

Capitolul 4
Protecția în conducție
PROTECȚIA ÎN CONDUȚIE

Subiecte

- 4.1. Filtre pentru căile de semnal**
- 4.2. Filtre de rețea**
- 4.3. Limitatoare de supratensiuni**
- 4.4. Pământul de protecție**
- 4.5. Mase**
- 4.6. Cablarea echipamentelor**

Evaluare: 1. Răspunsuri la întrebările și problemele finale
2. Discuție pe tema: "Asigurarea protecției în conducție a echipamentelor electronice"

4.1. Filtre pentru căile de semnal

În afara semnalelor utile, pe căile de semnal, pot circula și semnale parazite "de la" sau "spre" echipament și din această cauză, majoritatea problemelor CEM sunt cele de realizare a *protecției în conducție*. Aceasta simplifică într-un fel rezolvarea problemelor CEM, deoarece este mai ușor de adăugat un dispozitiv de protecție pe un cablu decât de modificat ecranarea unor blocuri sau subsansabluri. Modul de realizare a conexiunilor și a traseelor, tipurile de cabluri folosite și conectarea acestora, poate contribui într-o măsură foarte mare la realizarea protecției în conducție. Protecția în conducție conduce, în primul rând, la protejarea circuitelor din aval.

Filtrele sunt blocuri electrice sau electronice care prelucrează în mod diferențiat semnalele dintr-o gamă de frecvențe, rejectând o parte considerată inutilă a spectrului. După modul de lucru, filtrele pot fi cu pierderi mici - când funcționează prin *neadaptare* (echivalentul reflexiei) sau filtre cu pierderi mari - când funcționează pe principiul *disipării* (echivalentul absorbției); pentru filtrele care funcționează pe principiul neadaptării, energia se disipă înspre sursa de energie.

În CEM prezintă importanță cât este valoarea impedanțelor în aval și în amonte față de filtru, impedanțe care contribuie în mare măsură la stabilirea performanțelor filtrului. Din această cauză, filtrele se caracterizează prin *atenuarea de inserție* care este diferită de "funcția de transfer" a filtrului.

Filtrele pot fi *pasive* sau *active*; cele mai simple filtre pasive sunt de ordinul I (de tip RC), care funcționează pe principiul disipării, sau de ordinul II (de tip LC), pe principiul neadaptării; prin compunerea acestora rezultă filtre de ordin superior. După *banda de frecvențe* în care semnalul este lăsat să treacă sau este rejectat, filtrele pot fi:

- filtre trece - jos (FTJ),
- filtre trece - bandă (FTB),
- filtre oprește - bandă (FOB),

Capitolul 4
Protecția în conducție

- filtre trece - sus (FTS).

În funcție de aplicație se alege tipul de filtru dorit. Filtrele se pot folosi atât pe calea de semnal, cât și pe circuitele de alimentare, semnalizare sau măsurare.

Filtrele de tip trece-jos (FTJ) sunt cele mai folosite filtre în CEM, în figura 4.1 indicându-se două soluții constructive. În afara filtrelor Γ , mai utilizate în practică filtrele în T sau în Π .

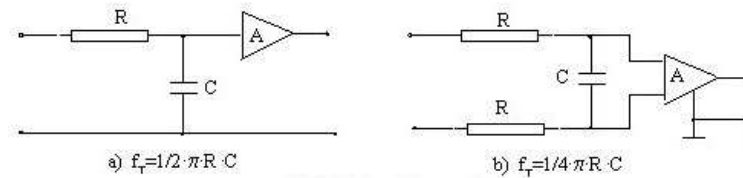


Fig.4.1. Filtre de tip trece-jos

Pentru eliminarea perturbațiilor de înaltă frecvență se recomandă ca atât intrările, cât și ieșirile analogice ale echipamentelor să fie filtrate cu filtre de tip trece-jos.

Pentru FTJ de tip LC, principalele cazuri întâlnite în practică sunt prezentate în figura 4.2. Comparația precizată - R_i , R_s - mici sau mari, se face pentru impedanța sursei/sarcinii comparativ cu reactanțele din filtru astfel încât să rezulte o neadaptare cât mai accentuată.

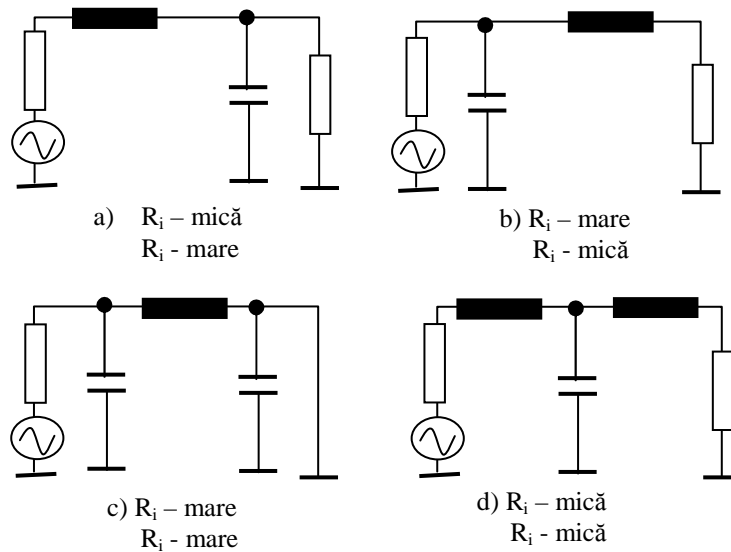


Fig.4.2. Filtre de tip LC

Filtrele care conțin inductivități în serie introduc în circuitele cu impedanță mică atenuări de ordinul a 40 dB, dar sunt practic inexistente în circuitele cu impedanță mare, pe când efectul capacităților este exact invers. Deoarece filtrele LC au proprietăți rezonante, la frecvența de rezonanță atenuarea de inserție se poate transforma în "câștig" de inserție. Totodată, din cauza elementelor parazite ale inductivităților și capacităților, frecvența maximă de lucru nu depășește 10 MHz.

Capitolul 4 Protecția în conducție

Filtrele de tip trece-sus (FTS) se folosesc la ieșirea cablurilor coaxiale de înaltă frecvență pentru rejectarea semnalelor de joasă frecvență; structura unui astfel de filtru este prezentată în figura 4.3, a cărui frecvență de tăiere este de 100 kHz, el rejectând, la 50 Hz, circa 120 dB. Trebuie reținut faptul că primul condensator din schemă trebuie să fie de tensiune ridicată, iar componentele folosite în schemă să aibă inductivități parazite cât mai reduse (pentru aceasta se folosesc condensatoare ceramice cu terminale cât mai scurte).

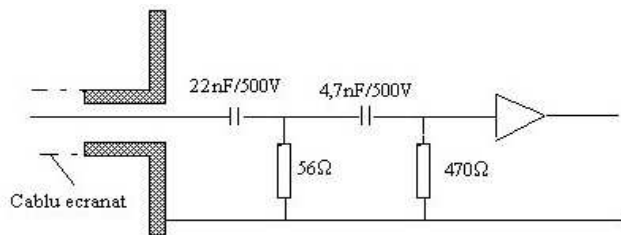


Fig.4.3. Filtru de tip trece-sus

Filtrele de tip trece-bandă (FTB), se pun la intrarea echipamentului în cazul receptoarelor, ori la ieșire în cazul emițătoarelor. Pentru aceste filtre se poate defini *factorul de formă* ca fiind raportul dintre banda de frecvențe a filtrului la o atenuare de - 60 dB și respectiv, banda de frecvențe a filtrului, la o atenuare de - 3 dB. Un filtru selectiv ideal are factorul de formă egal cu unitatea, unul cu caracteristică gaussiană, cuprins între 10 și 15 (teoretic 4,5), iar cele cu caracteristică „rectangulară” - valori cuprinse între 1,5 și 4.

