

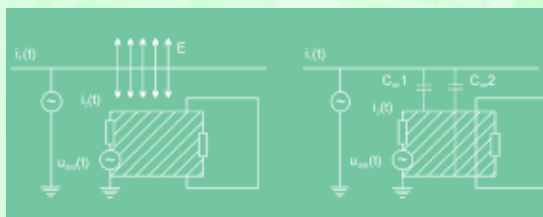
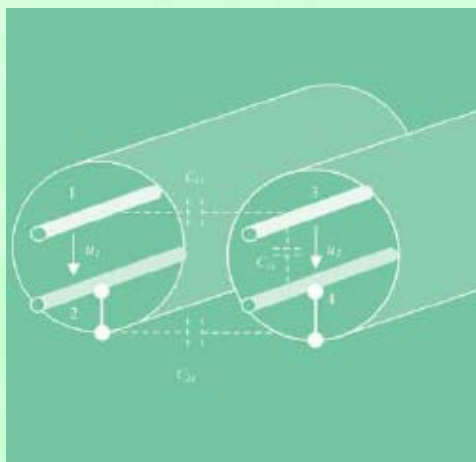
Ghid de Aplicare - Calitatea Energiei Electrice



Legarea la pământ & CEM

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

6.1.2



Legarea la pământ & CEM

Legarea la pământ & CEM

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

Prof Dr rer nat Wolfgang Langguth
Hochschule für Technik und Wirtschaft
Mai 2006



Acest ghid este realizat ca parte a Inițiativei Leonardo pentru Calitatea Energiei Electrice, un program european de educație și învățare, sub egida și cu suportul Comunității Europene (în programul Leonardo da Vinci) și International Copper Association. Pentru alte informații privind acest program a se vedea www.lpqi.org.



European Copper Institute (ECI)

European Copper Institute este un joint venture între ICA (International Copper Association) și industria europeană de fabricate. Prin membrii săi, ECI acționează în numele celor mai mari producători de cupru din lume și a principalilor prelucrători din Europa, pentru promovarea cuprului în Europa. Apărută în ianuarie 1996, ECI are suportul unei rețele de unsprezece Copper Development Association („CDAs”) în Benelux, Franța, Germania, Grecia, Ungaria, Italia, Polonia, Rusia, Scandinavia, Spania și Regatul Unit.

Societatea Inginerilor Energeticieni din România

Societatea Inginerilor Energeticieni din România - SIER, constituită în 1990, este o asociație profesională, autonomă, cu personalitate juridică, neguvernamentală, apolitică, fără scop patrimonial. Scopul Societății este de a contribui activ atât la creșterea rolului și eficienței activității inginerilor energeticieni, cât și la stabilirea orientărilor, promovarea progresului tehnic și îmbunătățirea legislației în domeniul energetic. SIER promovează un schimb larg de informații, cunoștințe și experiență între specialiștii din domeniul energetic prin cooperarea cu organizații similare naționale și internaționale. În anul 2004 SIER a semnat un acord de parteneriat cu European Copper Institute pentru extinderea și în România a programului LPQI (Leonardo Power Quality Initiative), program educațional în domeniul calității energiei electrice, realizat cu suportul Comisiei Europene. În calitate de partener al ECI, SIER este implicată în desfășurarea unei ample activități de informare și de consultanță a consumatorilor de energie electrică din România.

Versiunea în limba română a prezentei broșuri a fost realizată exclusiv de către membrii SIER: traducerea a fost efectuată de **Prof. dr. ing. Nicolae Golovanov**, iar verificarea de către **Dr. ing. Fănică Vatră** și **Dr. ing. Ana Poida**.

Atenționare

Conținutul acestui proiect nu reflectă în mod necesar poziția Comunității Europene și nu implică nici o responsabilitate din partea Comunității Europene.

European Copper Institute, Hochschule für Technik und Wirtschaft și Societatea Inginerilor Energeticieni din România își declină răspunderea pentru orice daune directe, indirecte, subsidiare sau incidentale care ar putea să rezulte în urma utilizării informațiilor sau a inabilității de a utiliza informațiile și datele cuprinse în această publicație.

Copyright© European Copper Institute, Hochschule für Technik und Wirtschaft și Societatea Inginerilor Energeticieni din România.

Reproducerea prezentului document este permisă numai sub forma sa integrală și cu menționarea sursei.



Membră a
EUROPEL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Website: www.sier.ro



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

Introducere

În trecut, majoritatea aplicațiilor utilizate în cadrul instalațiilor electrice ale clădirilor convenționale aveau sarcini liniare (precum motoare de tensiune continuă sau de tensiune alternativă, receptoare rezistive, lămpi cu incandescență etc.) care nu determinau, sau determinau foarte puține interferențe între diferitele tipuri de echipamente. În prezent multe dintre receptoarele în funcțiune sunt neliniare (invertoare pentru acționarea motoarelor de tensiune alternativă, lămpi cu descărcare în gaze, lămpi economice etc.). Aceste generează perturbații cu bandă îngustă (determinate de comutații și de frecvența la peste 9 kHz), care se transmit în toată rețeaua electrică. În mod obișnuit, sursele de alimentare în comutație generează acest tip de perturbații conduse (funcționând în domeniul de frecvențe de la 10 kHz la 100 kHz). În același timp, se observă o creștere a utilizării sistemelor numerice, precum echipamente IT pentru sisteme de management tehnic și pentru sisteme de automatizare pentru procesele industriale, aplicații multimedia sau utilizări în domeniul afacerilor.

