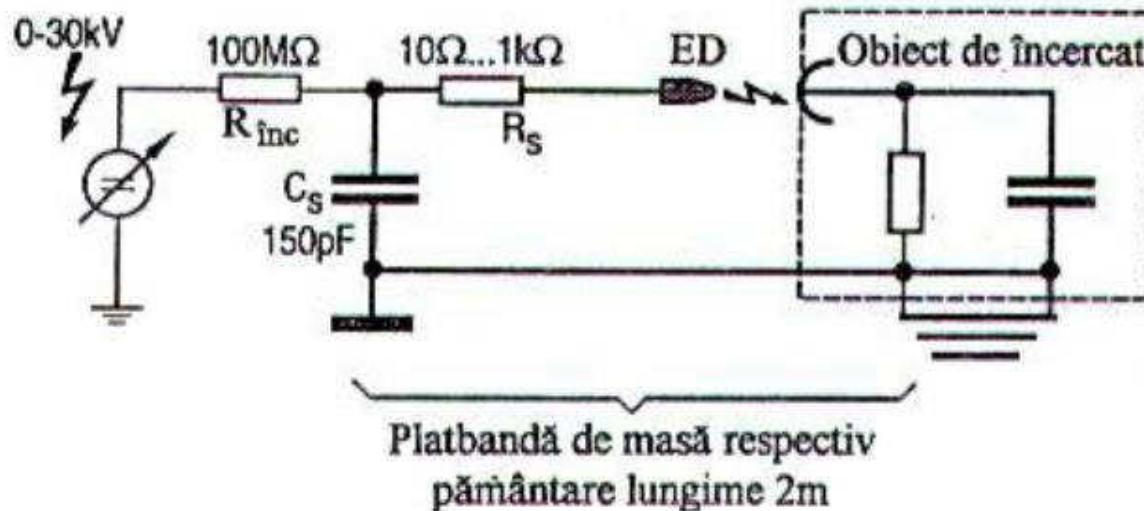
$U_{\text{max}} = 8 \dots 30 \text{ kV}$

$t_c \leq 2 \text{ ns}$

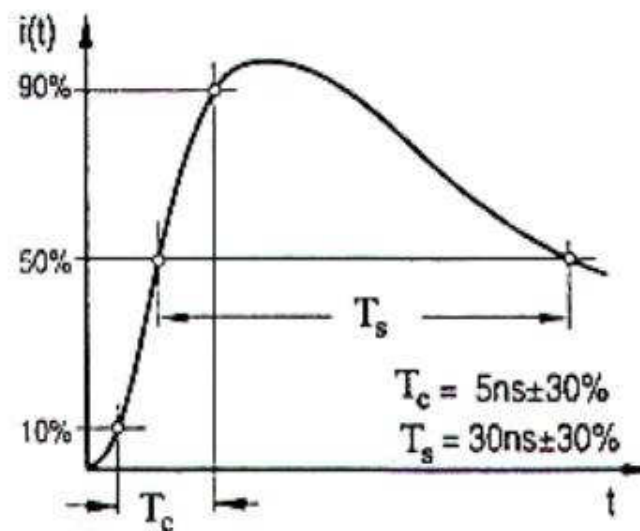
$t_s \leq 100 \text{ ns}$



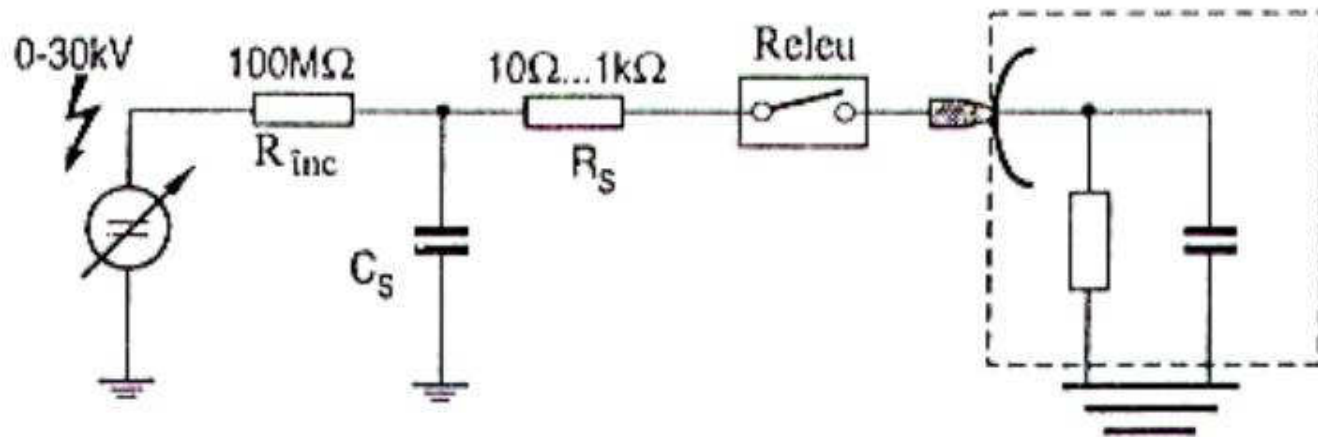
Simulator pentru ESD (schema de principiu)



Impulsul ESD standard
conform IEC 61000-4-2



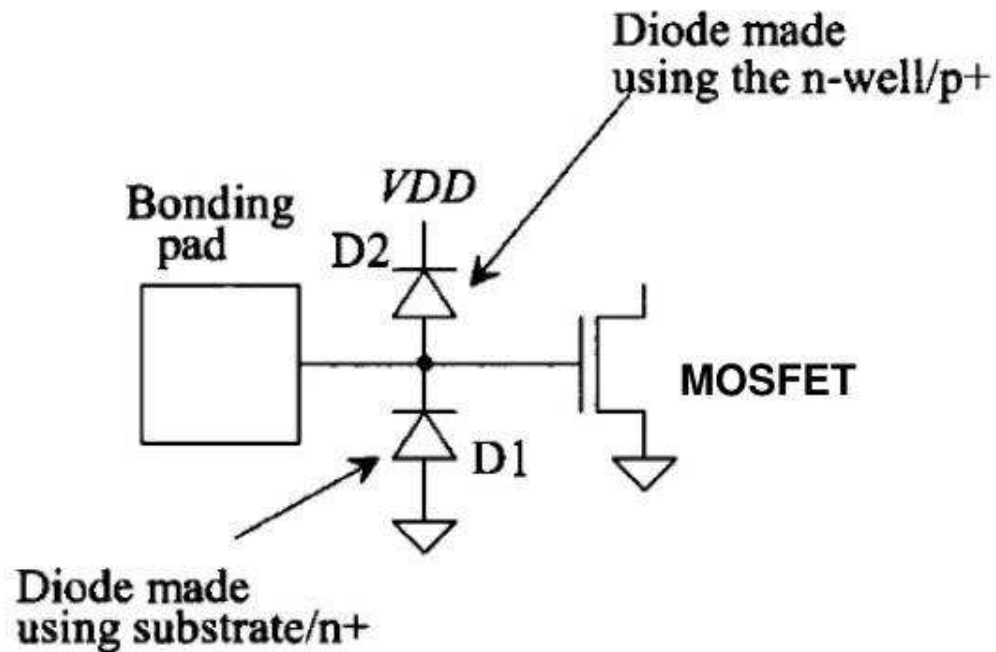
Simulator ESD cu releu de IT



Nivele de severitate pentru ESD

Nivel de severitate	Tensiune de încercare $U_0 / kV \pm 10\%$	
	Descărcare prin contact	Descărcare în aer
1	2	2
2	4	4
3	6	8
4	8	15
x	de convenit	de convenit

Protectia unei porti MOSFET pentru ESD



TRĂZNETUL - Impulsul electromagnetic de trăznet (LEMP)

- Valoarea de vârf a curentului ~ 200 kA
- Panta curentului ~ 300 kA/ μ s
- Sarcina electrică ~ 500 As
- Polaritate 90% sunt negative
- Sursa norii Cumulo-Nimbus
- Câmpul electric
în zile senine (la suprafața solului) ~ 200 V/m
- Câmpul electric în zile de furtună ~ 20 kV/m
- Forma standard a impulsului
de tensiune de trăznet (LEMP) 1,2/50 μ s

Impulsul electromagnetic nuclear - NEMP

Eliberarea bruscă a energiei nucleare printr-o explozie nucleară este însoțită de un impuls intens de radiație care generează un câmp electromagnetic tranzitoriu-NEMP

- **Localizarea**
 - mare altitudine HEMP
 - la sol SREMP
- **Forma** 5/200 ns
- **Intensitate câmp electric** 50 kV/m
- **Extindere în spațiu:** sute, mii km
- **Efect:** întreruperea completă a oricărei forme de comunicație radio datorată ionizării intense a spațiului

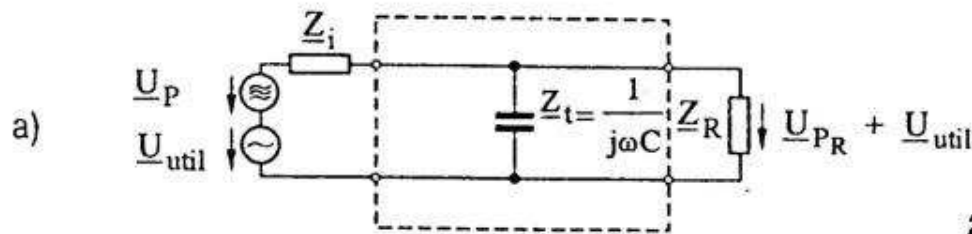
Filtre de perturbații transmise prin conducție

Antiparazitare

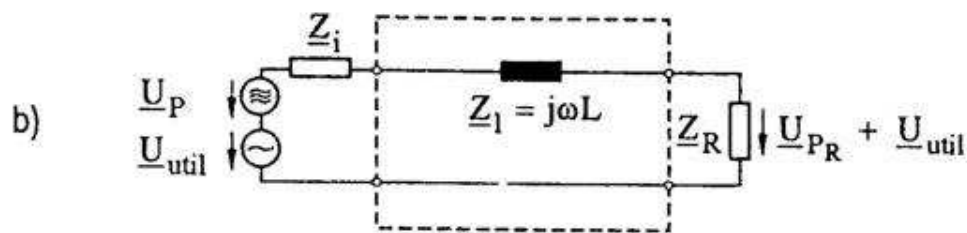
Principiu de funcționare

Tratare în domeniul frecvenței

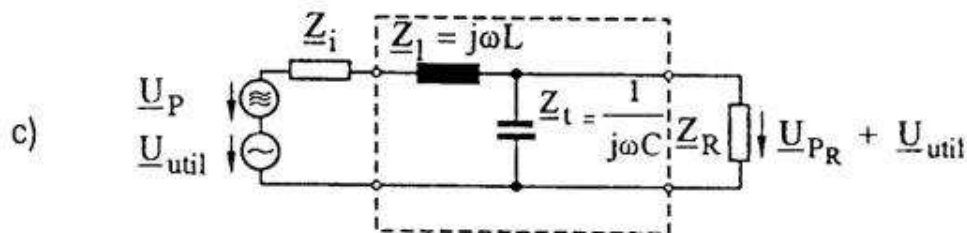
Componentele spectrale ale semnalului util să fie separate de componentele spectrale ale perturbațiilor → **Atenuarea filtrului**



$$a_F = 20 \lg \frac{|U_P(\omega)|}{|U_{PR}(\omega)|} = 20 \lg \frac{\left| Z_i + \frac{Z_R \cdot Z_t}{Z_R + Z_t} \right|}{\left| \frac{Z_R \cdot Z_t}{Z_R + Z_t} \right|}$$

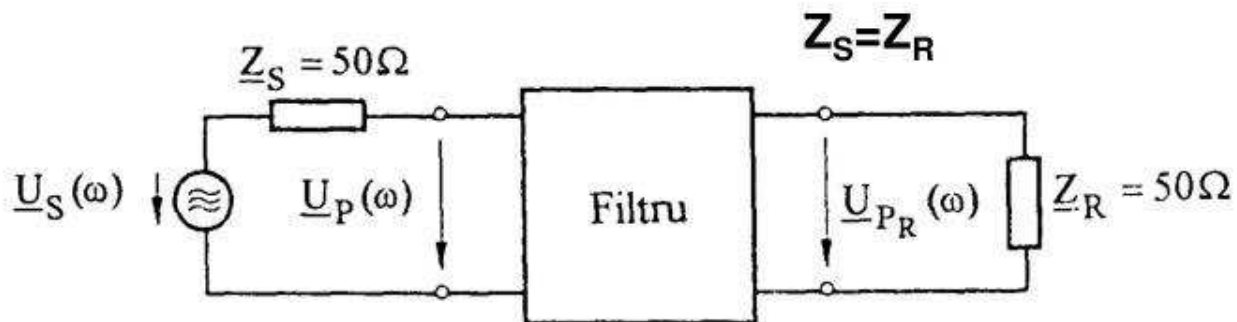


$$a_F = 20 \lg \frac{|U_P(\omega)|}{|U_{PR}(\omega)|} = 20 \lg \frac{|Z_i + Z_1 + Z_R|}{|Z_R|}$$

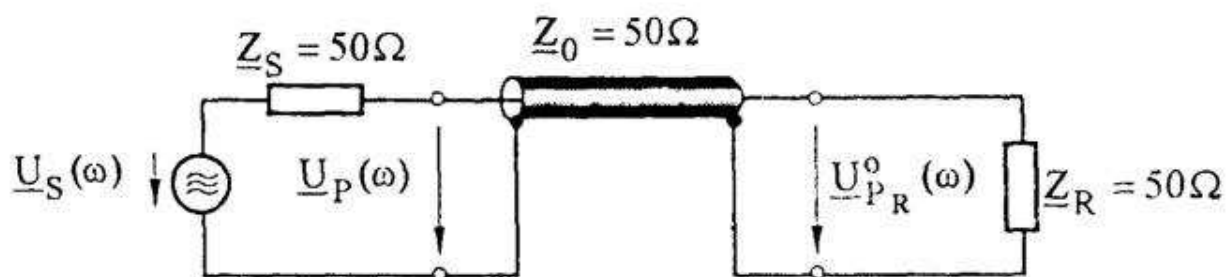


Atenuarea de insertie

Măsurare cu și fără filtru



$$a_F = 20 \lg \frac{|\underline{U}_{P_R}^0(\omega)|}{|\underline{U}_{P_R}(\omega)|}$$