Filtrele de tip oprește-bandă (FOB), rejectează semnalele dintr-o bandă de frecvențe; în CEM ele sunt folosite la frecvențe joase, în cele mai multe cazuri, acordate pe armonicele rețelei. Dacă se folosesc circuite LC serie pentru rejectia armonicelor rețelei, la frecvențe joase au o comportare capacitivă, ceea ce duce la creșterea tensiunii din rețea în momentul conectării (inclusiv apariția unor perturbații de tip sinus amortizat).

Frecvența de rezonanță a filtrelor de rejectie LC serie depinde de impedanța rețelei, de capacitatea acestuia, putând fi mult schimbată la conectarea unei baterii de condensatoare. Deoarece factorul de calitate nu este prea ridicat și banda de frecvențe este relativ mare, pentru componentele armonice superioare se poate folosi un singur filtru pentru rejectia mai multor componente armonice (de ex., componenta a 11-a și a 13-a), frecvența centrală fiind situată la mijlocul benzii.

O problemă importantă în CEM o reprezintă răspunsul filtrelor la impulsuri:

a) *Răspunsul filtrului trece-jos RC la impulsuri.* Un filtru trece-jos RC reprezintă un circuit integrator (fig. 4.4), care are frecvența de tăiere $f_0=1/(2\pi RC)$; dacă impulsul este scurt și $t_{0,5} \ll RC$, tensiunea de la bornele condensatorului este neglijabilă în raport cu căderea de tensiune de pe rezistența R și reprezintă

Capitolul 4
Protecția în conducție

integrala tensiunii aplicate la intrare. Rezultă că pentru impulsul trapezoidal din fig. 4.4, pe porțiunea 0 - t_1 , forma tensiunii de la bornele condensatorului este o parabolă, pe $t_1 - t_2$, o dreaptă, pe $t_2 - t_3$, o parabolă, iar pe $t_2 - \infty$, o exponențială. Pentru simplificare, se poate considera că porțiunea 0 - t_2 este liniar variabilă, iar pe $t_2 - \infty$, este exponențială. În aceste condiții, tensiunea maximă de la bornele condensatorului va fi:

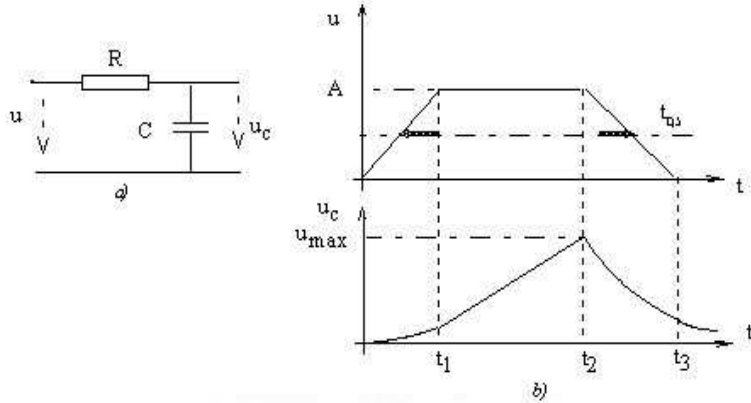


Fig.4.4. Răspunsul FTJ la un impuls trapezoidal

$$U_{\max} = 2\pi \cdot A \cdot f_0 \cdot t_{0,5} \quad (4.1)$$

iar durata impulsului la $1/2 A$ este :

$$t'_{0,5} = t_{0,5} + \frac{1}{9,1f_0} \quad (4.2)$$

Din relațiile (4.1) și (4.2) se constată că suprafața impulsului rămâne aproximativ constantă, scade amplitudinea și crește durata. Deoarece banda de frecvențe a filtrului se poate determina mai precis pentru o atenuare de 10 dB în loc de 3 dB, relațiile anterioare pot fi scrise astfel:

$$U_{\max} = 2 \cdot A \cdot B[10 \text{ dB}] \cdot t_{0,5} \quad (4.3)$$

$$t'_{0,5} \approx 0,5 \frac{1}{B[10 \text{ dB}]} \quad (4.4)$$

Aplicație: Un FTJ este compus dintr-un rezistor de 10 k Ω și un condensator de 1 nF; știind că la intrare se aplică un impuls cu amplitudinea de 4 kV și durata de 100 ns, să se determine parametrii impulsului de la ieșirea filtrului.

Soluție: Tensiunea maximă la ieșire este:

$$U_{\max} = 2 \cdot A \cdot B[10 \text{ dB}] \cdot t_{0,5} = 40 \text{ V},$$

iar durata impulsului la $1/2$ din amplitudine:

$$t'_{0,5} = 0,5 / B[10 \text{ dB}] = 10 \mu\text{s},$$

ceea ce indică o creștere a duratei acestuia și faptul că suprafața impulsului rămâne aproximativ constantă.

Capitolul 4
Protecția în conducție

b) *Răspunsul filtrului trece-jos LC la impulsuri.* Pentru un filtru trece jos de tip LC (fig. 4.5), dacă durata impulsului de intrare T este mai mică decât timpul de creștere al filtrului τ , valoarea maximă a tensiunii de la bornele condensatorului este:

$$U_{\max} = \frac{T}{\tau} = 3A \cdot T \cdot \tau \quad (4.5)$$

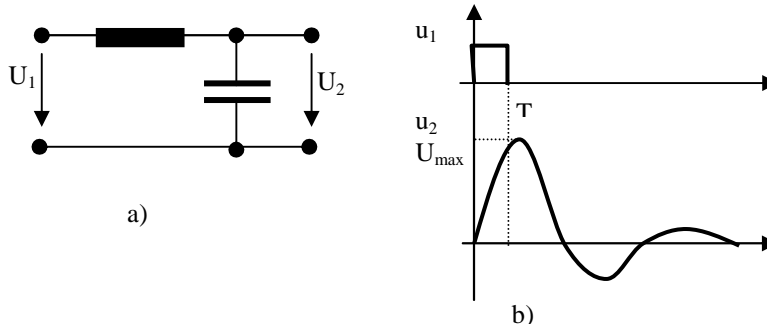


Fig.4.5. Răspunsul filtrului LC la impuls

Din figură se constată că impulsul este o sinusoidă amortizată, durata acesteia fiind dependentă de rezistența de pierderi din circuit. Dacă capacitatea parazită a bobinei este mare, suplimentar apare și un impuls datorat divizorului capacitiv de tensiune format din capacitatea parazită a bobinei și capacitatea din filtru și care se suprapune peste sinusul amortizat, accentuând frontul crescător.

Aplicație: Un FTJ-LC are inductivitatea de 4 mH, rezistența de pierderi de 4 Ω , o capacitate parazită 100 pF și condensatorul de 5 nF; știind că la intrare se aplică un impuls cu amplitudinea de 1 kV și durata de 0,1 μ s să se determine parametrii impulsului de la ieșirea filtrului.