În primul rând, sistemele de alimentare cu energie electrică au devenit mai puternice, ceea ce poate determina perturbații electromagnetice (EMI); în al doilea rând, echipamentele numerice s-au răspândit, devenind mai sensibile, realizând o frecvență ridicată de transfer a datelor și fiind utilizate din ce în ce mai mult pentru siguranța privind activitățile. Această evoluție necesită o calitate ridicată a instalațiilor electrice din toate clădirile, la care incompatibilitatea conduce la costuri ridicate sau la o reducere inacceptabilă a standardelor de securitate.

Principal, toate componentele electrice conductoare ale clădirilor sau ale întreprinderilor au un rol privind perturbațiile electromagnetice, atât ca sursă (emițător de perturbații) sau ca victimă (receptor de perturbații). În apropierea conductoarelor electrice instalate există conducte metalice, barele de rezistență din beton, fațadele metalice și lucrările constructive din oțel, care pot să reprezinte elemente relevante din punctul de vedere al CEM și la fel transmit perturbații de înaltă frecvență. De multe ori o instalație poate fi simultan sursă și receptor. Sisteme tipice sunt:

- ◆ liniile de alimentare cu energie electrică;
- ◆ echipamente de măsurare și comandă - control;
- ◆ echipamente de alarmare;
- ◆ instalații ale calculatoarelor, inclusiv rețeaua de alimentare.

O realizare inadecvată și o instalație de tip TN-C, permit semnalelor perturbatoare să se propage în întreaga clădire și, de asemenea, să ajungă la clădirile sau întreprinderile învecinate.

Creșterea importanței problemelor de CEM a fost realizată de către Comunitatea Europeană. În conformitate cu directiva CEM a EU 89/336/EEC (amendată prin directivele 91/263/EEC, 92/68/EEC și 93/97/EEC) orice instalație electrică din clădiri trebuie, de asemenea, să fie conformă standardelor internaționale CEM privind susceptibilitatea și emisia. Persoana sau persoanele responsabile de proiectare, inginerie și construcție (asamblare și construcție) devin „producători” în sensul directivei și își asumă totala responsabilitate pentru conformitatea instalațiilor, cu aplicarea tuturor prevederilor directivei, atunci când intră în funcțiune.

Pentru implementarea în clădiri a instalațiilor electrice, fiabile și cu costuri adecvate, din punct de vedere CEM, este absolut necesar să se realizeze o analiză CEM și să se elaboreze un plan CEM, încă din fazele cele mai timpurii ale proiectului. Pentru toate instalațiile electrice trebuie să se ceară să fie supervizate și să fie implementate de către personal specializat CEM.

Scopul acestui material este să ofere o privire de ansamblu și aspecte de bază pentru înțelegerea principiilor fizice majore ale problemelor de interferență electromagnetică și să indice principiile limitării efectelor perturbatoare. În final, măsurile cerute pentru a atinge conformitatea instalațiilor pot fi mai simplu înțelese.

Câmpul ca sursă fundamentală a perturbațiilor electromagnetice

Compatibilitatea electromagnetică (CEM) descrie aptitudinea unui sistem electric sau electronic, mașină, aplicație etc., să funcționeze satisfăcător într-un mediu perturbat electromagnetic, fără a produce el însuși perturbații electromagnetice intolerabile pentru alte componente ale sistemului.

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

Sursa fundamentală a oricărei perturbații electromagnetice (EMI) are la bază câmpuri și curenți electrici din electrodinamică. La joasă frecvență, câmpurile electric și magnetic acționează independent; la frecvențe ridicate prezintă interes numai propagarea câmpului electromagnetic.

Toate câmpurile, de joasă, medie sau înaltă frecvență sunt determinate de sarcini și curenți electrici. La frecvențe joase, câmpurile electric și magnetic au o distanță de propagare relativ redusă, reducerea intensității de la sursă este cel puțin invers proporțională cu distanța, fiind concentrate în apropierea liniilor conductoare prin care circulă curent electric sau sunt sub tensiune.

Deoarece câmpul electric este proporțional cu tensiunea din instalațiile electrice, acesta poate determina perturbații electromagnetice suficient de importante, la distanțe mari, numai în apropierea instalațiilor de înaltă tensiune. În orice caz, în cele mai multe instalații, câmpul electric nu are un rol important. Totuși la distanțe reduse, precum în cazul cablurilor care sunt pozate împreună în canale de cabluri, câmpul electric trebuie să fie luat în considerație ca sursă a unor posibile perturbații.