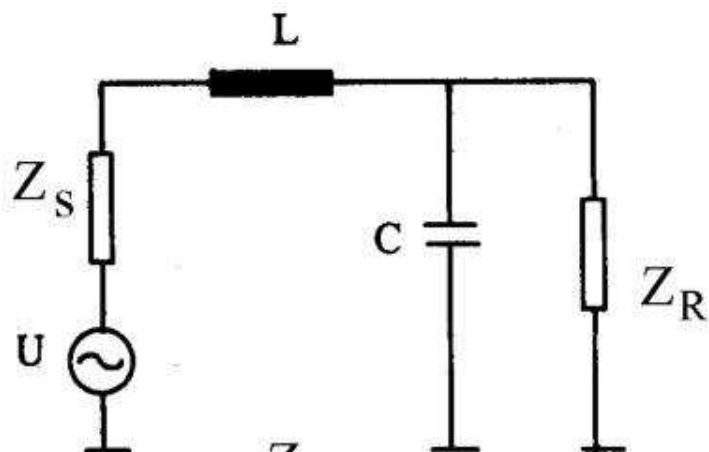
$$a_F = 20 \lg \frac{|\underline{U}_S(\omega)|}{2|\underline{U}_{P_R}(\omega)|}$$

Atenuarea reală \neq Atenuarea de inserție

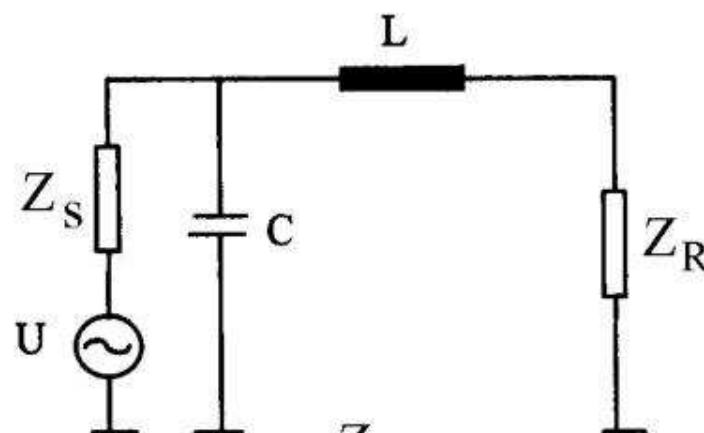
Cauze:

- $Z_R \neq Z_S \neq 50 \text{ ohm}$
- Filtrele au pierderi
- Filtrele au elemente neliniare

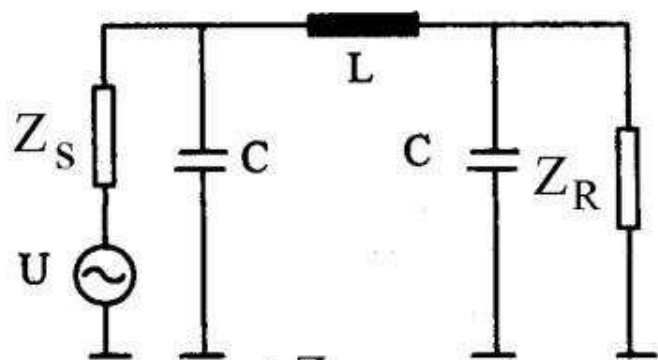
Influența Z_S și Z_R asupra construcției filtrelor LC



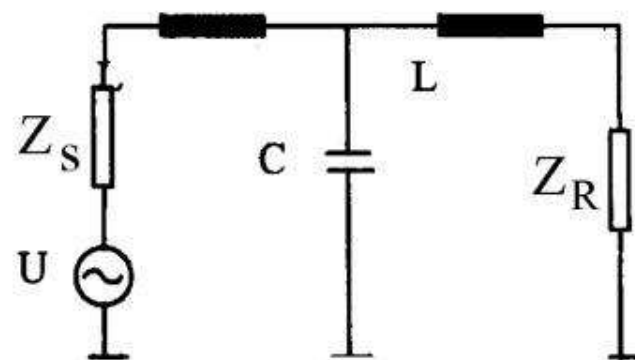
a) Z_S - mică
 Z_R - mare



b) Z_S - mare
 Z_R - mică



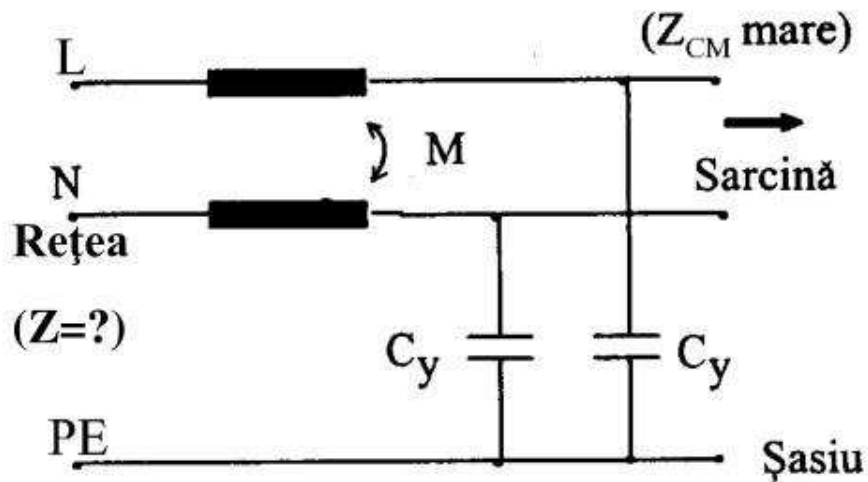
c) Z_S - mare
 Z_R - mare



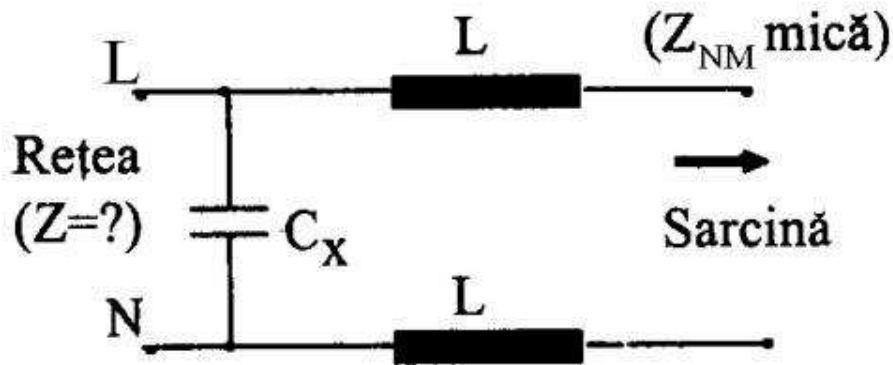
d) Z_S - mică
 Z_R - mică

Filtre de rețea

- Filtrarea modului comun

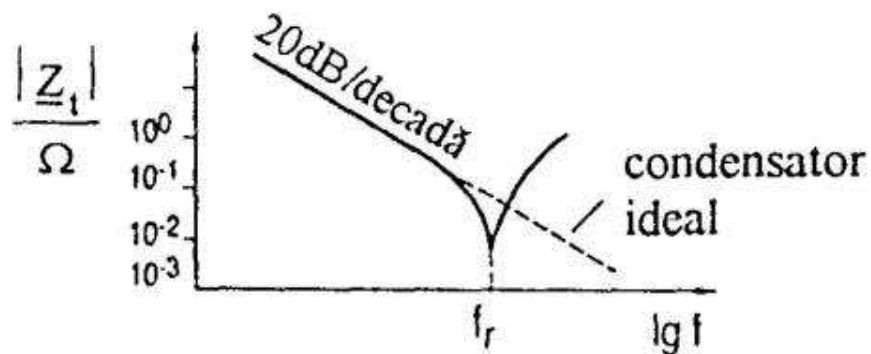
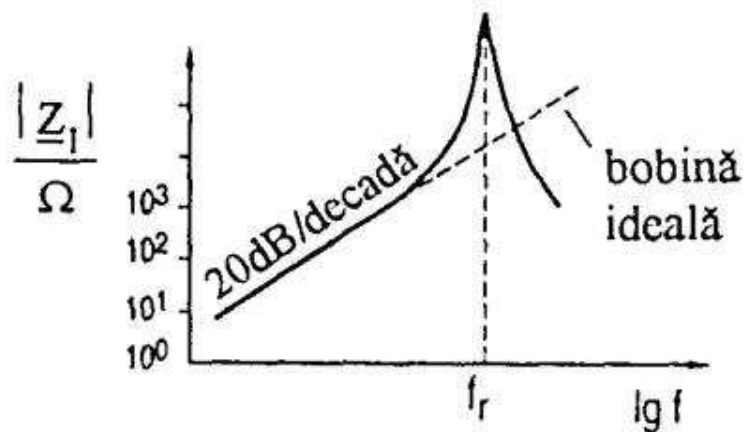
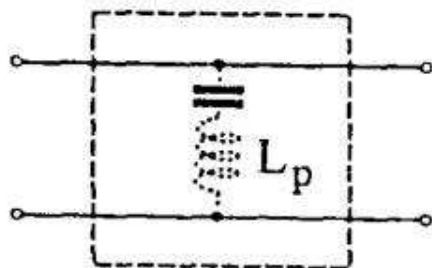
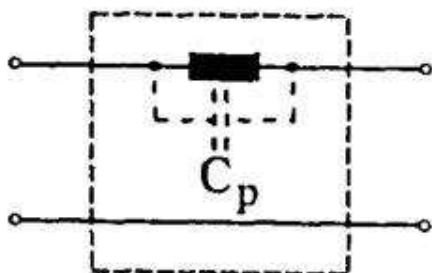


- Filtrarea modului normal



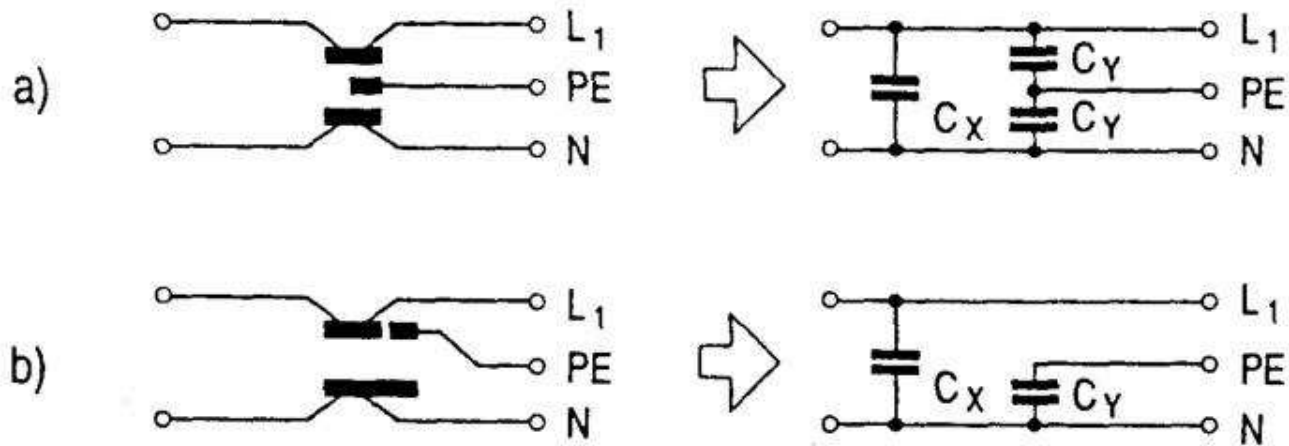
- Filtrarea NM+CM(filtru de rețea)

- **Frecvențe de rezonanță ale filtrelor**
- amplificarea de inserție -
- **Frecvențe de rezonanță ale componentelor**

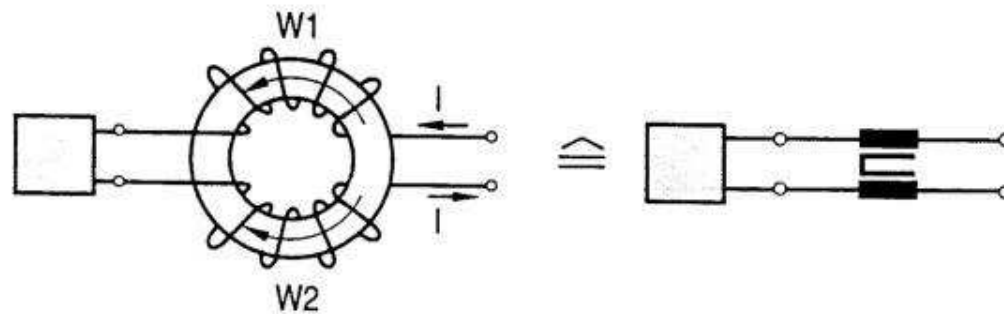


- **Amortizarea filtrelor(componentelor)**
Materiale dielectrice și magnetice cu pierderi