Soluție: Frecvența de rezonanță a filtrului este:

$$f_0 = 1/(2\pi\sqrt{LC}) = 35,6\text{kHz}$$

La ieșirea filtrului se obține un impuls scurt cu durata de 0,1 μ s și amplitudinea:

$$U_m = A \cdot C_p / (C + C_p) = 20 \text{ V}$$

peste care se suprapune o sinusoidă amortizată cu frecvența de 35,6 kHz și amplitudinea maximă:

$$U_{\max} = 2A \cdot T \cdot f_0 = 10 \text{ V}$$

- Justificați faptul că filtrele care funcționează pe principiul nedaptării sunt echivalente ecranelor reflectorizante, iar cele care funcționează pe principiul disipării sunt echivalente ecranelor absorbante.
- Cum se explică faptul că pentru un filtru dat, atenuarea de inserție depinde de circuitul în care este folosit?

Capitolul 4
Protecția în conducție

4.2. Filtre de rețea

Având în vedere gradul foarte mare de interconectare, perturbațiile transmise sau provenite din rețea au o pondere importantă în CEM. Utilizarea filtrelor de rețea, adică a filtrelor prin care se face conectarea aparatelor la rețeaua de alimentare, are o importanță deosebită pentru majoritatea echipamentelor. Aceste filtre sunt FTJ; în mod normal, ele rejectează perturbațiile până la frecvența de 50 kHz (conform normelor militare) sau 150 kHz (conform normelor civile).

Sub 150 kHz se poate considera că impedanța rețelei este identică pentru MC și MD, dar "necunoscută", ea depinzând de frecvență, timpul și locul în care se măsoară perturbațiile; se poate presupune că până la 150 kHz, impedanța rețelei este cuprinsă între 10 Ω și 1 k Ω , cu o valoare medie de circa 100 Ω pentru MD și MC filar și 200 Ω pentru MC adevărat. Impedanța sarcinii este întotdeauna cunoscută pentru MD, ea fiind, de obicei, de valoare mică (de exemplu, sub 10 Ω când se deschid diodele din redresor), în timp ce pentru MC fiind de valoare mult mai mare. Având în vedere cele precizate anterior, structura filtrelor de rețea se prezintă ca în figura 4.6, separat pentru MC și MD. Din compunerea celor două circuite rezultă structura unui filtru de rețea ca cea prezentată în figura 4.7.

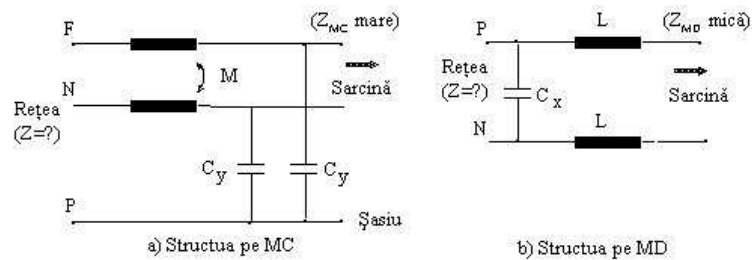


Fig.4.6. Structura filtrelor de rețea

Condensatorul dintre fază și nul, C_x se numește condensator în clasă X; este de dorit ca acest condensator să fie de valoare cât mai mare, însă în acest caz se produce îmbătrânirea comutatorului de rețea din cauza solicitărilor suplimentare. Pentru ca acest condensator să nu rămână încărcat la deconectarea sarcinii, uneori se pune o rezistență de valoare mare în

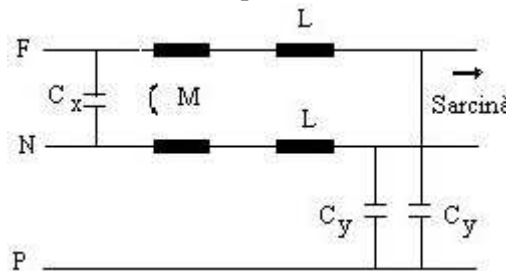


Fig.4.7. Schema de principiu a unui filtru de rețea

Capitolul 4 **Protecția în conducție**

paralel. Condensatoarele C_y , conectate între fază și respectiv, între nul și conductorul de protecție, nu trebuie să suporte curenți prea mari (conform normelor de securitate, curentul maxim prin conductorul de protecție este cuprins între 0,25 și 3,5 mA la 50 Hz).

Inductivitatea mutuală M este realizată pe un tor compus din două "jumătăți de lună", pe fiecare jumătate fiind plasată câte o bobină independentă și asamblate în așa fel încât pe modul diferențial, fluxul să fie nul (suprapunerea bobinajelor poate conduce la apariția unor străpungeri). O atenție deosebită trebuie acordată posibilității de saturare a miezului care transformă bobina într-o antenă veritabilă pe o rază de 20 - 30, în special în cazul sarcinilor cu "decupare" (în comutație) sau atunci când există un conținut mare de armonici (caz în care amplitudinea curenților în impuls poate fi foarte mare). La proiectarea inductivităților din filtre se pornește de la valoarea efectivă maximă a curentului și temperatura maximă la care poate ajunge bobina de șoc; pe baza acestor considerente rezultă că valoarea maximă a curentului care încă nu produce saturarea miezului, este de circa 1,5 ori mai mare decât valoarea efectivă maximă a curentului pentru care este dimensionată bobina de șoc. În tabelul următor sunt prezentate valorile componentelor care intră în compunerea filtrului de rețea din figura 4.7 în funcție de valoarea curentului din sarcină.

I_{ef}	C_x	M	L	C_y
1 A	100 nF	10 mH	100μH	2,2 nF
10 A	330 nF	1 mH	10μH	4,7 nF

În cazul în care se dorește o filtrare mai bună, inclusiv la frecvențe ridicate, se pot conecta câte două filtre în serie ceea ce conduce și la creșterea frecvenței proprii de rezonanță.

Referitor la elementele componente ale filtrelor se poate afirma că cele mai bune condensatoare sunt cele ceramice, însă dau rezultate bune și variantele subminiatură de condensatoare cu poliester sau polistiren. Deosebit de important este ca terminalele condensatoarelor să fie cât mai scurte. În ceea ce privește bobinele, obținerea unei inductivități mari presupune un număr mare de spire ceea ce conduce și la creșterea capacității parazite sau folosirea unor miezuri cu permeabilitate magnetică ridicată, dar care au și permitivitate de valoare mare și deci, conduc la același efect. Pentru reducerea capacității parazite a bobinelor se recomandă ca începutul și sfârșitul înfășurării să fie plasate pe părți opuse, bobinarea pe "galeți", iar ca tip de bobinare se folosește bobinarea "progresivă".

Utilizarea feritelor sub formă de mărele sau manșoane în scopul de a concentra câmpul magnetic în jurul conductorului conduce la creșterea inductivității proprii a conductorului de câteva sute de ori și de obicei, nu implică reproiectarea circuitului. Aceste ferite nu au nici un efect pentru cablurile tur-

Capitolul 4 **Protecția în conducție**

retur (pentru MD), iar eficiența lor crește o dată cu creșterea frecvenței, până la o anumită frecvență care depinde de natura materialului, după care scade. Feritele utilizate trebuie să fie absorbante la frecvențe ridicate, ceea ce face ca factorul de calitate al circuitului în care sunt plasate să fie redus și prin urmare, și efectele datorate rezonanței să fie minime. Ele se utilizează, de obicei, pentru reducerea efectului descărcărilor electrostatice și a impulsurilor tranzitorii rapide.