Câmpul magnetic este proporțional cu intensitatea câmpului electric. În multe sisteme de energie electrică, curentul electric poate atinge valori ridicate, astfel încât câmpul magnetic poate deveni important și efectul perturbațiilor de înaltă frecvență este semnificativ. Acest lucru este posibil, în particular, în instalațiile de tip TN-C. Datorită combinării conductorului neutru (N) cu conductorul de protecție (PE) în conductorul PEN și conexiunile acestuia cu alte părți conductoare ale clădirii, curentul electric poate crește rapid în orice zonă a clădirii, iar câmpul magnetic rezultat poate determina efecte ale perturbațiilor aproape peste tot. Deoarece o parte din curentul electric din conductorul neutru se propagă spre părți metalice exterioare, curentul sumă în circuitele TN-C este neechilibrat, iar câmpul magnetic rezultat în circuitele TN-C crește în funcție de această diferență.

Monitoarele cu tub catodic ale calculatoarelor sunt ușor de perturbat (fluctuații ale ecranului) de către câmpurile magnetice cu inducție de ordinul a $1,5 \mu\text{T}$. Asemenea câmpuri pot fi generate de o linie electrică monofazată parcursă de un curent electric de 10 A la 50 Hz, la o distanță până la 1,3 m. Monitoarele cu tub catodic, de dimensiune mare (> 17 inch), pentru calculatoare sunt chiar și mai sensibile la câmpuri magnetice exterioare. În cazul în care curentul electric din linie are componente de frecvență mai ridicată, câmpurile magnetice vor avea efecte și mai pronunțate.

La frecvențe ridicate, câmpurile electrice și magnetice sunt combinate și formează câmpul electromagnetic, care se propagă în spațiu cu viteza luminii. În consecință, perturbațiile pot să apară la distanțe mult mai mari. Surse tipice de câmpuri electromagnetice, în prezent, sunt emițătoarele radar, radio și TV, telefoanele mobile, telefonia DECT, rețelele fără fir (WLAN), legături Bluetooth și instalațiile industriale în domeniul frecvențelor microundelor. În orice caz, cablurile de energie electrică pot fi privite ca antene și asigură propagarea unor semnale de înaltă frecvență care pot să fie intenționate (de exemplu, comunicațiile pe suportul fizic al liniei) sau neintenționate (de exemplu, regimuri tranzitorii) prezente în rețeaua electrică. Pentru a asigura imunitatea instalațiilor electrice contra câmpurilor electromagnetice, este necesar a lua măsuri atente de ecranare la proiectare și instalare.

Tipuri de cuplaje electromagnetice

Model elementar privind mecanismul de cuplaj al perturbațiilor

Pentru a descrie mecanismul perturbațiilor electromagnetice este bine să se înceapă cu un model foarte simplu. Acesta constă dintr-o sursă, care determină perturbațiile, un mecanism sau un mediu de cuplaj și echipamentul perturbat (fig. 1).

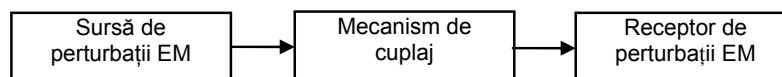


Figura 1 – Model elementar privind mecanismul de cuplaj al perturbațiilor.

Exemple de surse pot fi, așa cum s-a menționat mai sus, liniile rețelelor electrice, antenele sistemelor LAN de transmisie fără fir etc. Cuplajul este stabilit prin curentul electric dacă conductoarele comune ale diferitelor circuite sunt străbătute de unele porțiuni din câmpurile electric, magnetic sau electromagnetic. Receptoarele distribuite pot fi orice tip de aparat sau o parte a instalației electrice. Desigur că interacțiunea electromagnetică

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

completă în întreaga instalație dintr-o clădire sau o întreprindere este o combinație foarte complexă a acestor interacțiuni elementare. În plus, unele receptoare pot acționa ca surse de perturbații și invers.

Pe durata fazei de planificare a unei instalații noi sau reabilitate, trebuie generată o matrice a tuturor surselor posibile, a căilor de cuplaj precum și a obiectelor posibil a fi perturbate. Cu ajutorul acestei matrice trebuie să fie estimate posibilele solicitări date de interferențele mutuale, pentru a aprecia ce tipuri de perturbații pot să apară și care sunt cele mai probabil să apară. Numai pe baza acestei matrice de interacțiuni se pot evalua contramăsurile ce trebuie să fie adoptate, încă de la început, asigurând astfel o punere în funcțiune rapidă și cu costuri reduse.

Este necesar să se identifice 4 tipuri diferite de perturbații electromagnetice elementare:

- ◆ cuplaj prin impedanță;
- ◆ cuplaj inductiv;
- ◆ cuplaj capacitiv;
- ◆ cuplaj prin radiație.

Principalele proprietăți fizice ale diferitelor metode de cuplaj sunt rezumate în tabelul 1.

Sursa	Domeniul de frecvență	Cuplaj	Distanță	Receptoare
Câmp electric	Joasă frecvență	Capacitiv	Mică	Cabluri de înaltă și joasă tensiune
Câmp magnetic	Joasă frecvență	Inductiv	Mică	Cabluri de înaltă și joasă tensiune
Câmp electromagnetic	Înaltă frecvență	Prin radiație	Mare	Cabluri de înaltă și joasă tensiune

Tabelul 1 - Proprietăți elementare ale diferitelor tipuri de cuplaj pentru perturbațiile electromagnetice

Fenomenul perturbator predominant în clădiri este determinat de cuplajul inductiv, urmat de cuplajele capacitiv și prin impedanță. Cuplajul prin radiație nu a fost dominant până în prezent, deoarece solicitările datorate câmpului electromagnetic sunt, în mod obișnuit, sub valorile limită cerute prin testele de susceptibilitate din directiva UE privind CEM. Totuși intensificarea utilizării aplicațiilor de transmisie fără fir (wireless) poate conduce la creșterea, în viitor, a problemelor de CEM de la aceste surse.