- Condensatoare de antiparazitare multiple

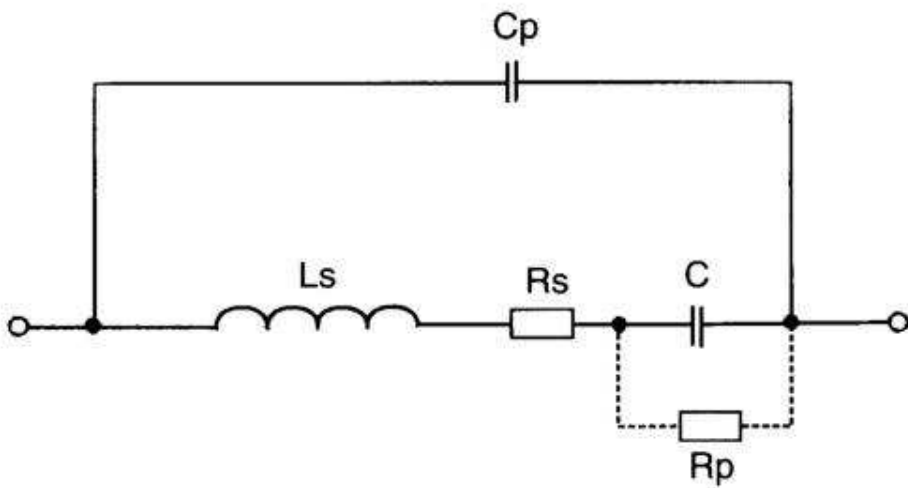


- Bobine de filtrare cu compensare de curent

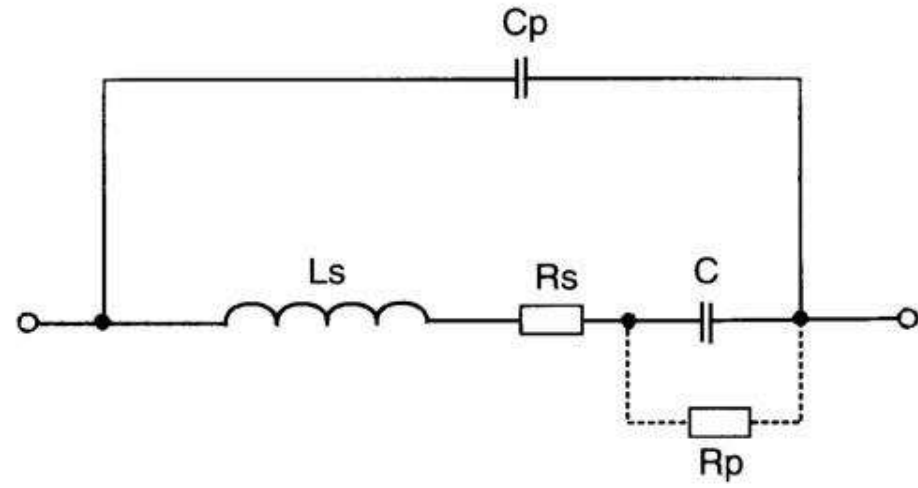


- Inele de ferită

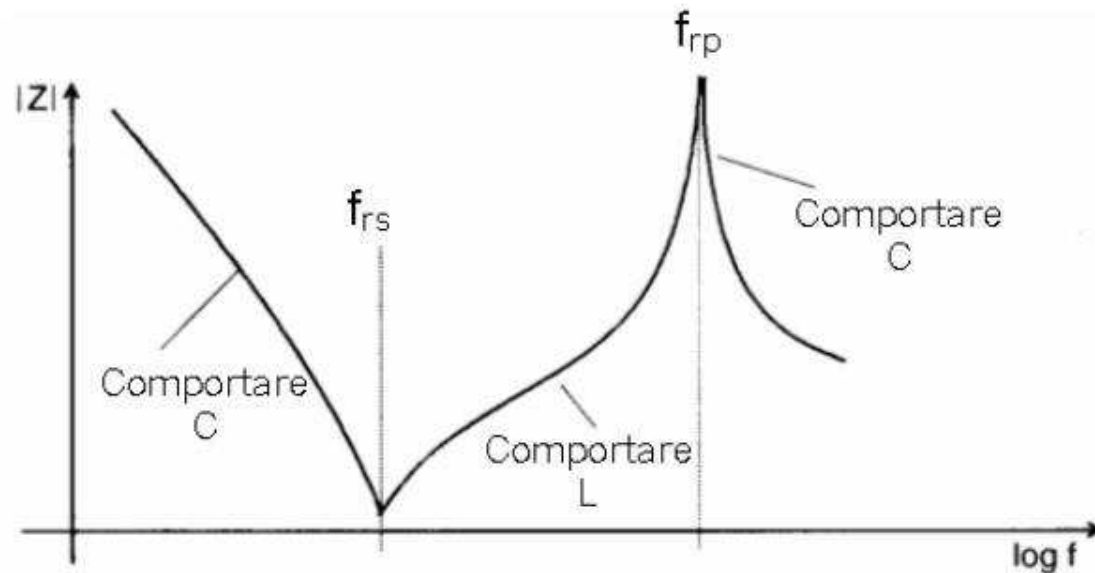
Scheme echivalente ale componentelor reale