O atenție deosebită trebuie acordată construcției acestor filtre, în sensul asigurării simetriei întrucât orice nesimetrie transformă perturbațiile de MC în perturbații de MD. Referitor la montarea filtrelor de rețea, trebuie să se țină seama de faptul că ele se plasează direct pe placa de referință a potențialului, cu montarea cablurilor (de intrare și de ieșire), la 180° și având plasarea pe placa de referință a potențialului. În prezent, filtrele de rețea se comercializează, ele putând fi adăugate după fabricarea produselor, existând chiar și prize filtrate.

- Apreciați care este impedanța de intrare a unor consumatori casnici cunoscuți.
- Din ce cauză scad performanțele filtrelor de rețea la creșterea temperaturii?
- Ce avantaje prezintă bobinarea pe galeți și respectiv, progresivă?

4.3. Limitatoare de supratensiuni

Atât în circuitele de alimentare, dar și pe căile de semnal, pot să apară supratensiuni accidentale care periclitează funcționarea echipamentelor; din această cauză se impune utilizarea unor protecții de tip paralel – *limitatoarele de supratensiuni* - care să fie robuste deoarece curenții suportați pot fi importanți. De asemenea, trebuie avut în vedere și faptul că perturbațiile pot fi de durate mari, ceea ce corespunde unor energii de valori ridicate.

Caracteristicile limitatoarelor de supratensiuni sunt:

- *tensiunea de străpungere* (amorsare);
- *tensiunea reziduală* după străpungere;
- *timpul de răspuns*;
- *curentul de pierdere* la tensiune normală;
- *capacitatea parazită*;
- *robustețea* la perturbațiile energetice;
- *modul de revenire* la dispariția supratensiunii;
- *prețul de cost*.

În continuare vor fi prezentate principalele tipuri de dispozitive de limitare a supratensiunilor folosite în CEM.

a) *Diodele de tip TRANSZORB* sau TRANSIL sunt diode Zener cu siliciu de construcție specială, capabile să preia curenți mari; tensiunea de străpungere pentru o joncțiune este cuprinsă

Capitolul 4 Protecția în conducție

între 5,6 și 200 V, iar tensiunea reziduală (limitată de dispozitiv), de circa 1,5 ori mai mare ca tensiunea de cot. Timpul de răspuns este mai mic decât 1 ns în cazul folosirii unor cabluri scurte, prezentând însă o capacitate parazită importantă, de ordinul 1 - 5 nF. Pentru tensiuni mai mici de 1/2 din tensiunea de cot, curentul de pierderi este de ordinul nanoamperilor; în conducție, curentul maxim este limitat de energia disipată maximă care nu depășește câțiva joule. În figura 4.8 este prezentat circuitul de limitare cu tranzorb și comportarea acestuia pentru impulsuri parazite pentru durate scurte și respectiv, durate lungi. Dispozitivele tranzorb se folosesc, de obicei, pentru liniile de semnal; diodele Zener obișnuite sau diodele normale rapide pot fi folosite în circuitele de protecție numai cu rezistență de limitare în amonte.

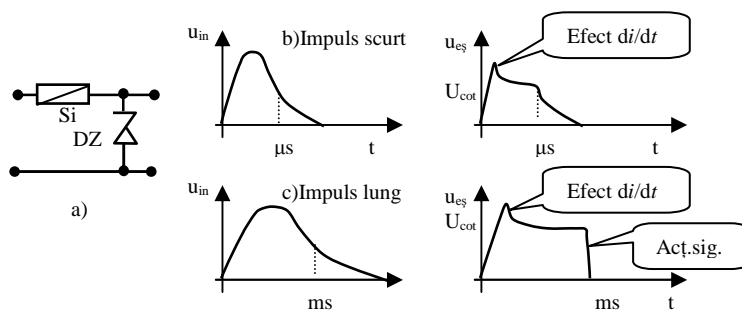


Fig. 4.8. Circuit de limitare cu tranzorb

b) *Varistoarele* sunt dispozitive semiconductoare amorfe a căror rezistență scade o dată cu creșterea tensiunii. Cele mai folosite materiale pentru construcția varistoarelor sunt oxidul de zinc și carbura de siliciu; în ultima vreme, cele mai utilizate sunt *varistoarele MOV* (Metal Oxide Varistance).

Grosimea pastilei varistorului este direct proporțională cu tensiunea de cot, iar volumul acestuia determină energia disipată maximă. Tensiunea de străpungere (de cot) a varistoarelor este de ordinul 10 ÷ 1000 V, tensiunea reziduală fiind de circa 2 ÷ 3 ori mai mare decât tensiunea de cot. Pentru montajele corecte, cu terminale scurte, timpul de răspuns poate fi mai mic de 1 ns, însă ele prezintă o capacitate parazită de ordinul 1 ÷ 10 nF. Curentul de pierderi este mai mic de 1 mA la 0,1 U_{cot} și crește o dată cu tensiunea aplicată; energia disipată poate fi de ordinul 5 ÷ 500 J, dar ele se degradează la solicitări repetate, transformându-se în simple rezistoare. De asemenea, trebuie reținut că în cazul unor solicitări mari, există riscul de aprindere sau de explozie. În figura 4.9 este prezentat un circuit de limitare cu varistor, precum și formele de undă în cazul limitării unor impulsuri parazite. Pentru un varistor, variația rezistenței este foarte mare; prin modificarea tensiunii de la U_{cot} la $2U_{cot}$, curentul crește de 10^9 ori. Principalul dezavantaj îl reprezintă îmbătrânirea care depinde de energia impulsului; de exemplu, un impuls de 100 J produce același efect ca 100 de impulsuri de

Capitolul 4
Protecția în conducție

30 J; din cauza pericolului de explozie, uneori varistoarele se capsulează în nisip.

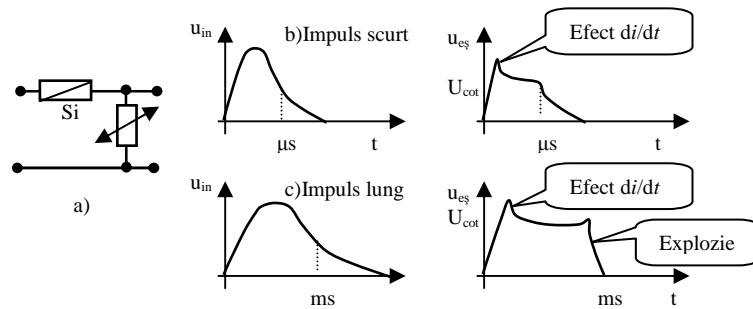


Fig. 4.9. Circuit de limitare cu varistor

Montarea varistoarelor se face, de obicei, în aval față de filtrele de rețea, pentru ca eficiența acestora să nu scadă din cauza inductivităților parazite.

c) *Eclatoarele cu gaz* sunt tuburi cu descărcări în aer sau în gaze inerte; cele cu descărcări în aer sunt mai puțin precise și mai lente, fiind totodată mai vulnerabile la poluare, raze X sau radiații ultraviolete. Tensiunea de străpungere (amorsare) este de circa 100 V sau mai mare; dacă intră în conducție, tensiunea scade, tensiunea reziduală fiind de ordinul zecilor de volți. Tensiunea de amorsare depinde de viteza de variație a tensiunii (dU/dt); pentru fronturi rapide ea poate fi de 10 ori mai mare decât tensiunea reziduală, în timp ce pentru fronturi lente (mai mari ca 1 μs), este de numai 2 ori mai mare decât tensiunea reziduală. Timpul de răspuns este relativ lent, însă eclatoarele pot accepta curenți de ordinul kA pentru $10 \div 20 \mu s$, curentul rezidual fiind practic neglijabil. În figura 4.10 sunt prezentate circuitul de protecție cu eclatoare și formele de undă pentru impulsuri scurte și lungi. Principalul dezavantaj al eclatoarelor constă în faptul că o dată amorsate ele nu se sting decât dacă curentul devine "0", în caz contrar ele scurt-circuitând rețeaua. De reținut că un tub cu neon poate fi folosit pentru unele aplicații ca eclator cu o tensiune reziduală de circa $60 \div 90 V$, însă are un timp de răspuns mare.