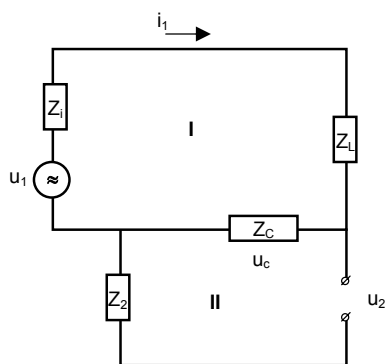


Figura 2 - Cuplaj prin impedanță.

Cuplajul prin impedanță

Cuplajul electric rezultă atunci când diferitele circuite utilizează o linie comună sau/ori o impedanță de cuplaj. Acest lucru poate apărea, de exemplu, atunci când diferite circuite utilizează aceeași sursă în circuitele lor. Principiul de bază al cuplajului prin impedanță poate fi bine observat în figura 2.

Circuitul I este o parte din rețeaua de energie electrică, iar circuitul 2 este o parte din rețeaua de transfer de date. Tensiunea care se suprapune peste semnalul u_2 , determinată de impedanța comună de cuplaj $Z_c = R_c + j\omega L_c$, pentru valori reduse $Z_c \ll Z_i + Z_L$ este :

$$u_c = Z_c \cdot i_1 \cong \frac{u_1}{Z_i + Z_L} \cdot Z_c \quad (1)$$

Dacă intensitatea curentului electric i_1 și/sau impedanța de cuplaj Z_c sunt suficient de mari, tensiunea suprapusă u_c poate fi suficient de mare, comparativ cu semnalul u_2 pentru a perturba datele din circuit.

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

Impedanța liniei comune constă din componente rezistive și componente inductive $Z_c(\omega) = R_c + j\omega L_c$. În timp ce partea rezistivă a cuplajului rămâne cu aceeași valoare pentru toate frecvențele (neglijând efectul pelicular), partea inductivă crește ca pondere odată cu frecvența. Pentru o scurtă discuție ne vom referi la următorul model (figura 3).

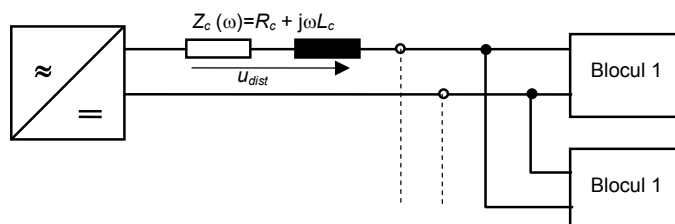


Figura 3 - Cuplaj prin impedanță, model simplu.

Tensiunea perturbatoare u_{dist} , generată la bornele impedanței Z_c este suprapusă peste semnalul blocului 2 și depinde de curentul $i(t)$ și, de asemenea, de variația sa în timp $di(t)/dt$. În modelul simplificat, tensiunea perturbatoare poate fi estimată din relația

$$u_{dist} = u_{R,dist} + u_{L,dist} = R_c \cdot i(t) + L_c \cdot \frac{di(t)}{dt}. \quad (2)$$

Dacă se alege un set de parametri realiști pentru model (lungimea liniei $l = 2$ m, inductivitatea proprie $L_c = 1$ μ H/m, intensitatea curentului electric $i = 1$ A și viteza de creștere a curentului electric $di/dt = 1$ A/100 ns), rezultă următoarele contribuții la cuplajul electric :

$$\begin{aligned} u_{R,dist} &= R_c \cdot i(t) = 1 \text{ V} \\ u_{L,dist} &= L_c \cdot \frac{di(t)}{dt} = 20 \text{ V} \\ u_{dist} &= u_{R,dist} + u_{L,dist} = 21 \text{ V} \end{aligned} \quad (3)$$

La frecvențe ridicate, inductivitatea proprie a liniei are un rol dominant în mod clar. Acest lucru rămâne adevărat chiar dacă se ia în considerație creșterea rezistenței electrice aparente datorită efectului pelicular, care nu este neglijabil pentru regimurile tranzitorii rapide și pentru semnalele numerice.

Conform legilor lui Kirchhoff, semnalele perturbatoare se pot propaga în instalația întregii întreprinderi și pot afecta și instalațiile întreprinderilor din apropiere. Pentru a minimiza cuplajul electric trebuie să se evite conectarea între sisteme independente și, în cazul în care sunt necesare aceste conexiuni, să se asigure că inductivitatea proprie a acestora să fie cât de mică posibil. În general, o decuplare electrică a circuitelor sursei de alimentare se poate obține mai simplu atunci când este utilizat un sistem TN-S, față de circuitul de tip TN-C.