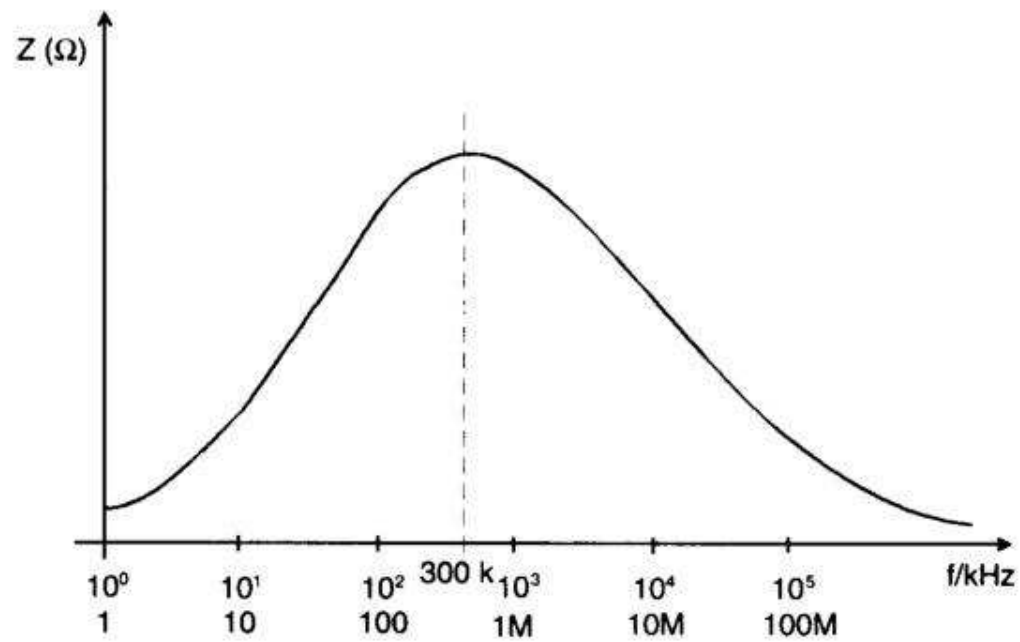


Condensator

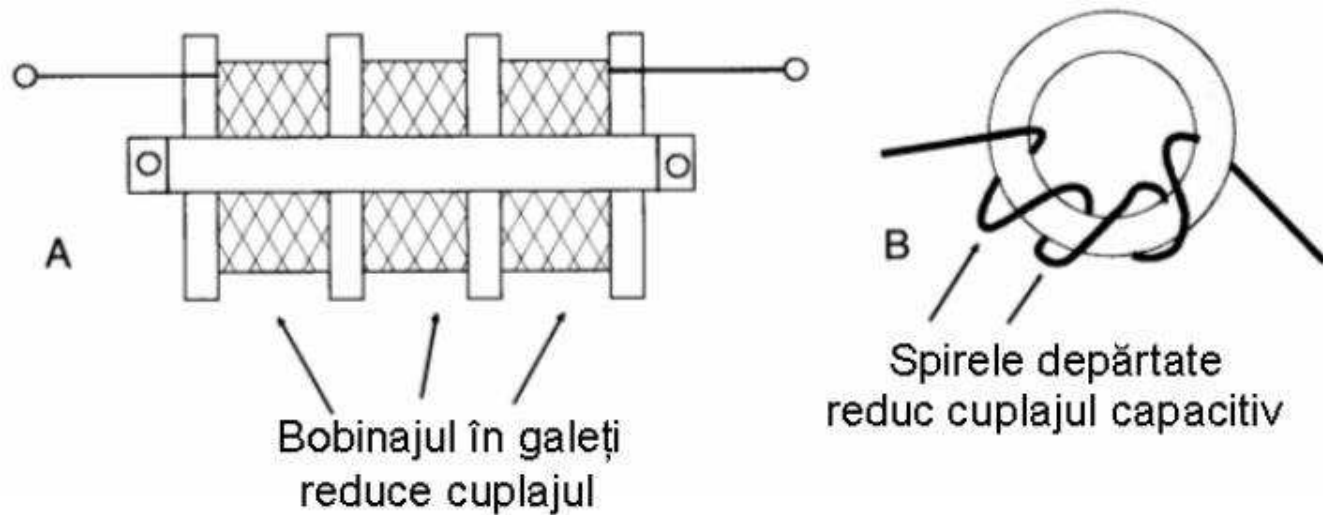


Bobina

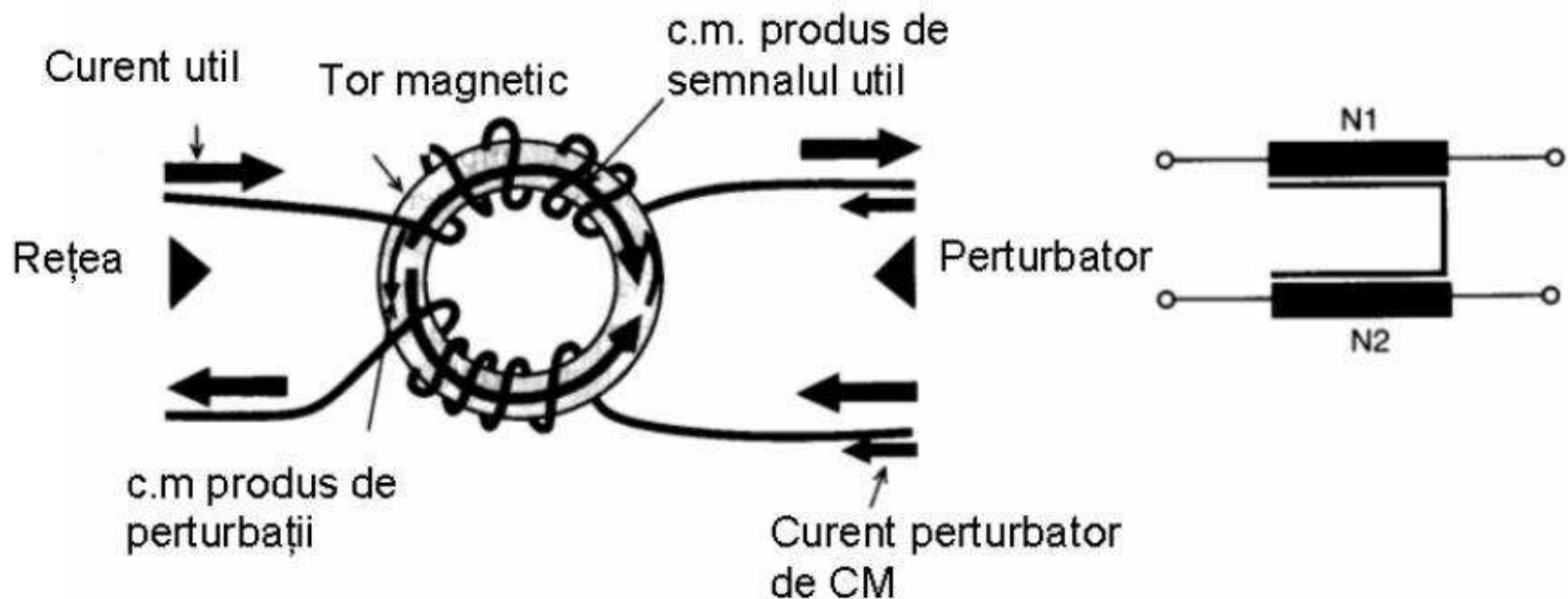




Impedanța unei bobine reale



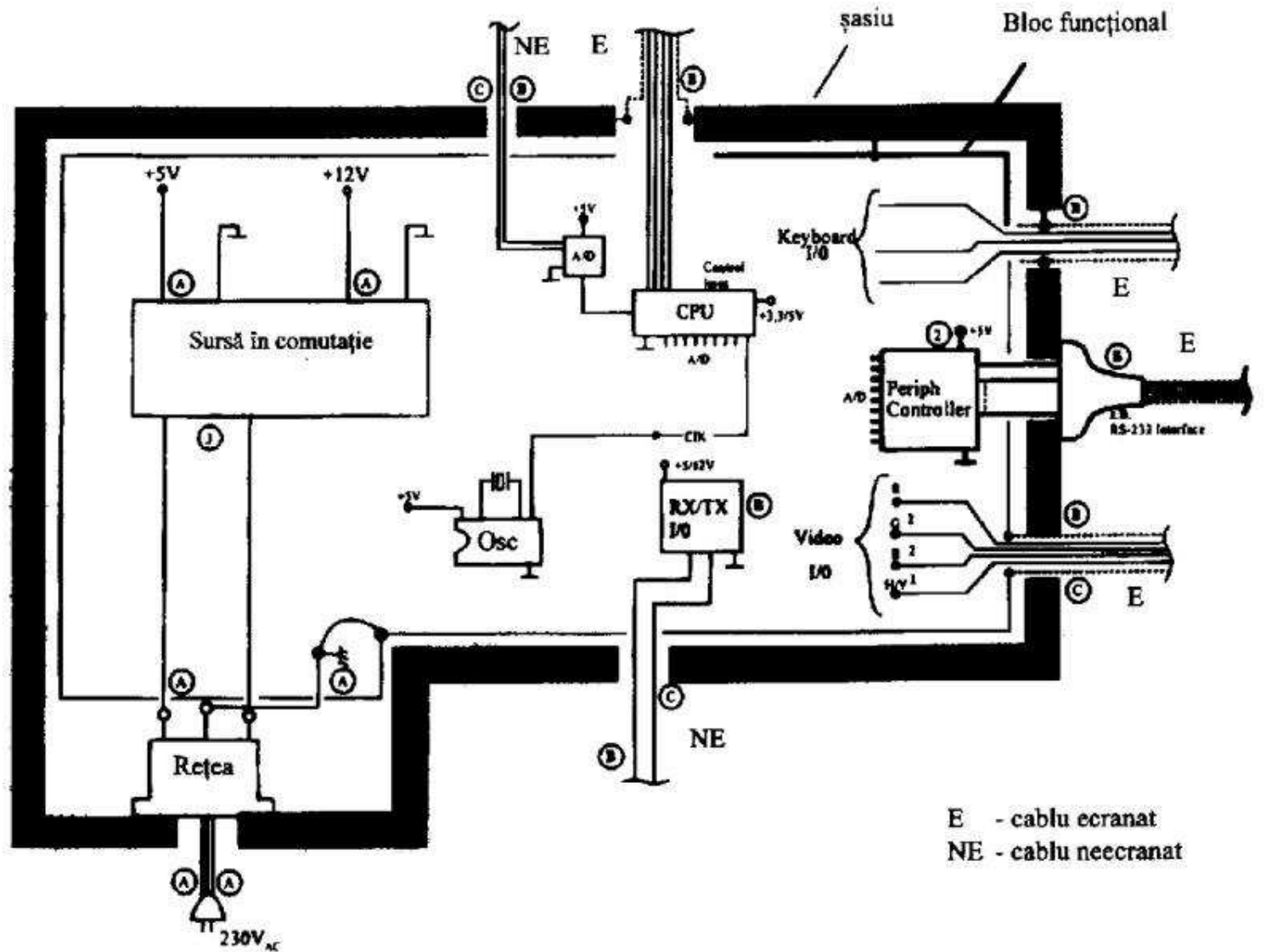
Filtru pentru CM



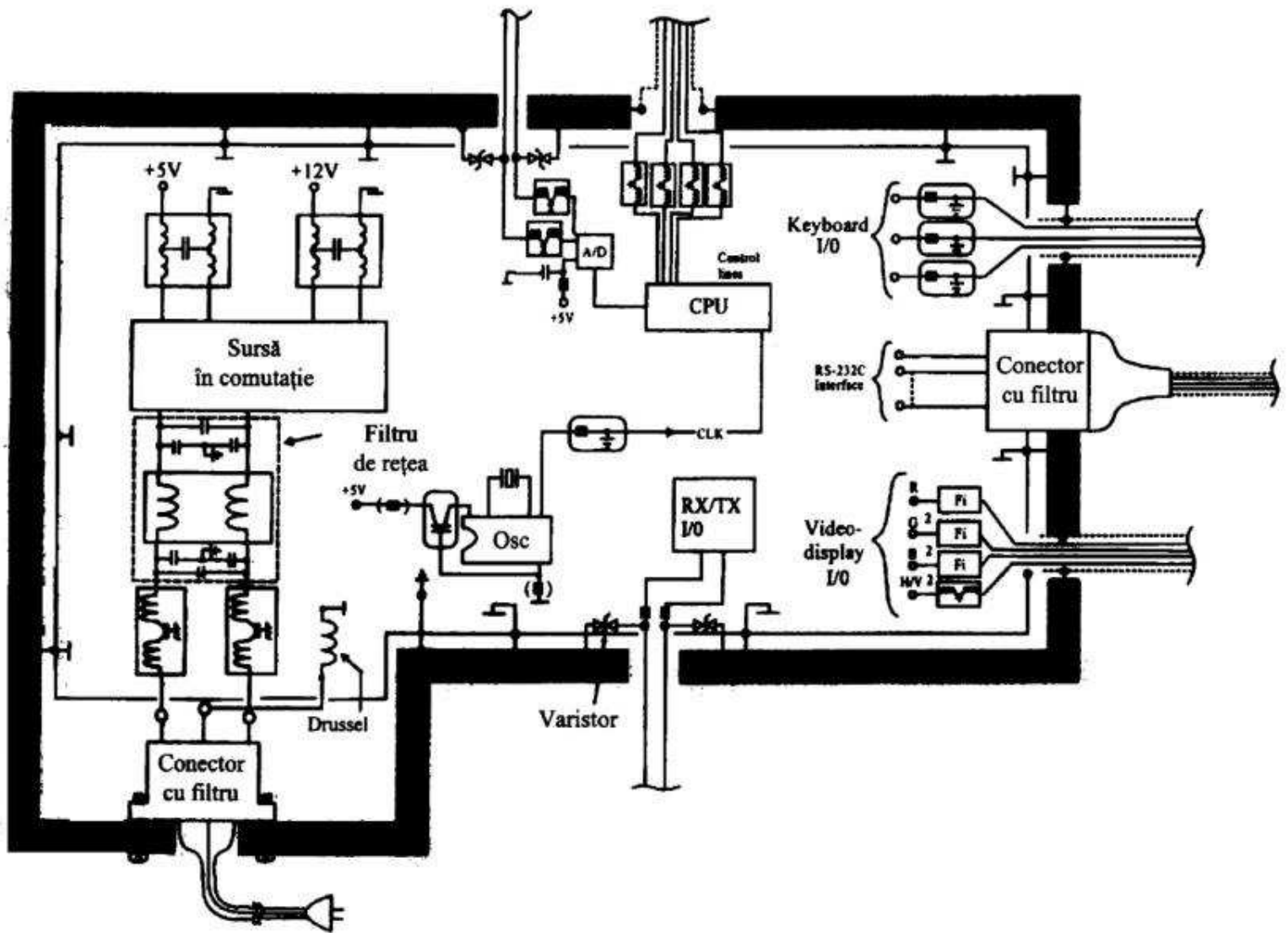
- **Condensatoare C_x** **L-N**
 $C_x > 100\text{nF} \dots 500\text{nF}$
- **Condensatoare C_y** **L-PE și N-PE**
 $C_y < 10\text{nF}$

Șuntează izolația aparatului

$$I_{iz} < 0,75\text{-}3,5\text{mA}$$

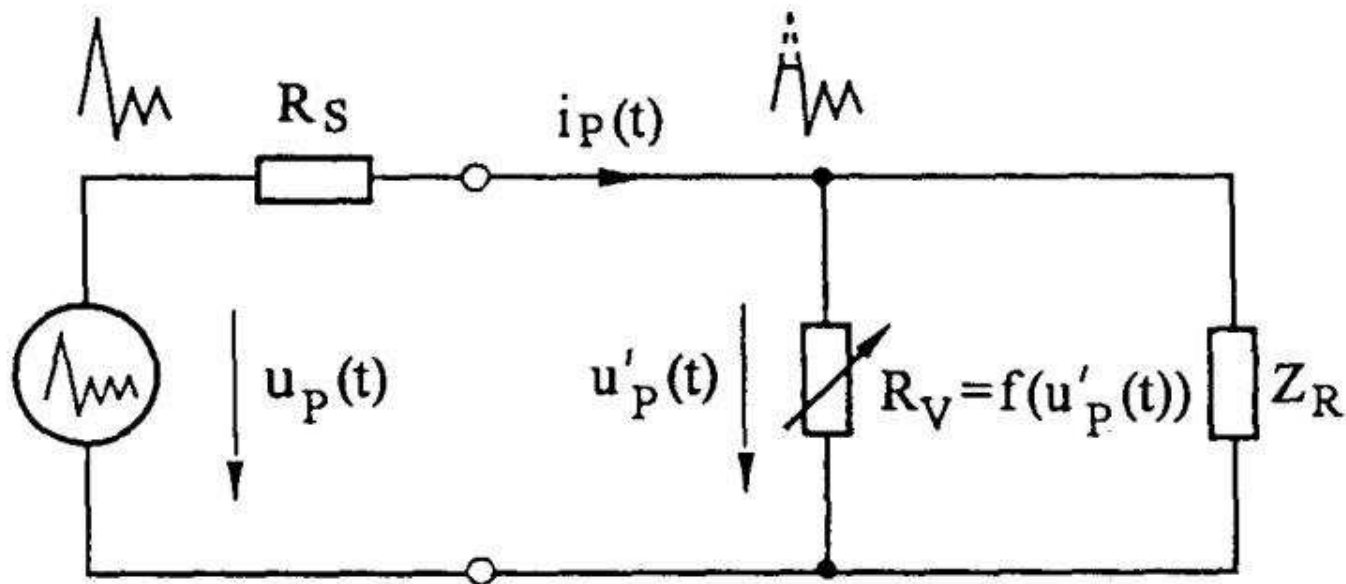


Schema bloc a unui microcontroller



Compatibilizarea unui microcontroller

LIMITATOARE DE SUPRATENSIUNI



$$u'_P(t) = u_P(t) - i_P(t)R_S$$

Tipuri constructive



Varistoare - Eclatoare - Diode în avalanșă

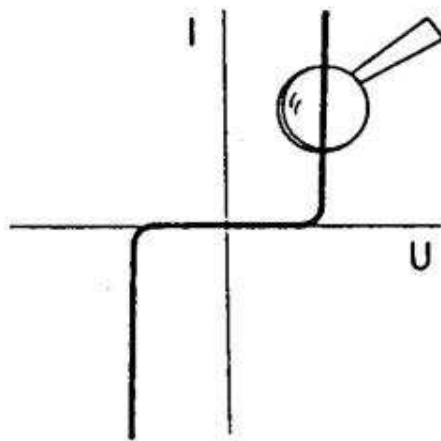
VARISTOARE

- soft limiter

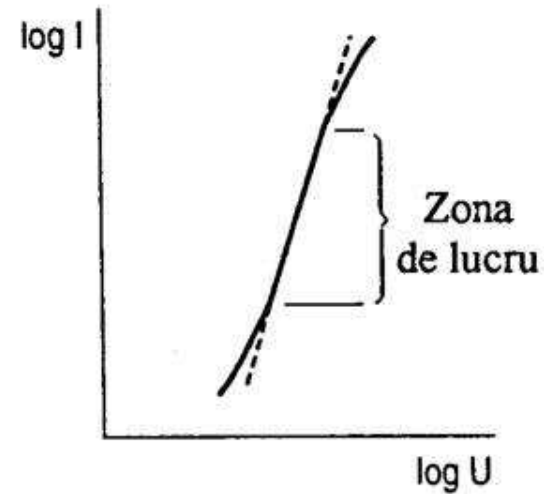
$$I = KU^\alpha$$

$$\alpha > 25 \quad (\text{ZnO})$$

$$\alpha \sim 5 \quad (\text{SiC})$$



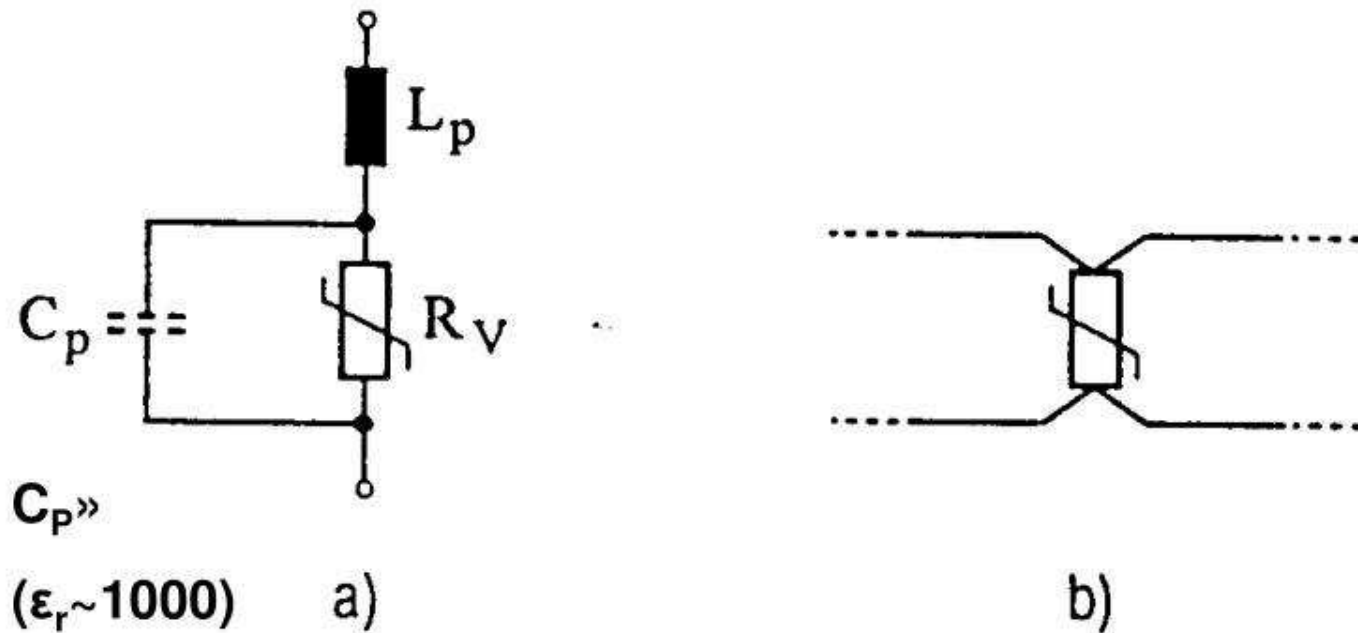
a)



b)

Caracteristici curent - tensiune la varistoare

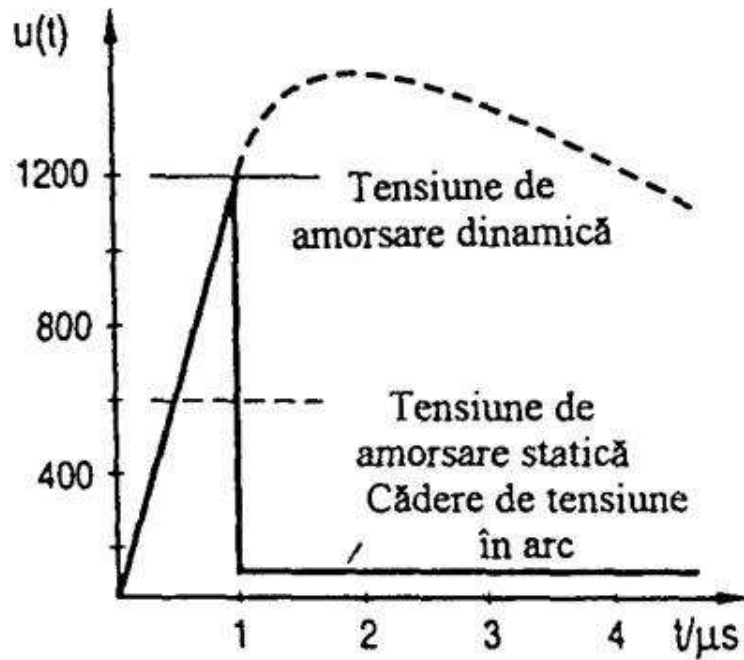
$$R = \frac{U}{I(U^\alpha)} = \frac{U}{K \cdot U^\alpha} = \frac{1}{K} U^{1-\alpha}$$