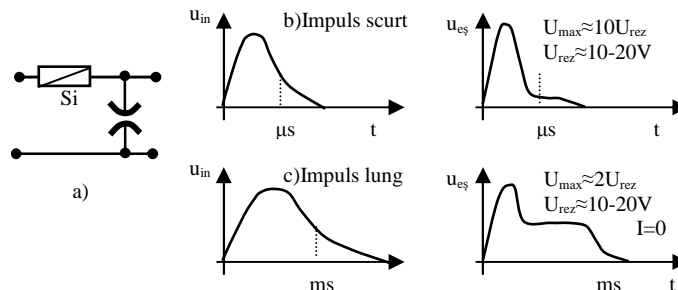


Fig. 4.10. Circuit de limitare cu eclator

d) Ca protecție de tip paralel pot fi folosite și alte dispozitive ca: *tiristoare*, *triacuri*, *diode PNPN*, cu tensiuni de străpungere de ordinul $10 \div 1000 V$; tensiunea reziduală este

Capitolul 4 **Protecția în conducție**

mică, de circa 2 V, revenirea făcându-se dacă curentul prin dispozitiv devine zero (din această cauză se obișnuiește să se conecteze și o siguranță în serie cu dispozitivul). Timpul de răspuns este lent, de ordinul microsecundelor, energia disipată fiind cuprinsă între 0,1 și 10 J.

Circuitele de limitare, conectate în amonte de circuitul protejat, se construiesc, de obicei, în două trepte și se pun după filtrul de rețea (dacă sunt conectate pe alimentare); protecțiile se realizează pentru toate căile pe care pot să apară supratensiuni (de ex., fază/nul, fază/conductor de protecție, nul/conductor de protecție). Uneori, pentru a preveni saturarea miezului inductivităților din filtre și distrugerea condensatorului de tip Cx, în amonte de filtru se plasează un circuit limitator pentru regimurile tranzitorii rapide.

- Care sunt diferențele între tensiunea de străpungere, tensiunea reziduală și tensiunea de cot?
- Care este diferența dintre o diodă normală, o diodă Zener și o diodă Transzorb?
- Pe plăcile cu circuitele de alimentare ale tuburilor cinescop de la televizoare sunt practicate orificii în care, aparent neglijent, sunt două "sârmulițe" în continuarea unor trasee; ce reprezintă acestea și care este rolul lor?
- Care sunt motivele pentru care se preferă utilizarea circuitelor de limitare a supratensiunilor în două trepte?

Aplicație: Să se dimensioneze un circuit de limitare cu varistor a supratensiunii produsă de comutarea unei sarcini inductive de 1 H, alimentată de la rețea.

Soluție: Se va lua în considerare situația cea mai defavorabilă care poate să apară în cadrul circuitului. Deoarece tensiunea rețelei este 220 V + 10 %, rezultă că valoarea maximă a tensiunii rețelei este:

$$U_{\max} = 220 \left(1 + \frac{10}{100} \right) \sqrt{2} = 342 \text{ v}$$

Curentul maxim prin inductivitate va fi:

$$I_{\max} = \frac{U_{\max}}{2\pi f \cdot L} = 1,1 \text{ A}$$

Energia acumulată în inductanță în cazul cel mai defavorabil se determină cu relația:

$$W = (L \cdot I_{\max}^2) / 2 = 0,67 \text{ J}$$

Varistorul se alege astfel încât $U_{cot} > U_{\max}$ și $W > W_{\max}$; în acest caz se poate considera: $U_{cot} = 1,4 U_{\max} = 500 \text{ V}$,

$$W = 1,5 W_{\max} = 1 \text{ W} .$$

Capitolul 4
Protecția în conducție

4.4. Pământul de protecție

Pământul de protecție reprezintă solul la care se racordează toate elementele conductive care nu fac parte din circuitele curenților de lucru, dar care accidental ar putea fi conectate la o tensiune. Așa cum rezultă din definiție, pământul de protecție vizează în primul rând protecția factorului uman și evitarea producerii unor evenimente nedorite, cum ar fi incendiul, el fiind gândit ca un sistem de circuite electrice tridimensionale care are două părți: priza/prizele de pământ și rețelele de pământare. Pământul are și rolul de a permite scurgerea curenților de MC proveniți din exteriorul echipamentului.

Masa reprezintă ansamblul de structuri conductoare accesibile operatorului uman, care asigură echipotențialitatea într-un echipament, ea fiind situată în proximitatea tuturor circuitelor electronice. Masa are o dublă funcționalitate servind atât ca *referință de potențial*, dar de cele mai multe ori și ca *ecran*, asigurând totodată o cale de scurgere a semnalelor parazite de MC care ar putea intra prin circuitele importante ale echipamentului. În mod normal, masa nu se găsește sub tensiune decât în cazul unor defecțiuni. Masele pot fi *de protecție* (masa mecanică), caz în care obligatoriu se leagă la pământ sau *funcțională* (masa de "0" V), dacă asigură echipotențialitatea echipamentului; uneori, cele două funcțiuni sunt îndeplinite simultan. Prin interconectarea maselor diverselor echipamente, inclusiv la pământ, se formează *rețele de masă*; în cadrul rețelelor de masă pot să apară bucle între mase, în care pot lua naștere curenți importanți prin cuplajul în câmp al buclei sau prin impedanța comună.

Rolul *rețelor de masă* a devenit deosebit de important ca urmare a creșterii numărului de aplicații ale electronicii, a gradului de interconectare, dar și a includerii instalațiilor în normele de asigurare a complianței cu normele CEM. Problema pământării instalațiilor și echipamentelor necesită implicarea constructorilor de clădiri, dar și de echipamente și instalații, cerințele pentru un *sistem de pământare* fiind următoarele:

- sistemul de pământare trebuie să asigure protecția ocupanților unor construcții la pericolele directe ca, incendii, conturnări sau explozii care pot fi provocate de trăsnetele directe sau supraîncălzirile produse de curenții de scurtcircuit;

- sistemul de pământare trebuie să permită scurgerea curenților electrici datorati trăsnetelor sau curenților de scurtcircuit fără a introduce tensiuni de pas sau de atingere de valori intolerabile. În figura 4.11 se prezintă modul de definire al tensiunii de pas și al tensiunii de atingere. Față de punctul de impact al unui trăsnet/scurt-circuit, în pământ se produce o distribuție de potențial aproximativ exponențială; pentru un operator uman, diferența de potențial care apare între punctul de atingere și punctul cel mai apropiat locului de impact în care operatorul se află în contact cu solul reprezintă *tensiunea de*

Capitolul 4 Protecția în conducție

atingere, iar diferența de potențial care apare între punctele de contact cu solul reprezintă *tensiunea de pas*.