Cuplaj inductiv

Un curent electric exterior $i_1(t)$, variabil în timp, generează un câmp magnetic de inducție $B(t)$ care induce o tensiune perturbatoare $u_{dist}(t)$ în circuitele din apropiere. Într-un model de circuit echivalent, acest lucru poate fi descris prin cuplarea celor două circuite prin intermediul inductivității mutuale M . Tensiunea $u_{dist}(t)$ generează un curent electric de mod comun $i_2(t)$ care, la rândul lui, generează un câmp magnetic ce reduce câmpul exterior. Curentul electric $i_2(t)$ este suprapus peste curentul electric al sistemului perturbat și poate conduce la o funcționare necorespunzătoare a sistemului. Cuplarea câmpurilor magnetice ale diferitelor sisteme poate fi modelată printr-un circuit echivalent model, cu inductivitatea mutuală a circuitelor cuplate (fig.4).

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

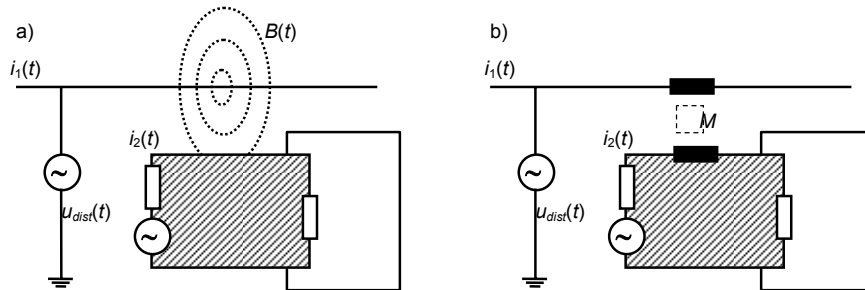


Figura 4 - Cuplajul inductiv : a) modelul de câmp; b) circuitul echivalent.

Gradul de cuplare depinde în principal de trei parametri:

- ◆ amplitudinea curentului electric perturbator;
- ◆ distanța dintre sursă și receptor;
- ◆ frecvența câmpului electric perturbator.

Semnalul perturbator este important și semnificativ dacă:

- ◆ curentul electric din circuitul exterior este important;
- ◆ curenții electrici din circuitele de ducere și de întoarcere nu sunt egali (precum într-un circuit TN-C);
- ◆ circuitele sunt apropiate între ele și acoperă arii mari;
- ◆ semnalele circuitului exterior variază rapid în timp și deci au un spectru larg de frecvențe înalte.

Cuplajul inductiv totuși poate fi, de asemenea, utilizat la controlul perturbațiilor. Dacă instalarea canalelor de cabluri și a cablurile coaxiale este bine făcută (adică sunt conectate în mod fiabil și cu conexiuni scurte cu impedanță redusă și la frecvențe ridicate) acestea asigură ecranarea cablurilor (prin cuplaj inductiv) contra câmpurilor magnetice exterioare, în special de frecvență ridicată.

Dependența geometrică a cuplajului inductiv

Sensibilitatea cuplajului inductiv de tipul rețelei electrice și de geometria instalațiilor poate fi demonstrată de următorul exemplu. Concluziile sunt importante pentru realizarea instalațiilor compatibile CEM.

Se consideră două circuite, o linie simplă și o linie cu ducere și întoarcere, și se calculează influența celor două sisteme, considerând o buclă rectangulară la distanța r .

Inducția câmpului magnetic, pentru fiecare configurație, poate fi determinată exact:

$$B_1(r) = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{i(t)}{r}, \quad B_2(r) = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{2 \cdot a \cdot i(t)}{(r-a) \cdot (r+a)}, \quad \text{cu } \mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \left[\frac{Vs}{Am} \right]. \quad (4)$$

Inducția câmpului magnetic este proporțională cu curentul electric $i(t)$. Totuși, pe când câmpul magnetic al liniei simple scade numai invers proporțional cu distanța, câmpul magnetic al circuitului cu linie de dus și linie de întors descreește invers proporțional cu pătratul distanței, pentru distanțe mari. Acest lucru conduce la o diferență importantă a dependenței cuplajului inductiv pentru fiecare dintre modelele de rețea. Caracteristicile câmpului magnetic și ale cuplajului inductiv, pe unitatea de lungime, este indicată în figura următoare (fig. 5). Curentul electric $i(t)$ este ales pentru o valoare de 1 A și distanța $a = 1,5$ mm.