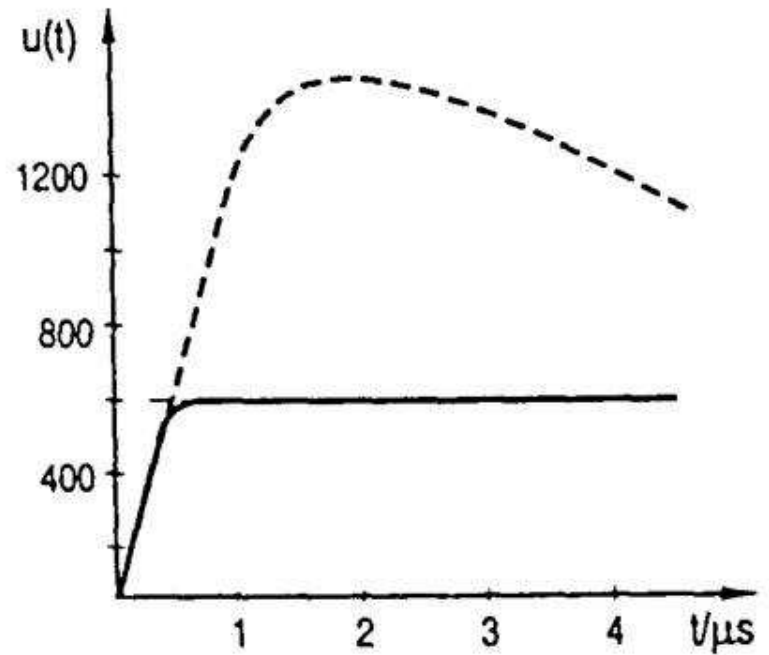
Schema echivalentă a unui varistor

ECLATOARE

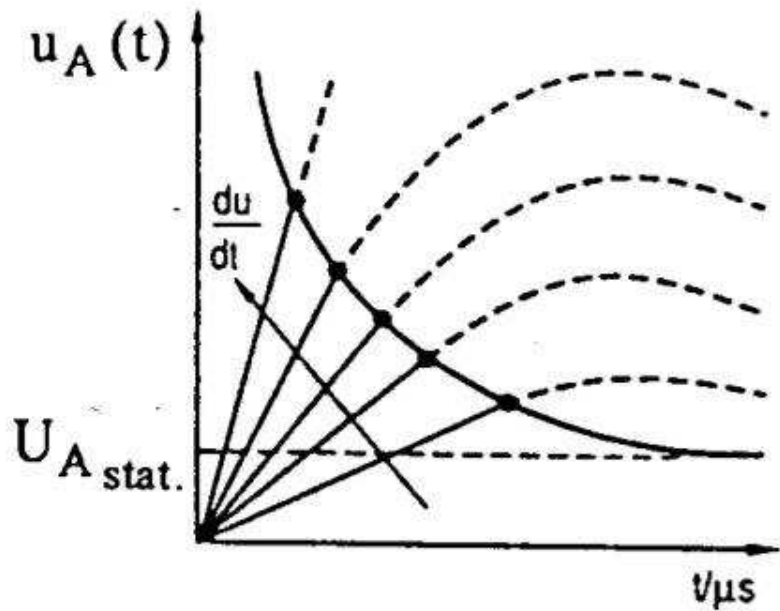
- hard limiter



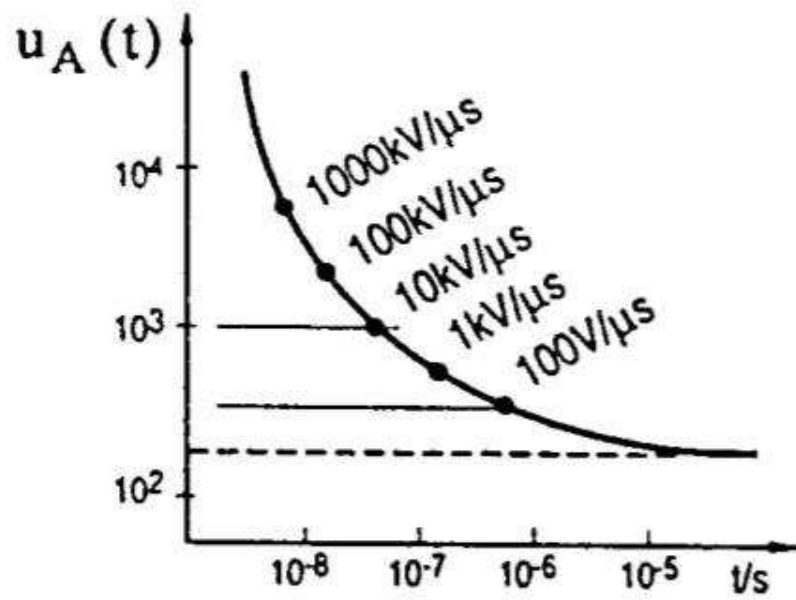
a) Eclator



b) Varistor

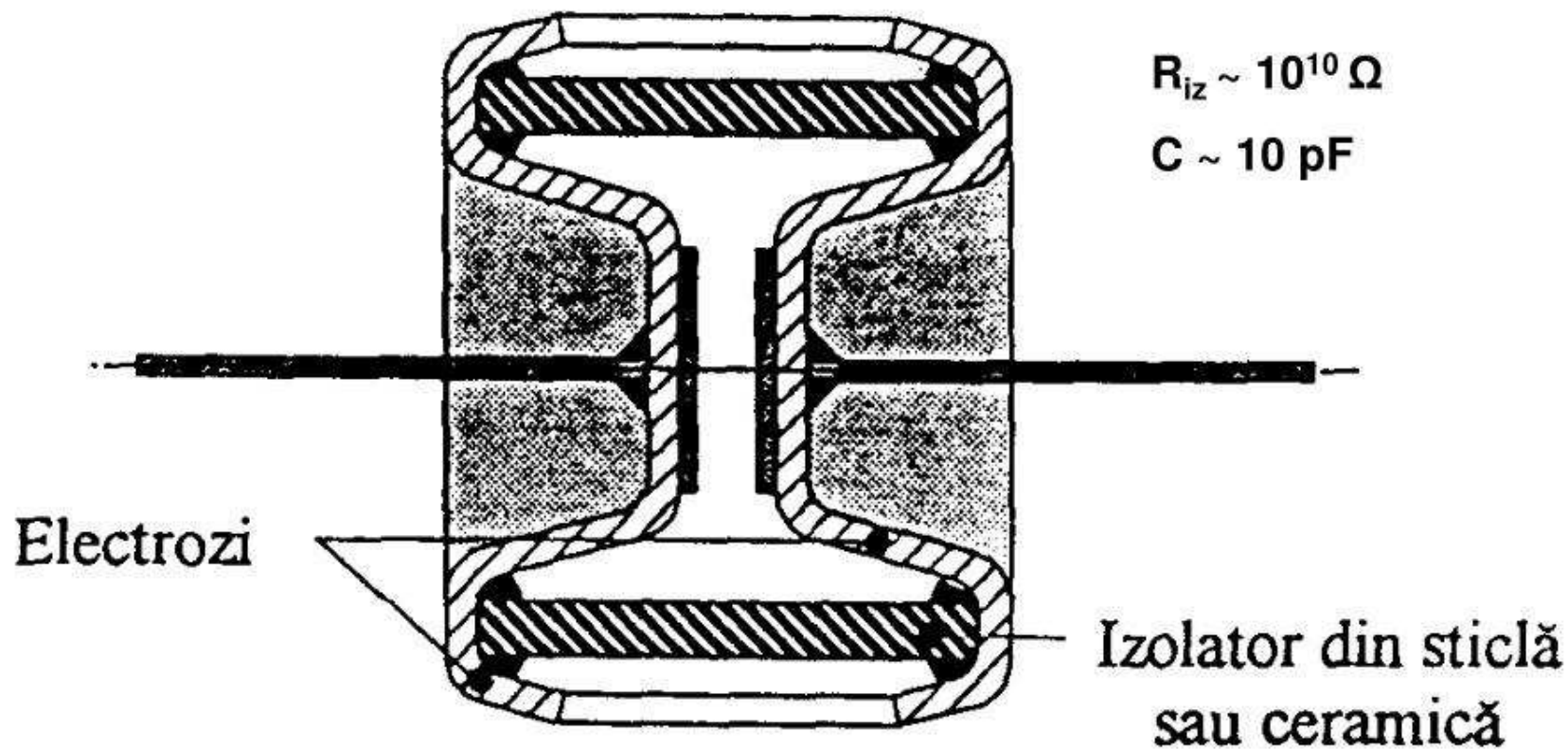


a)



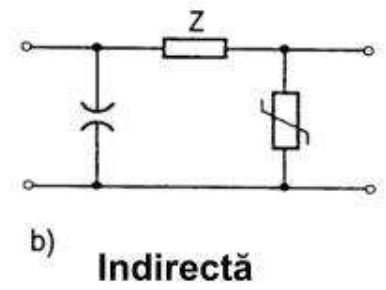
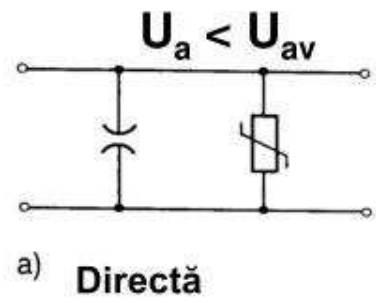
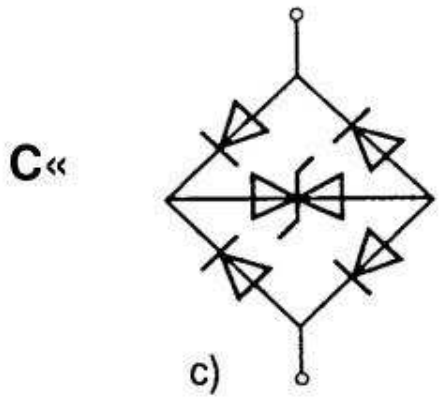
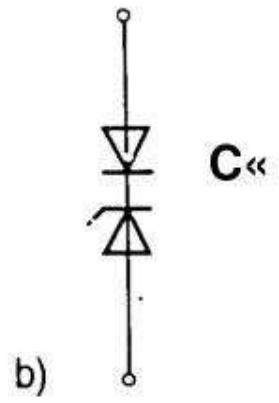
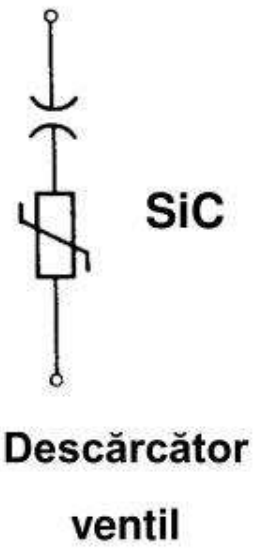
b)

Caracteristica volt-secundă



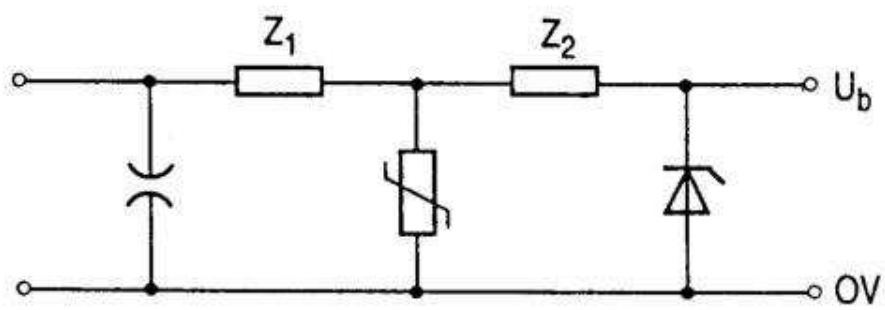
Eclator cu gaz inert

Scheme hibride



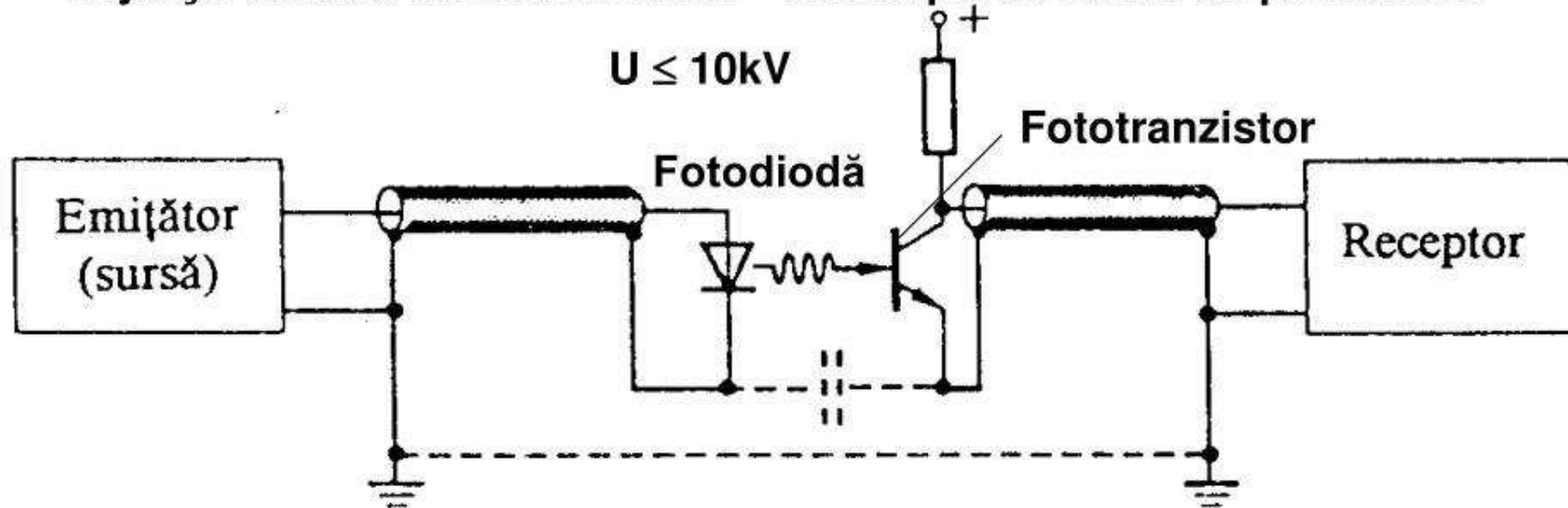
Conectare în serie

Conectare în paralel



Optocuploare și cabluri din fibră optică

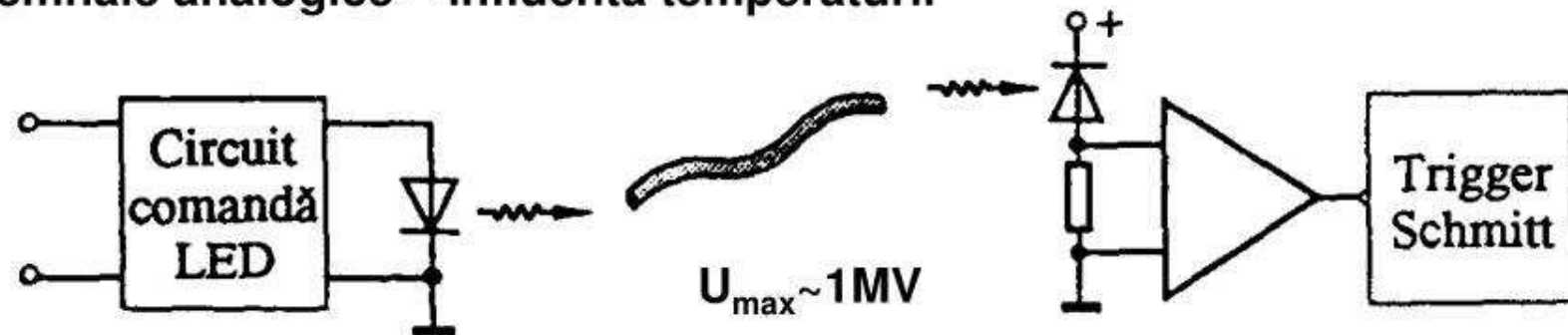
Rejecție înaltă a modului comun – intreruperea buclei de pamantare