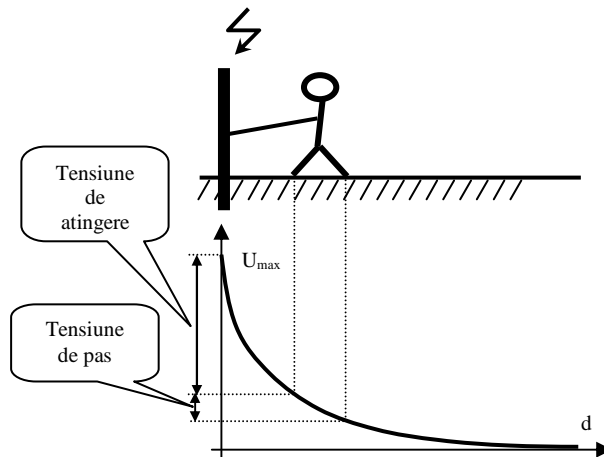


Fig. 4.11. Explicativă la tensiunea de atingere și de pas

- sistemul de pământare trebuie să protejeze echipamentele electronice prin asigurarea unei căi de impedanță joasă de interconectare a acestora. Din acest punct de vedere, deosebit de importante sunt: rutarea cablurilor, zonarea și ecranarea, procedee prin care se elimină sau se diminuează efectul interferențelor care pot să apară în funcționarea echipamentelor. În concluzie, se poate afirma că pământul nu servește la realizarea protecției CEM, ci eventual pentru asigurarea echipotențialității care este posibilă la frecvențe joase însă nu și la frecvențe înalte.

Legarea la pământ se face cu ajutorul prizelor de pământ și a circuitelor conexe; rezistența prizei de pământ depinde de construcția acesteia, dar și de rezistivitatea solului (cuprinsă între câțiva $\Omega \cdot m$ și $10^4 \Omega \cdot m$), care poate avea variații mari în funcție de natura terenului, temperatură și umiditate. În timp, se manifestă fenomenul de îmbătrânire a prizelor care conduce la creșterea rezistenței acestora (durata de viață a prizelor de pământ este de circa 25 ani). Scăderea valorii rezistenței prizei de pământ se realizează prin adăugarea unor săruri și umezirea zonei de amplasare.

Pentru creșterea eficienței prizelor de pământ se recomandă ca acestea să fie răspândite sub, și respectiv, în jurul construcției, astfel încât să realizeze o rețea de masă de tip "mesh". În cazul în care se realizează rețele de masă, este recomandabil ca pentru fiecare etaj să se folosească legături multiple, cu alte cuvinte, posibilități de închidere a circuitelor prin diferite trasee; procedând astfel se pot "masca" frecvențele proprii de rezonanță, iar sistemul de pământare va prezenta o impedanță joasă până la frecvențe de ordinul zecilor de MHz.

Capitolul 4 Protecția în conducție

- Dacă pământul ar avea proprietăți electromagnetice asemănătoare aerului, ce fenomene ar trebui reconsiderate în electrotehnică? Care sunt proprietățile electromagnetice ale pământului care îl fac atât de important în electrotehnică?
- Sintagma "scurgerea curenților la pământ" este improprie; ce este pământul din punct de vedere electric?
- De ce apare îmbătrânirea prizelor de pământ?
- Cum explicați faptul că două prize de pământ apropiate nu sunt echipotențiale?

4.5. Mase

Circuitul de masă este acel circuit care asigură impedanța minimă, ideal "0", între oricare puncte aparținătoare acestuia. Prin urmare, pentru orice echipament, circuitul de masă reprezintă o zonă de impedanță minimă care poate, cu cea mai bună aproximație, pentru întregul domeniu de frecvențe al aplicației, să fie considerată ca o suprafață echipotențială și astfel, să constituie o referință a potențialului pentru toate circuitele conexe.

În cazul în care se realizează rețele de masă, se recomandă ca dimensiunile pentru ochiurile rețelei să fie mai mici decât 1/10 din lungimea de undă corespunzătoare semnalului perturbator de frecvență maximă, dar nu mai puțin decât 0,3 m, deoarece sub această distanță nu se mai poate obține o creștere a performanțelor sistemului în ceea ce privește echipotențialitatea. Pentru sălile cu echipamente sensibile se realizează grile de masă formate din cabluri sau benzi conductoare care se leagă la toate structurile metalice accesibile; conceptul de cușcă Faraday asigură echipotențialitatea tridimensională (fig. 4.12).

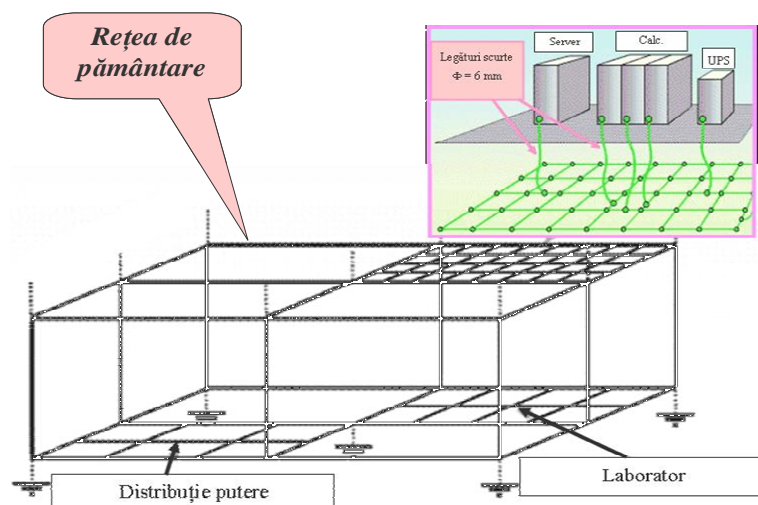


Fig. 4.12. Rețea de masă

Capitolul 4

Protecția în conducție

De remarcat că izolarea galvanică poate reduce circulația de curent la frecvențe joase, dar nu și la frecvențe înalte; mai mult, la frecvențe ridicate, buclele de masă se pot găsi chiar la rezonanță. Din cauza apariției curenților din buclele de masă nu se poate asigura echipotențialitatea echipamentelor (în CEM un curent de 1nA este mai supărător ca o tensiune de 1 mV!). În ceea ce privește realizarea masei pentru un echipament se pornește de la următoarele principii:

- toate conductoarele au o impedanță finită care crește o dată cu creșterea frecvenței;
- două puncte de masă, separate fizic între ele, nu se pot găsi la același potențial;
- la frecvențe foarte înalte nu se poate defini o masă unică.

În cadrul echipamentelor electronice, masa poate fi configurată în următoarele variante:

- a) într-un singur punct,
- b) în puncte multiple,
- c) în sistem hibrid.

Configurarea masei într-un *singur punct* (în stea) elimină impedanța comună de culaș și buclele de curent din cadrul rețelei de masă, funcționând performant până la frecvențe de ordinul megahertzilor, dar la frecvențe mai ridicate încep să conțeze inductivitățile și capacitățile parazite; pentru lungimi ale conductoarelor de legătură la punctul de masă egale cu $\lambda/4$, circuitele sunt practic izolate unele față de altele.