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

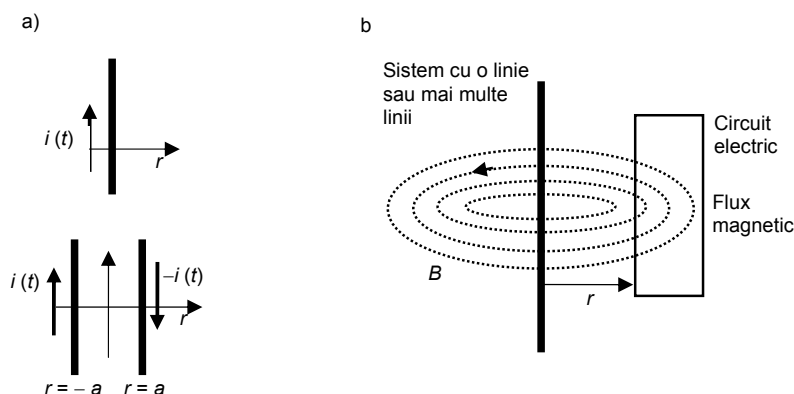


Figura 5 - a) O linie simplă și o linie cu dus și întors ca surse de câmp magnetic,
b) circuitul electric ca receptor

Inducția câmpului magnetic al unui circuit egal încărcat pe liniile de ducere și întoarcere este cu două ordine de mărime mai mic și reducerea este mai rapidă față de linia simplă. Același lucru este adevărat și pentru inductivitatea de cuplaj. Dependența inductivității de cuplaj de aria buclei este similară cu figura 6 b). Acest exemplu permite obținerea cunoștințelor de bază pentru unele „reguli de aur” pentru conformitatea CEM a instalațiilor electrice:

- ◆ mențineți aria unei instalații electrice pe cât posibil mai redusă;
- ◆ maximizați distanța față de o linie cu curent mare;
- ◆ separați circuitele de putere de cele de date;
- ◆ utilizați numai circuite de tipul TN-S.

Doar circuitele de tipul TN-S sunt favorabile din punctul de vedere al CEM. În cazul rețelelor TN-C pot apare curenți de nesimetrie astfel încât rețeaua de tip TN-C generează câmpul magnetic al unei singure linii parcurse de curent nesimetric. Pentru aceeași geometrie a instalației, curentul de nesimetrie generează un câmp magnetic de amplitudine cu cel puțin două ordine de mărime mai mare decât în cazul unei rețele TN-S.

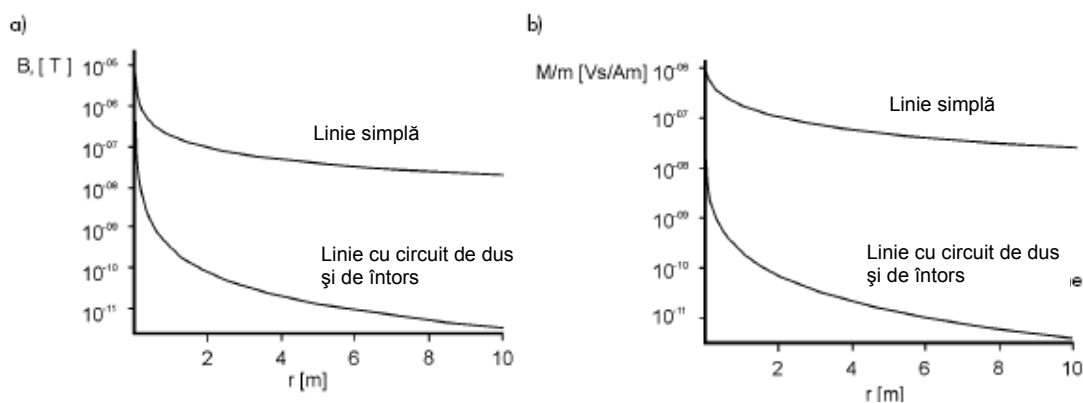


Figura 6 – a) Inducția câmpului magnetic pentru o linie simplă și pentru un circuit cu conductoare de dus și de întors
b) inductivitatea de cuplaj, pe unitatea de lungime, a buclei dintre linia simplă și circuitul cu linie de ducere și întoarcere.

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

Dependența de frecvență a cuplajului inductiv

Comportarea în funcție de frecvență a cuplajului inductiv oferă informații utile privind modul în care instalațiile electrice pot fi realizate, astfel încât să se obțină o protecție optimală contra perturbațiilor exterioare de înaltă frecvență. Se consideră din nou un experiment idealizat similar cu figura 5 b). În figura 7 este indicat circuitul echivalent al buclei în scurtcircuit, de inductivitate proprie L_2 și rezistență electrică R_2 , care este influențată de o linie exterioară parcursă de curentul electric $i(t)$ printr-o inductivitate de cuplaj M .

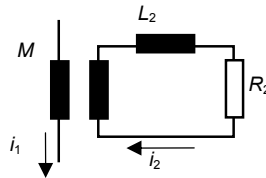


Figura 7 - Circuit echivalent
pentru cuplajul inductiv.

Dacă se consideră curentul electric definit pentru o pulsație ω , $i_{1,2}(t) = i_{1,2}(\omega) \cdot e^{j\omega t}$, funcția de transfer a curentului perturbator $i_1(\omega)$ și curentul indus $i_2(\omega)$, pentru modelul simplu, pot fi stabiliți exact și se obține funcția de transfer din relația (5)

$$i_2 = \frac{sM}{R_2 + sL_2} \cdot i_1, \quad s = j\omega, \quad j^2 = -1. \quad (5)$$

Pentru a înțelege ce reprezintă această relație pentru instalațiile reale, se consideră o buclă de lungime $l = 0,3$ m și o lățime $w = 0,1$ m, aflată la o distanță $d = 0,2$ m de linia cu curent electric perturbator. Ca rezistență electrică internă s-a ales $R_2 = 50 \Omega$. Inductivitatea proprie și inductivitatea mutuală pot fi stabilite, pentru acest exemplu, ca $L_2 = 0,9 \mu\text{H}$ și $M = 0,2 \mu\text{H}$. Amplitudinea curentului perturbator, pe unitatea de curent extern $i_2(\omega)/i_1(\omega)$ este indicată în figura 8.