Transmisie prin optocuplor

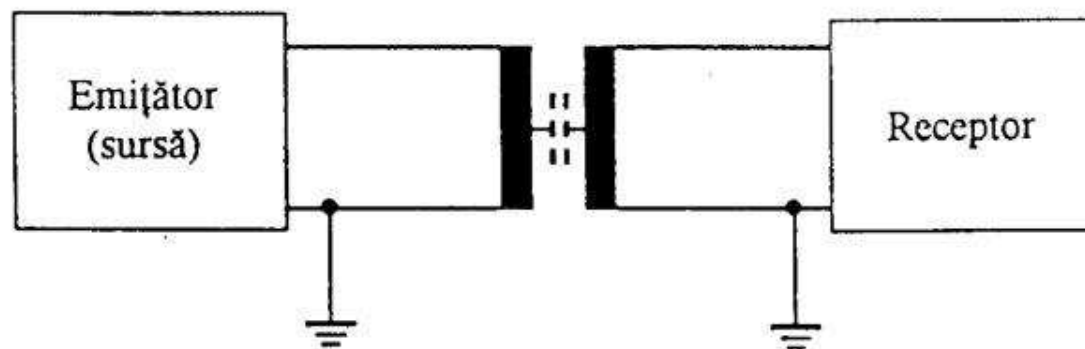
Semnale numerice – ideal

Semnale analogice – influenta temperaturii

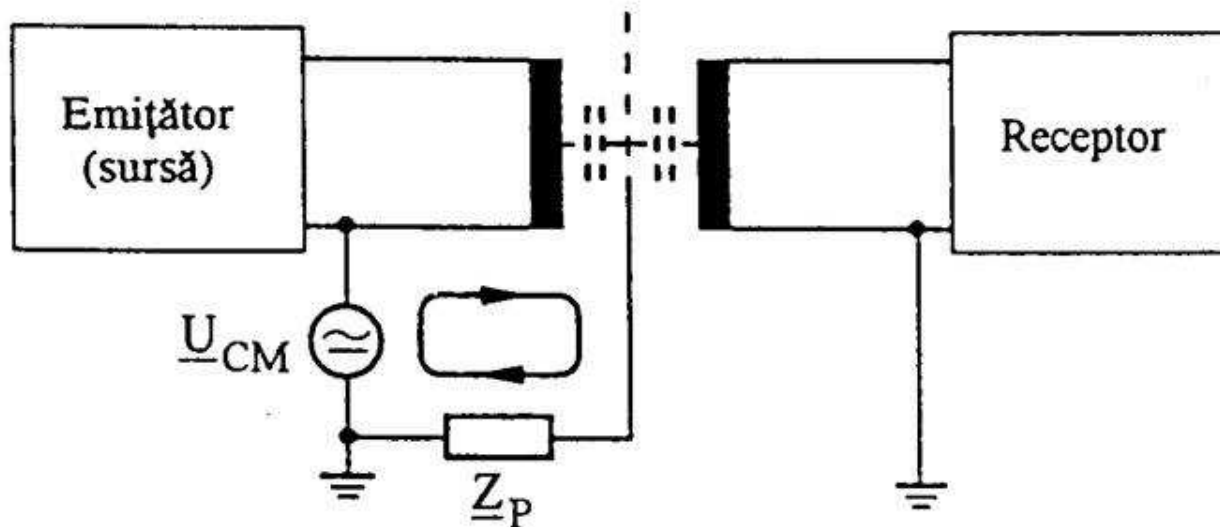


Transmisie prin fibră optică

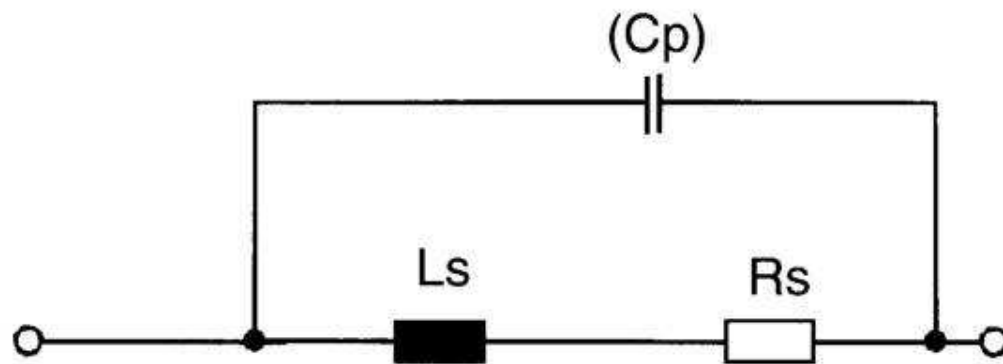
Transformatoare de separare/izolare



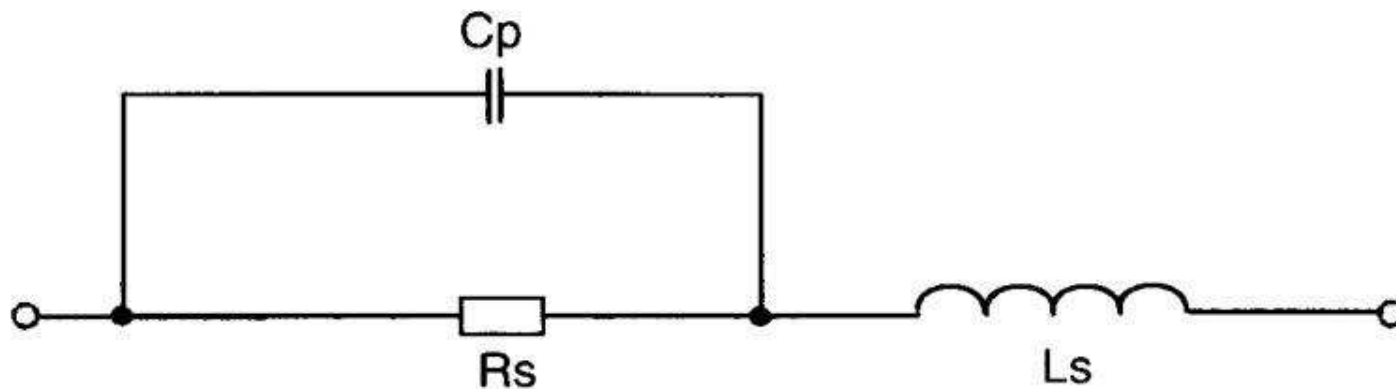
Principiul separării galvanice a circuitelor de c.a.



Reducerea cuplajului prin ecranare



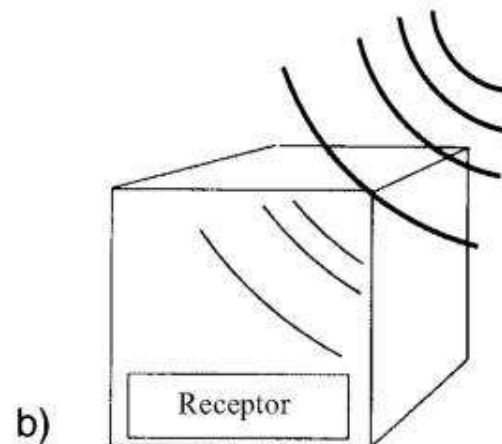
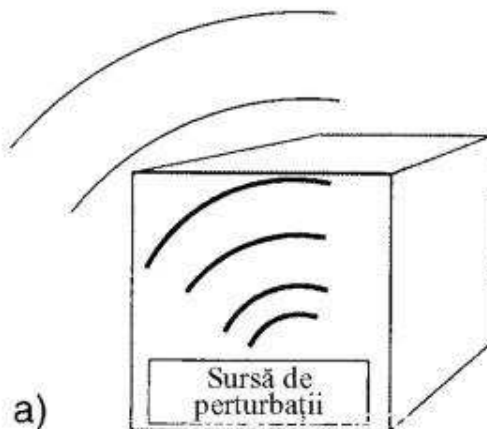
Inel de ferită



Rezistență

Ecrane electromagnetice

1. Natura efectului de ecran



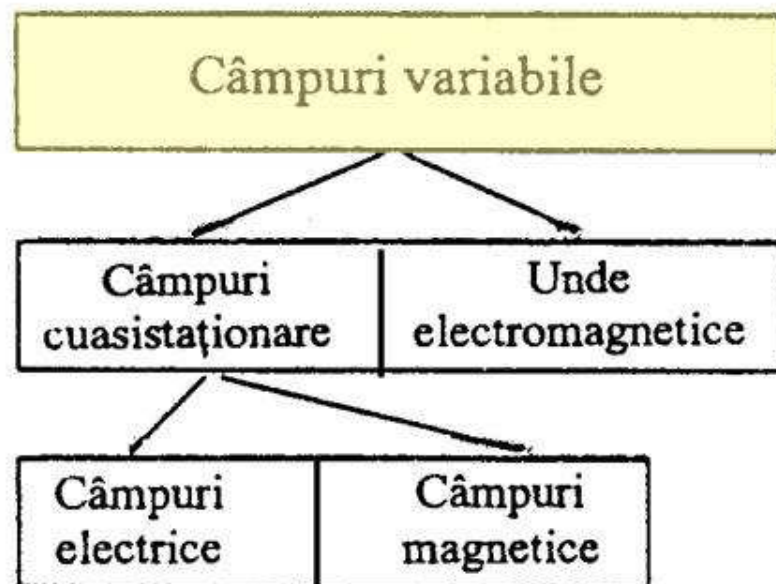
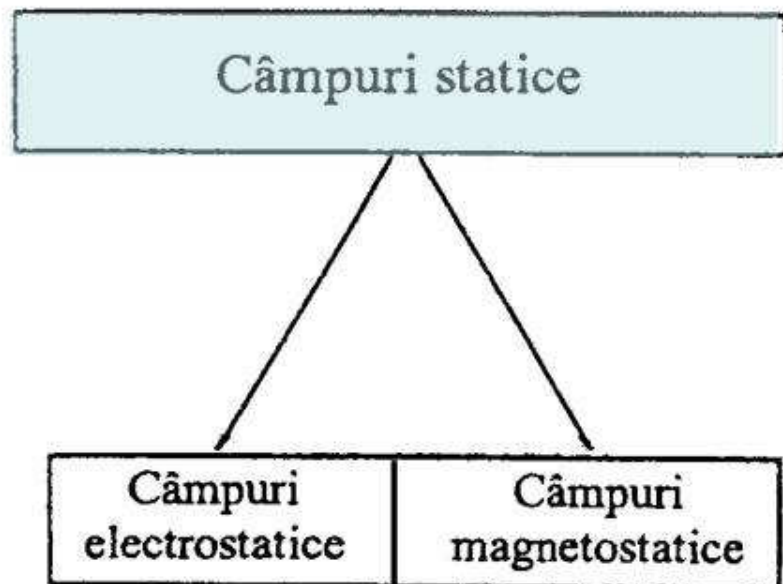
Reciprocitatea efectului de ecranare

➔ Factorul de ecranare Q

$$Q = \frac{H_i}{H_e} \quad \text{sau} \quad Q = \frac{E_i}{E_e}$$

➔ Factorul de atenuare al ecranului a_s

$$a_s = 20 \log \frac{1}{Q} \quad [\text{dB}]$$

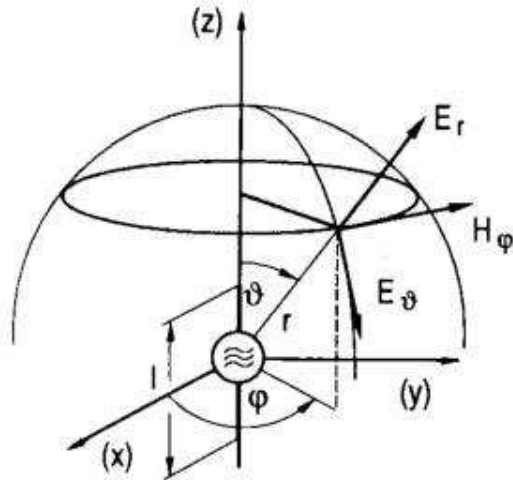


Clasificarea câmpurilor electrice și magnetice

- $r \gg \lambda$: Zona depărtată \longrightarrow câmp electromagnetic (propagare)
- $r \sim \lambda$: Zona de tranziție
- $r \ll \lambda$: Zona apropiată \longrightarrow câmp cuasistaționar (fix în spațiu)

Exemplu

Dipolul Hertz în coordonate sferice

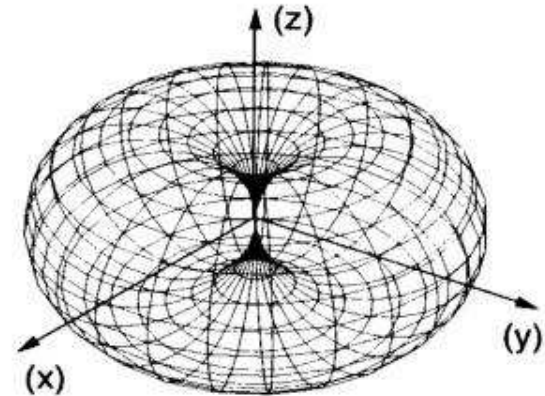


a)

- Zona depărtată $r \gg \lambda$

$$\frac{E_\theta}{H_\phi} = Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0} = 377\Omega$$

Z_0 =impedanța de undă a vidului



b)