Configurarea masei în *puncte multiple* presupune că modulele cu caracteristici similare sunt legate împreună într-un singur punct; metoda este folosită pentru circuitele numerice și circuitele de putere de înaltă frecvență.

Configurarea *hibridă* presupune o combinație a celor două metode la care se adaugă și elemente reactive de circuit, bobine de șoc și condensatoare care, prin comportarea diferită la înaltă și joasă frecvență, permit optimizarea schemei.

În ceea ce privește asigurarea masei în interiorul echipamentelor, se disting patru niveluri pentru planul de masă:

- planul de masă pentru rețeaua de alimentare;
- planul de masă pentru circuitele de putere;
- planul de masă pentru circuitele numerice;
- planul de masă pentru circuitele analogice.

Pentru *sectorul de alimentare*, masa reprezintă șasiul echipamentului; părțile electronice din blocul de alimentare trebuie să fie legate la șasiu prin mai multe legături, cât mai scurte, care să suprimă cuplajul capacitiv și să evacueze în masa mecanică curenții de înaltă frecvență.

Masa analogică se conectează într-un singur punct la masa numerică. În afara regulilor de cablare prezentate anterior, în cadrul echipamentului trebuie prevăzute suplimentar filtre pe căile de alimentare și de semnal. Este recomandabil ca în proiectare să se realizeze un plan al masei care să indice punctele de referință ale masei și interconexiunile dintre ele.

Capitolul 4 **Protecția în conducție**

Datorită impedanței traseelor, firelor, conexiunilor “în stea”, inelelor de gardă, ariilor continue și implicit, a rezonanțelor produse de către acestea, nu se poate asigura o referință de potențial pentru o placă cu circuite imprimate (PCB - printed circuit board), decât până la circa 1 MHz; de exemplu, un traseu de 10 mm PCB, cu inductivitatea de 1 nH/mm, are o impedanță de 6,3 Ω la 100 MHz și 63 Ω la 1GHz. Din această cauză, numai plăcile metalice neîntrerupte pot fi referințe de potențial până la 1 GHz sau chiar mai mult.

Un plan de referință de calitate trebuie să aibă o inductivitate neglijabilă și se poate realiza prin alocarea unui strat (în tehnologia multistrat), fără nici o “străpungere” a PCB. El realizează calea de întoarcere pentru curenții perturbatori. Planurile de alimentare, diferite de planul de referință, sunt realizate și folosite în mod asemănător planului de referință. Perforațiile pentru terminale, pini, găuri metalizate etc., în planul de referință, cresc inductanța montajului. Ca regulă, găurile trebuie să aibă dimensiunea de 0,01 λ sau mai mică, corespunzător frecvenței maxime. Traseele, ariile pline, inelele de gardă etc., pot fi folosite ca referințe de potențial numai dacă sunt legate la planul de referință prin găuri metalizate, cu distanțe cuprinse între 5 și 15 mm, folosind o alocare aleatoare a spațierii acestora. Se recomandă ca planul de referință să se extindă peste toate componentele, traseele etc., cu aplicarea regulii "20H", unde H este distanța dintre planurile PCB-ului stratificat, adică planul de masă să fie extins peste planul de putere cu o lungime de circa 20 de ori mai mare decât distanța dintre cele două plane. De asemenea, este indicat ca planul de referință să fie rectangular pentru a minimiza inductanța și a face mai ușoară ecranarea.

4.6. Cablarea echipamentelor

Din cauza complexității fenomenelor CEM, a modului de realizare a construcției și cablării echipamentelor, inclusiv, a legăturilor dintre ele, este necesară o analiză atentă a cuplajelor posibile care pot influența atât emisia, cât și recepția semnalelor perturbatoare. Nivelul perturbațiilor depinde de modul de realizare a cuplajului; spre exemplificare, în figura 4.13 sunt prezentate conexiunile posibile între un generator cu impedanța de ieșire de 100 Ω și un receptor cu impedanța de intrare de 1 M Ω . Presupunând că lungimea cablului de legătură este de circa 2 m, iar cuplajul se găsește într-un câmp magnetic perturbator cu frecvența de 50 kHz, atenuarea pentru cazurile de cuplaj prezentate în figură are valoarea minimă pentru variantele a și b și crește la 80 dB pentru varianta d. Evident că în cazul altor perturbații, diferite față de cea prezentată anterior, pot exista și alte cuplaje pentru care varianta optimă să nu fie cea indicată anterior; este necesară o analiză atentă a fiecărui caz, întrucât o

Capitolul 4

Protecția în conducție

soluție verificată într-o situație dată s-ar putea să fie inutilizabilă în alte condiții.

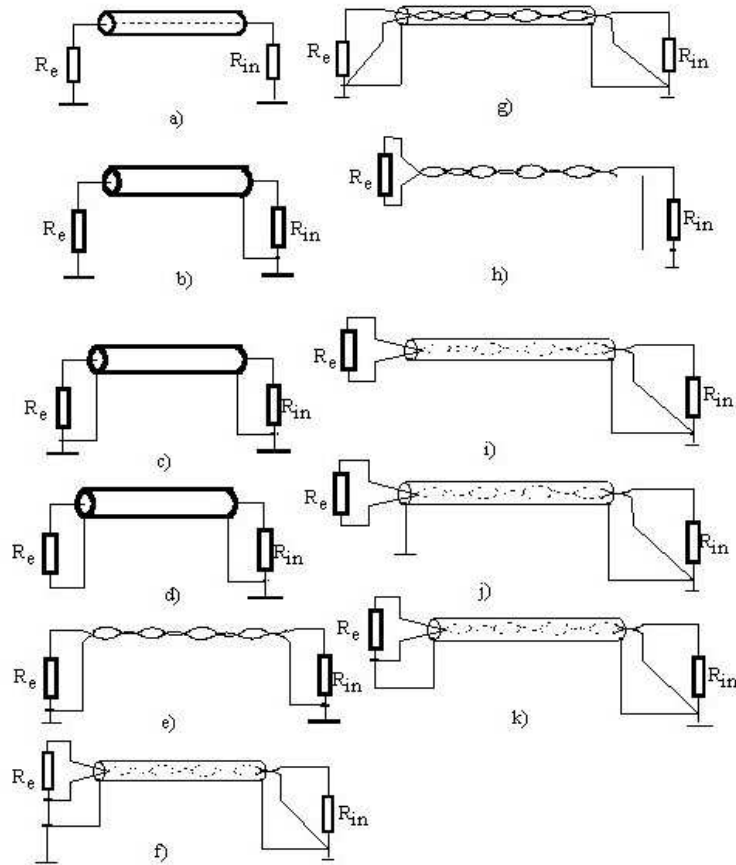


Fig.4.13. Scheme de conexiuni

La efectuarea cablajelor, trebuie să se țină seama de următoarele reguli:

- 1). Identificarea circuitelor în care se produc variații mari de curent (di/dt), cum ar fi: blocurile de ceas, buffere, drive-uri, oscilatoare, surse în comutație etc.
- 2). Identificarea circuitelor sensibile, ca: circuite analogice de putere mică, circuite digitale rapide, circuite cu prag etc.
- 3). Minimizarea legăturilor la masă în ceea ce privește lungimea și aria buclelor, implementarea planului de masă, poziționarea circuitelor sensibile cât mai departe de marginea plăcii etc.
- 4). Asigurarea unei mase liniștite încât zgomotul care apare în circuitul masei să nu se cupleze în sau spre exterior.
- 5). Partiționarea sistemului astfel încât să se poată controla traseul curentului de MC între secțiuni.
- 6). Crearea, menținerea și respectarea hărții de masă.
- 7). Pentru circuitele între care propagarea semnalelor se face pe MD, se recomandă ca realizarea acestora să fie cât mai compactă, iar legăturile să fie realizate în sistem tur-retur, cu conductoare cât mai apropiate între ele.