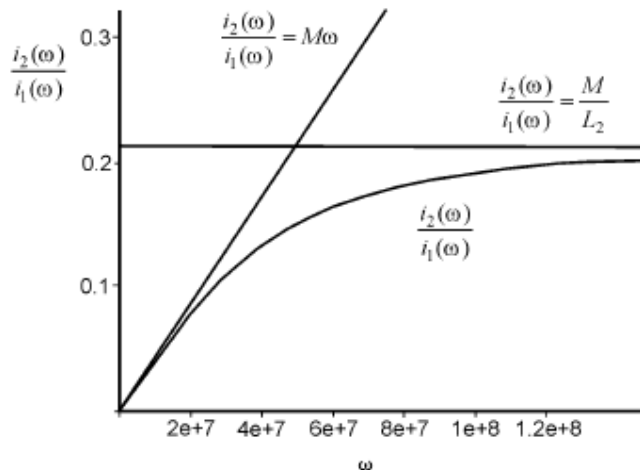


Figura 8 - Studiu de caz privind funcția de transfer a curentului
electric.

Curentul electric perturbator i_2 crește odată cu curentul electric exterior și cu frecvența acestuia. La frecvențe joase această creștere este proporțională cu ω , pe când la frecvențe ridicate i_2 atinge o valoare de saturație. Această valoare de saturație este limitată de raportul M/L_2 . Pentru a minimiza efectele perturbațiilor de înaltă frecvență și pentru a asigura conformitatea CEM trebuie să fie minimizată inductivitatea M și maximizată inductivitatea proprie a circuitului cuplat.

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

Deoarece perturbațiile rapide conțin mai multe frecvențe înalte, acestea generează perturbații mai mari. Acest lucru poate fi observat în figura 9, în care sunt calculați curenții perturbatori determinați de un curent electric de formă trapezoidală, reprezentând, după cum se cunoaște, un semnal numeric.

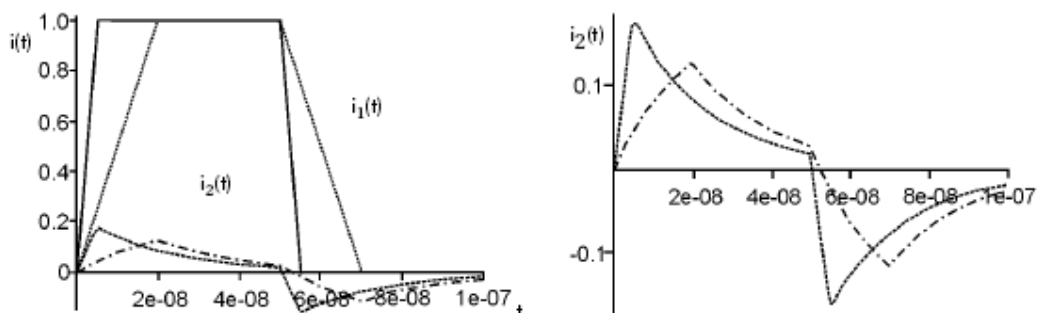


Figura 9 - Cuplajul inductiv pentru un curent de formă trapezoidală, cu variație lentă și cu variație rapidă.

Din figura 9 se poate observa faptul că curentul electric perturbator crește la peste 10% ca amplitudine, atunci când curentul electric exterior variază lent și la peste 15% ca amplitudine, atunci când curentul electric exterior are o variație rapidă. Aceste valori ridicate rezultă datorită timpului de creștere redus al semnalelor numerice. În mod similar, pot rezulta valori ridicate în cazul unor procese electronice de comutație, ca de exemplu în cazul unui regulator cu control al unghiului de fază. Comutațiile la regulator pot fi modelate ca frontul unui semnal trapezoidal. Partea de de 50 Hz a semnalului are o contribuție nesemnificativă.

Până acum am analizat bucle în scurtcircuit, ca receptor de perturbații. În acest caz, caracteristicile electrice pot fi optimizate pentru a minimiza curentul perturbator i_2 . Proprietatea curentului electric perturbator $i_2(t)$ de a genera un câmp magnetic care reduce câmpul exterior poate fi utilizată pentru a ecrana sisteme electrice și electronice sensibile. În acest caz, parametrii electrice ai buclei în scurtcircuit vor fi aleși pentru a optimiza curentul electric $i_2(t)$ care generează câmpul magnetic contrar și a minimiza fluxul magnetic total prin buclă. Exemplu concret al acestei aplicații o reprezintă ecranul oricăror cabluri ecranate, canalele de cabluri, inima neutilizată a cablurilor etc. Fluxul magnetic total prin aria suprafeței modelului de buclă în scurtcircuit pot fi calculat din relația

$$\Phi_{buc\la} (i_2) = \frac{M \cdot R_2}{R_2 + sL_2} \cdot i_1, \quad s = j\omega, \quad j^2 = -1. \quad (6)$$

Se poate observa faptul că fluxul magnetic total este minimizat pentru valori reduse ale rezistenței electrice R_2 . Aceste proprietăți de ecranare pentru modelul analizat cu buclă în scurtcircuit, pentru diferite rezistențe electrice R_2 , sunt indicate în figura 10.