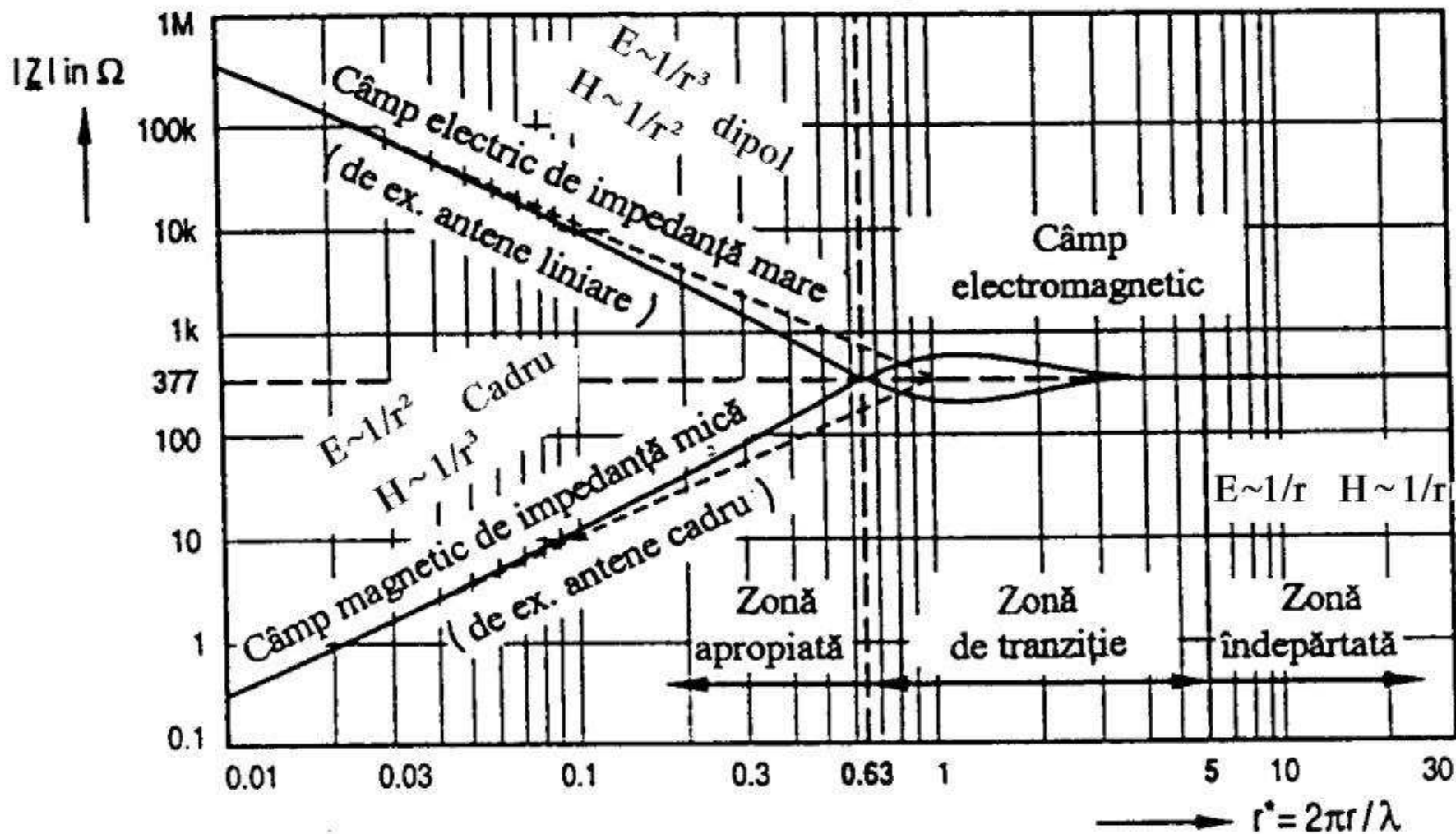
- Zona apropiată $r \ll \lambda$

$$|Z_{0E}| \gg Z_0$$

Similar pentru antena cadru (dipolul Fitzgerald)

$$|Z_{0H}| \ll Z_0$$

Impedanțele de undă ale câmpurilor produse de antene în funcție de distanța normală față de sursă



2. Ecranarea câmpurilor statice

→ Câmpuri electrostatice

$$a_s^E = \infty$$

Pentru orice corp conductor gol în interior indiferent de formă (Cușca Faraday)

→ Câmpuri magnetostatice

- Corp metalic nemagnetic

$$a_s^H = 0$$

- Corp metalic magnetic

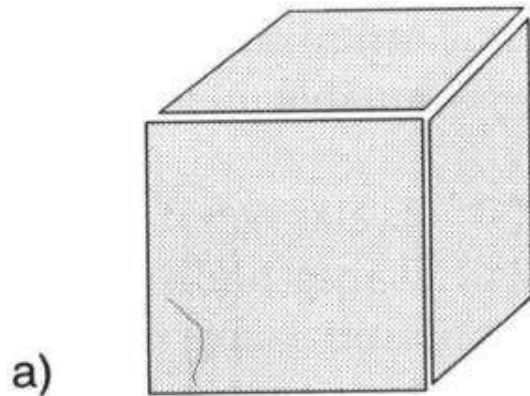
$$a_s^H \neq 0$$

3. Ecranarea câmpurilor cuasistaționare

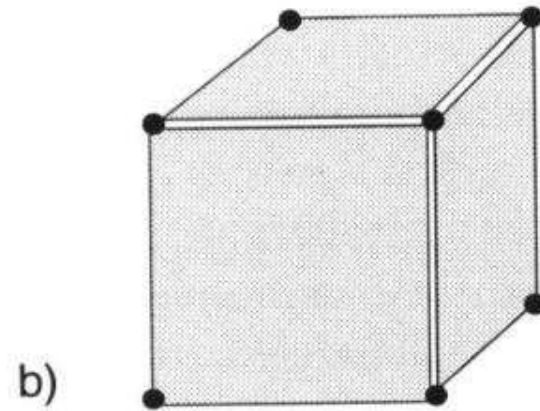
➔ Câmpuri electrice cuasistaționare

$$a_S^E \rightarrow \infty$$

pentru corpuri metalice cu pereți în contact



a) ineficient



b) eficient

Atenție la efectul interstițiilor când $f \nearrow$

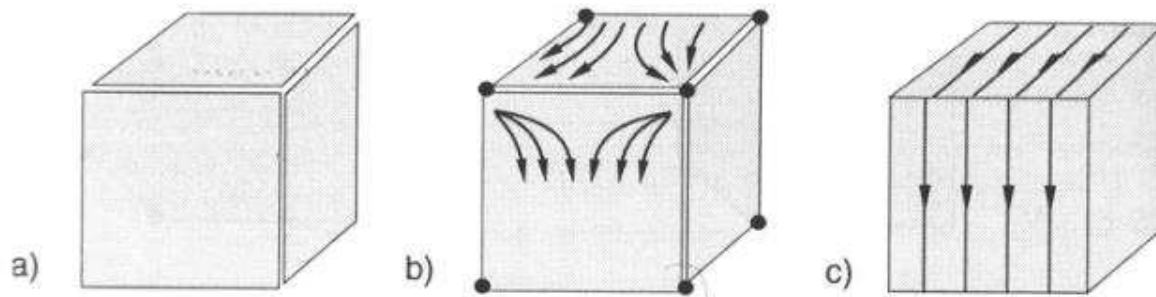
➔ Câmpuri magnetice cuasistaționare

Efectul de ecran apare datorită curenților induși în pereții ecranului care creiază un c.m. (câmp de reacție) care se opune câmpului magnetic care l-a produs.
Ca rezultat în interiorul incintei apare un câmp rezultat mai mic

$$a_s^H \neq 0$$

Valoarea depinde de:

frecvență - grosime perete - conductivitate- permeabilitate - geometrie



Efectul de ecranare față de câmpurile magnetice cuasistaționare:

- a) ineficient
- b) eficiență redusă
- c) optimal (cu garnituri de etanșare electromagnetică sau sudură continuă)

4. Ecranarea câmpurilor nestaționare

Pe lângă câmpul magnetic de reacție aici apare și un câmp electric de reacție.

➔ **Cauza:** La creșterea frecvenței, curentul de deplasare nu mai poate fi neglijat.

➔ **Efect specific:** radiația orificiilor, îmbinărilor și decupărilor practicate în ecran. Incintele ecranate se comportă la frecvențe înalte ca rezonatoare de volum (ghiduri de undă).
O cavitate goală ($a \times b \times c$) prezintă o serie de frecvențe de rezonanță (reduceri de atenuare uneori până la amplificare)

$$f_o = 150 \sqrt{\left(\frac{k}{a}\right)^2 + \left(\frac{l}{b}\right)^2 + \left(\frac{m}{c}\right)^2} \quad [\text{MHz}, \text{m}]$$

k, l, m - moduri proprii (numere întregi)

5. Materiale pentru ecrane

➔ **Materiale care prezintă o conductivitate suficient de mare sau care sunt în stare să creeze câmpuri de reacție suficient de intense.**

$$f < 100 \text{ kHz}$$

$$f > 200 \text{ kHz}$$



Cu ($\delta > g$)



Fe ($\delta < g$)

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \sigma \mu}} = \text{adâncimea de pătrundere a câmpului em}$$

➔ **Alte materiale :**

- Materiale plastice conductoare
- Materiale plastice metalizate

6. Etanșări electromagnetice pentru îmbinări

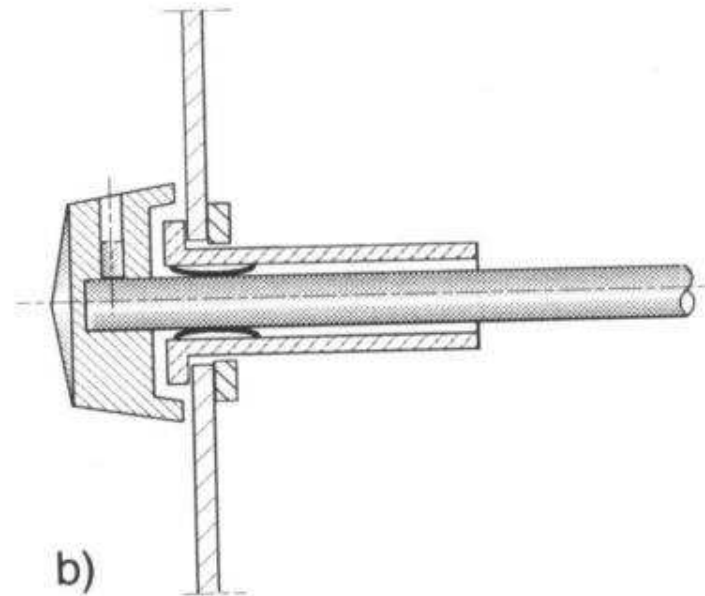
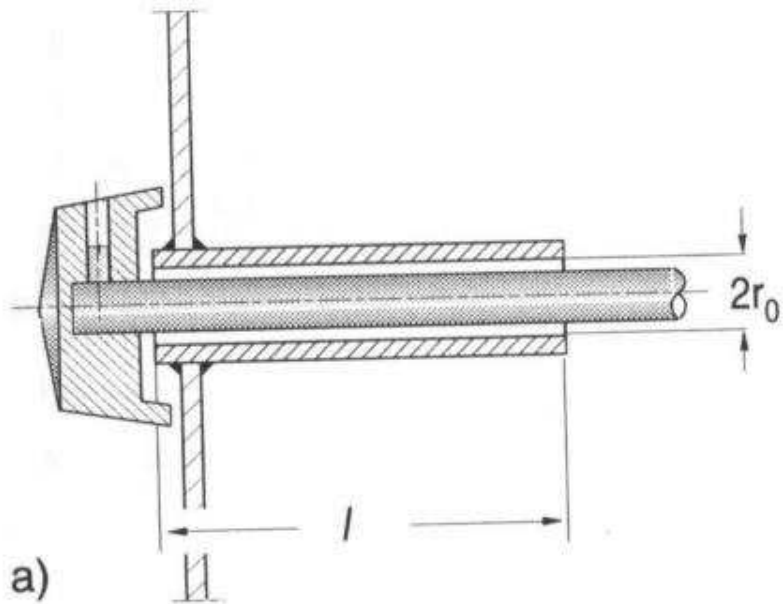
➔ **Principiu:** șuntarea (scurtcircuitarea) unui interstițiu din ecran printr-o rezistență ohmică repartizată și o grosime cât mai mică.

➔ **Imbinarea trebuie să fie elastică**

7. Străpungeri tehnologice ale ecranelor

Folosirea ghidurilor de undă (tuburi metalice) pentru

$$f < f_{t_0}$$

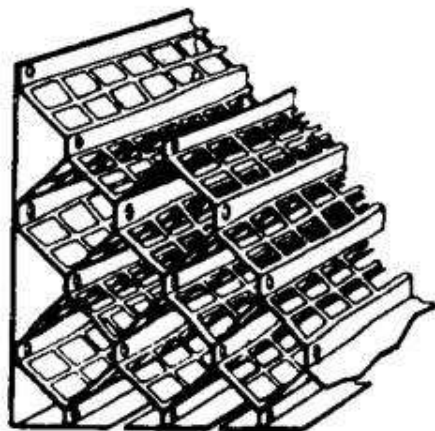


$$f_{t_0} = \frac{8,2}{r_0} \quad [\text{cm, GHz}]$$

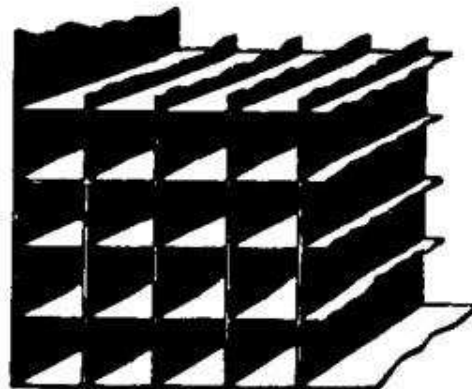
$$a_s^{\text{tub}} = 1,84 \frac{l}{r}$$

→ **Folosirea fagurilor** realizați din mai multe tuburi sudate amplasate unul lângă altul.

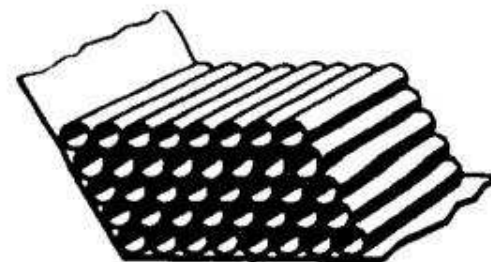
Scop: realizarea deschiderilor pentru ventilație.



1000 MHz



10 000 MHz



35 000 MHz

→ **Perforații**

În special la aparatura de măsurare.