Capitolul 4 Protecția în conducție

O greșeală frecventă care se face la frecvențe ridicate este aceea de legare a ecranului la masă în varianta "coadă de porc" (engl. pigtail, franc. queue de cochon), adică, într-un singur punct. *Impedanța de transfer* pentru o tresă simplă este de circa 1 nH/m (comparativ cu 1 μ H/m pentru un conductor); un conductor filar, chiar scurt, conectat de la tresă la placa de referință a potențialului, adună impedanța sa la impedanța de transfer a ecranului, prima putând fi mult mai mare, ceea ce va produce, în locul efectului reductor, un efect de antenă. În figura 4.14 este prezentată modificarea efectului reductor datorat "cozii de porc" în funcție de frecvență, având ca parametru lungimea porțiunii de cablu rămasă neecranată.

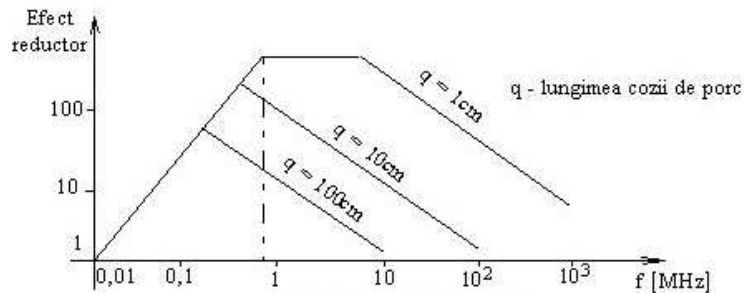


Fig.4.14. Efectul "cozii de porc"

Diminuarea efectului "coadă de porc" se face prin legarea ecranului la placa de referință a potențialului pe întreaga sa circumferință (360°), fără fante. La fel de greșită este și trecerea cablurilor ecranate prin ecrane fără conectarea acestora la ecran.

Utilizarea cablurilor ecranate are rezultate benefice; ecranarea la câmpurile electrice este deosebit de eficientă, însă este mai slabă pentru câmpurile magnetice de joasă frecvență. În ceea ce privește modul de legare a ecranului la masă, dacă se face la un singur capăt, curentul de MC se închide prin ecran prin intermediul capacităților parazite numai la frecvențe înalte; de aceea este indicat să se lege la ambele extremități. Pentru unele aplicații se pot folosi cablurile coaxiale cu două ecrane, denumite comercial "superscreen cable", la care cuplajul MC-MD este extrem de redus și care au o mare eficiență a ecranării.

Capitolul 4
Protecția în conducție

ÎNTREBĂRI ȘI PROBLEME

1. Stabiliți elementele de analogie dintre ecrane și filtre.
2. Identificați câte o aplicație pentru fiecare dintre cele patru variante de filtre LC prezentate în fig.4.4.
3. Din ce cauză este necesară asigurarea unei simetrii perfecte a elementelor ce compun filtrele de rețea?
4. Unui FTJ de tip RC compus dintr-o rezistență de 120 k Ω și un condensator de 560 pF i se aplică un impuls cu amplitudinea de 2 kV și durata de 200 ns. Care sunt parametrii impulsului obținut la ieșirea filtrului?
5. Unui FTJ - LC compus dintr-o inductivitate de 20 mH cu o capacitate parazită de 120 pF și un condensator de 5,6 nF, i se aplică un impuls de 2 kV și durata de 200 ns. Să se determine valoarea maximă a impulsului obținut la ieșire.
6. Care sunt funcțiile îndeplinite de pământul de protecție?
7. De ce parametri depinde eficiența unei prize de pământ?
8. Care este diferența dintre masa de protecție și masa funcțională a unui echipament?
9. Din ce cauză se realizează rețelele de masă și care este legătura acestora cu bucele de masă?
10. Analizați, pentru echipamentele cunoscute, modul în care s-a realizat configurația maselor.
11. Din ce cauză harta rețelei de masă pentru un echipament se stabilește separat pentru rețeaua de alimentare, circuitele numerice și circuitele analogice?
12. Enumerați câteva considerații de care trebuie să se țină seama la realizarea cablării echipamentelor.
13. Ce reprezintă “coada de porc” și ce efecte produce?
14. Exemplificați modul în care se poate folosi efectul reductor la efectuarea cablajelor.

Capitolul 4
Protecția în conducție

Rezumat

- *Protecția în conducție* reprezintă una dintre metodele cele mai eficiente de rezolvare a problemelor CEM.
- Protecția în conducție se realizează cu circuite care prelucrează în mod diferențiat semnalele în funcție de anumite proprietăți: *filtrele*, în funcție de banda de frecvențe, iar *limitatoarele de supratensiuni*, de nivelul semnalului.
- Alegerea tipului de filtru folosit în CEM este condiționată de natura aplicației; sunt predominante *filtrele de tip trece-jos*, în variante *RC sau LC*.
- Eficiența utilizării unui filtru este dată de *atenuarea de inserție*, o mărime care depinde și de valoarea *impedanțelor din amonte și aval* față de filtru.
- O categorie de filtre de tip trece-jos o reprezintă *filtrele de rețea* care au o structură standard rezultată din necesitatea reducerii nivelului perturbațiilor atât pe MC, cât și pe MD.
- Referitor la *răspunsul filtrelor la impulsuri*, pe lângă atenuarea acestora, are loc și o creștere a duratei din cauza elementelor acumulative de energie reactivă din schemă.
- *Circuitele limitatoare* sunt realizate cu dispozitive neliniare conectate în paralel pe circuitul protejat.
- În funcție de tipul dispozitivului neliniar folosit se stabilesc și performanțele circuitului de limitare, cele mai utilizate fiind: diodele de tip *TRANSZORB*, *varistoare*, *eclatoare cu gaz*, dar și *diode Zener*, *diode PNP*, *tiristoare*, *triacuri* etc.
- *Pământul de protecție* prezintă importanță pentru prevenirea accidentării factorului uman și a echipamentelor în cazul apariției unor tensiuni periculoase. Pământul de protecție împreună cu *rețelele de pământare și prizele de pământ* realizează căi de impedanță redusă care permit scurgerea unor curenți care pot să apară în mod accidental.
- *Masa* reprezintă un ansamblu de structuri conductoare din vecinătatea circuitelor electrice sau electronice care asigură, prin echipotențialitate, o referință de potențial.
- Conectarea maselor de la diverse blocuri funcționale sau echipamente, inclusiv la pământ, realizează rețeaua de masă, modul de concepere a acesteia reflectându-se direct în performanțele CEM ale echipamentului.
- Problemele legate de cablarea echipamentelor și asigurarea unei topologii optime a blocurilor componente, conduce la minimizarea sau chiar eliminarea cuplajelor electro-magnetice și deci, la reducerea nivelului perturbațiilor.

TEMĂ: Asigurarea protecției în conducție a echipamentelor
- *Identificarea tipurilor de perturbații și a căilor de propagare*
- *Alegerea tipurilor de protecție în conducție*
- *Realizarea cablajului și a rețelei de masă*