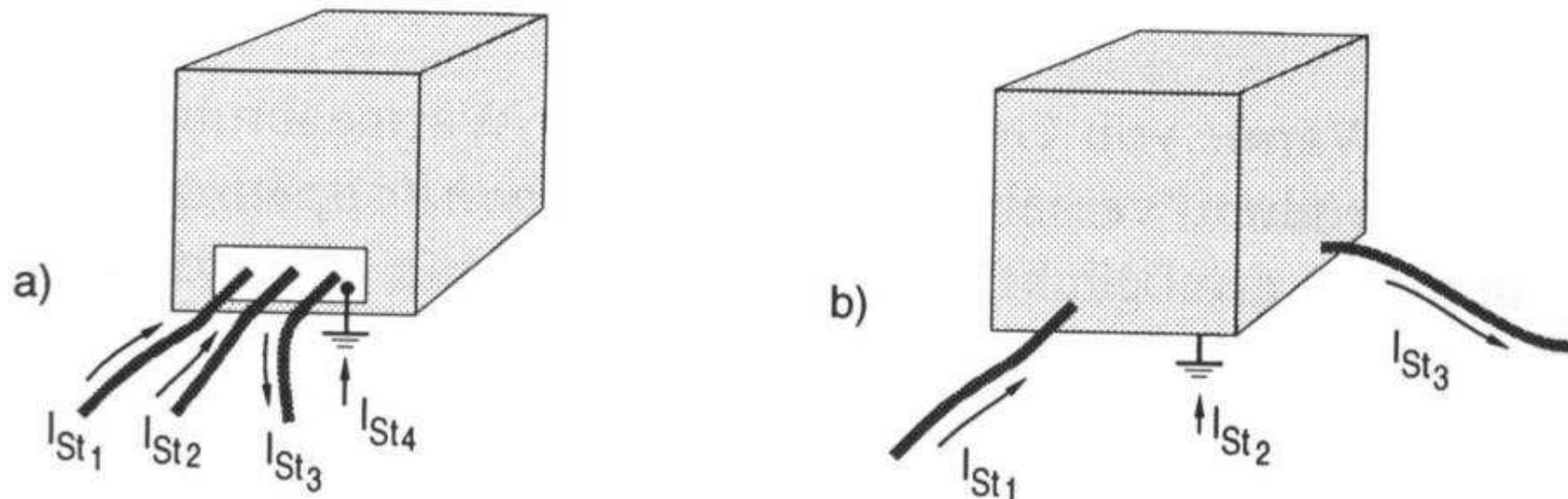
$$p = \frac{n\pi r_0^2}{A}$$

p - gradul de perforare, n - nr. de perforații; A - suprafața totală perforată

Pentru p dat : $a_s \searrow$ când $r_0 \nearrow$

➔ Pătrunderea cablurilor în incinte ecranate

- Numai cabluri ecranate (măsură)
- Numai tensiuni filtrate (forță)



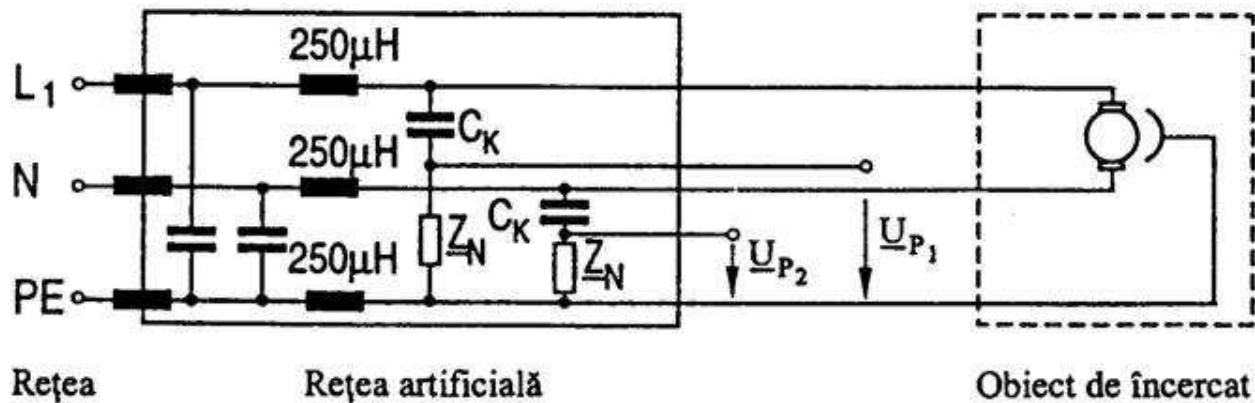
8. Încăperi ecranate. Încăperi ecranate fără reflexii

$$a_S \leq 100 \text{ dB}$$

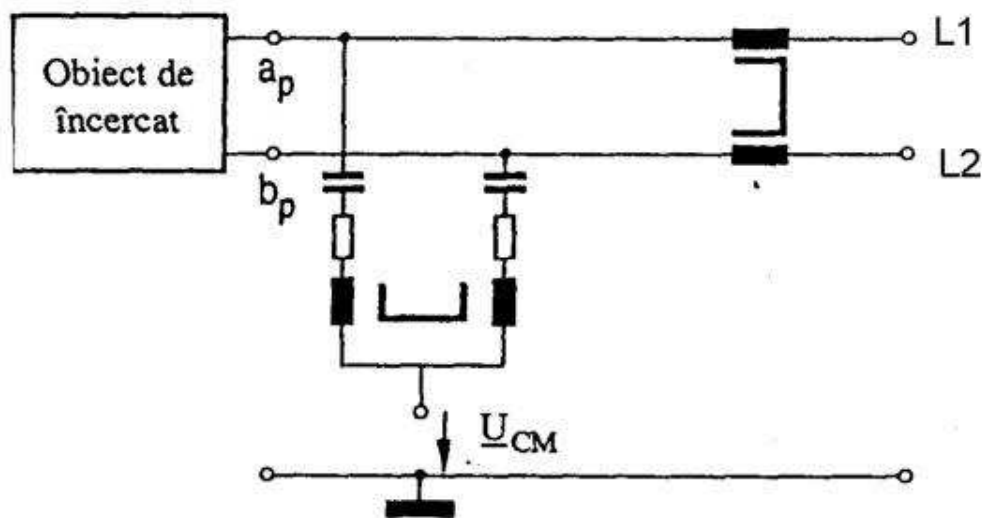
- construcție complet sudată
- construcție din panouri prefabricate cu garnituri de etanșare
- materiale absorbante pentru evitarea reflexiilor produse de pereți (ferite, piramide din spumă poliuretanică, combinații ale acestora)

Tehnica măsurării emisiilor perturbatoare

1. Măsurarea U

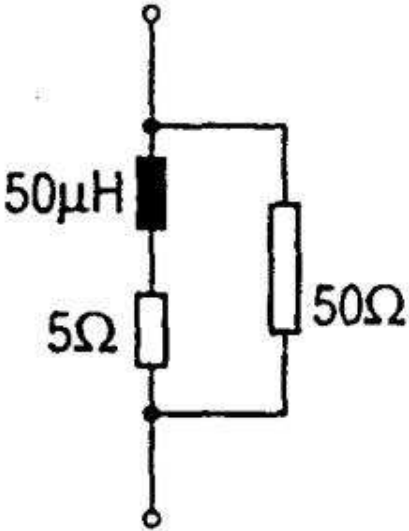


Rețea artificială în V (LISN) pentru tensiuni nesimetrice

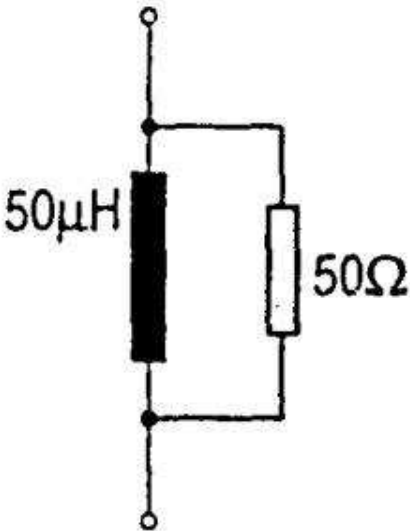


Rețea artificială în T pentru U_{CM} circuite simetrice

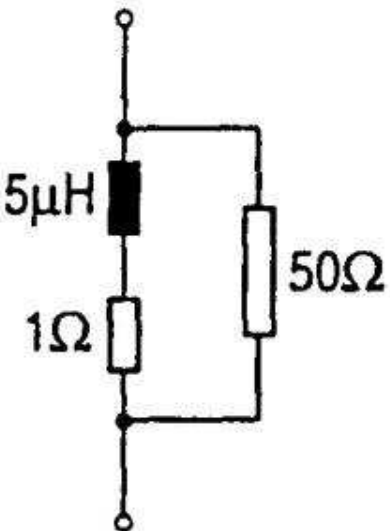
Exemple de impedante Z_N



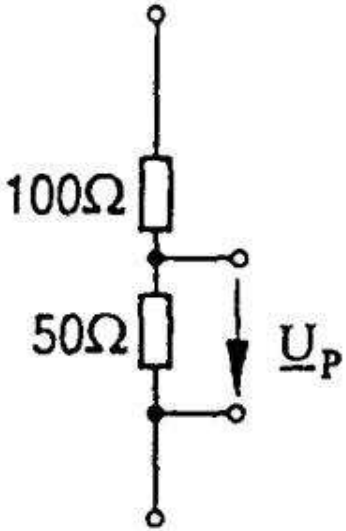
retea JT



retea ind.

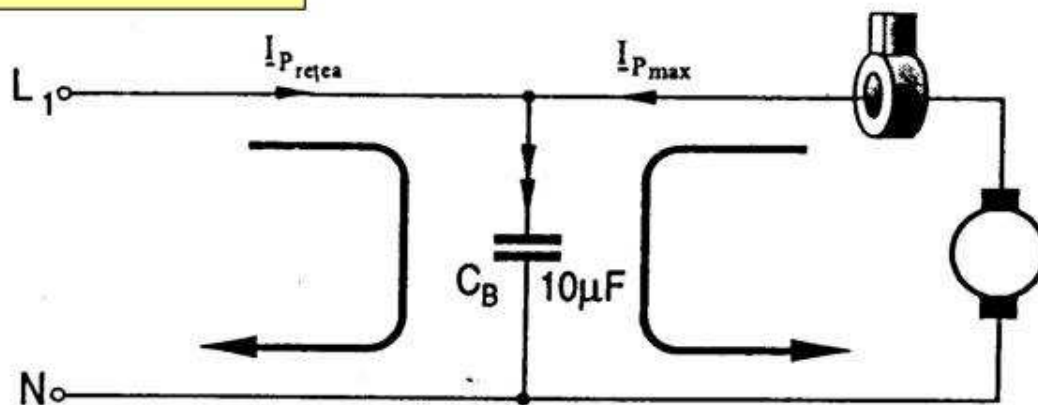


retea bord



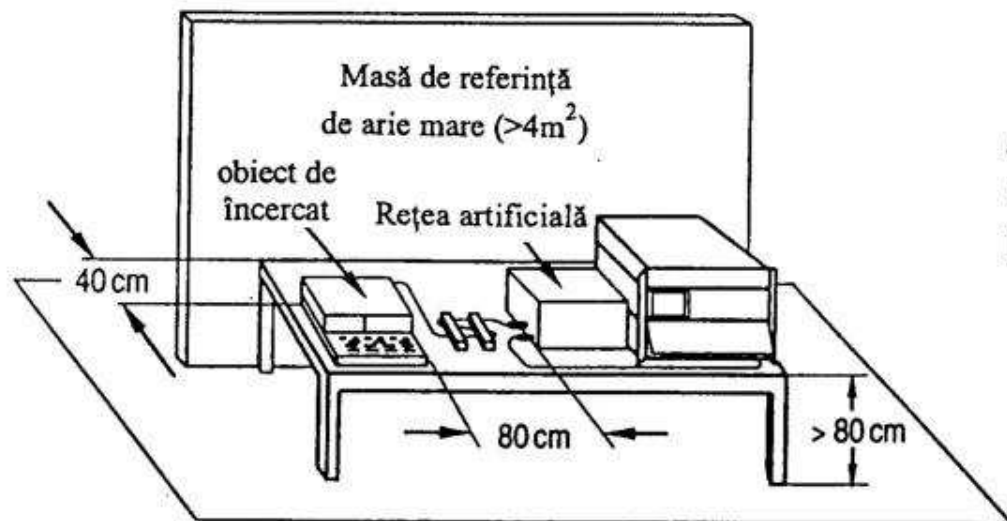
retea 150Ω

2. Măsurarea i



$$Z_{TC} = \frac{U_p(\omega)}{I_p(\omega)} = \text{func\c t\i e de transfer}$$

$$U_p(\omega) = I_p(\omega) \cdot Z_N(\omega)$$

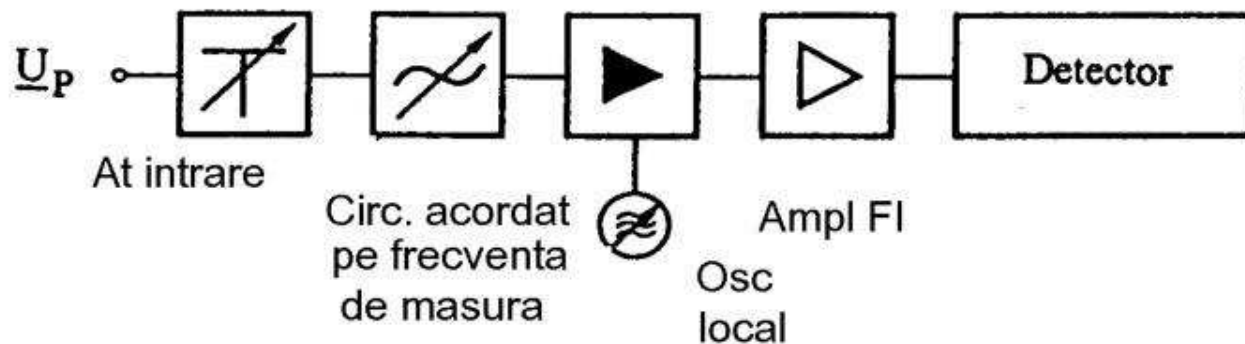


Amplasare tipic\u0103 a echipamentului pentru m\u0103surarea emisiilor perturbatoare transmise prin conduc\c tie

Aparate pentru măsurarea perturbațiilor electromagnetice

Schema de principiu a unui receptor de perturbații

- voltmetru selectiv -



Detector valoare de vârf