Eficiența ecranării crește puternic odată cu reducerea rezistenței electrice a buclei în scurtcircuit, fiind indicată, în figura 10, pentru valori $R_2 = \infty, 500, 50, 5 \Omega$.

Pe baza acestui rezultat remarcabil, rezultă importante reguli privind instalațiile din clădiri. Toate conexiunile echipamentelor ecranate precum canale de cabluri, tunele de cabluri, dulapuri etc, trebuie să aibă o rezistență electrică, la frecvențe ridicate, cât mai reduse. Datorită efectului pelicular, rezistența electrică a oricărui conductor crește cu frecvența semnalului. Din acest motiv, geometria conductoarelor trebuie să fie astfel aleasă încât să conducă la minimizarea rezistenței electrice aparente la frecvență ridicată. Geometria optimă a conductorului este banda plată, plină sau din tresă, care prezintă o arie laterală mare și grosimea este mică. Conductorul standard circular nu este recomandat.

Desigur buclele în scurtcircuit pot să lucreze eficient ca element ecranat, numai dacă curentul electric de protecție poate circula și dacă nu apare o întrerupere în buclă în scurtcircuit. Ecranul trebuie să fie conectat la pământ la ambele capete pentru a asigura o circulație neperturbată a curentului electric de ecranare.

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

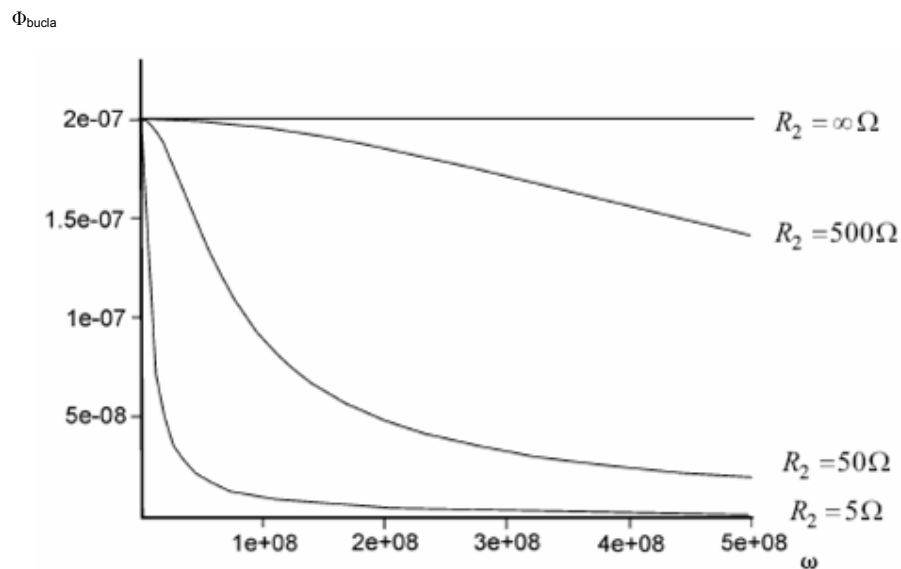


Figura 10 - Eficiența ecranării unei bucle în scurtcircuit pentru diferite rezistențe electrice R_2 .

Cuplajul capacitiv

Câmpul electric, variabil în timp, al unui sistem exterior generează o sarcină electrică variabilă în timp, în sistemul perturbat. Circulația curentului electric de deplasare poate fi modelată printr-un circuit echivalent cu capacități de dispersie, conectate la cele două sisteme și care determină tensiuni perturbatoare (fig. 11).

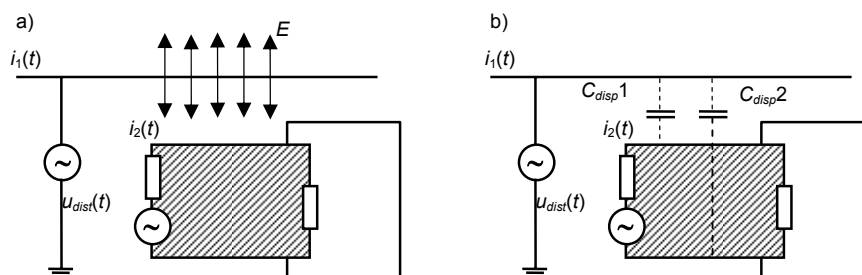


Figura 11 - Cuplajul capacitiv : a) modelul de câmp; b) circuitul echivalent.

Similar cazului cuplajului inductiv, cuplajul capacitiv devine important dacă:

- ◆ cele două circuite sunt apropiate;
- ◆ diferența de potențial între cele două circuite este importantă;
- ◆ semnalul din circuitul exterior are o variație rapidă în timp și deci cuprinde un spectru larg de frecvențe înalte.

Ca exemplu, se consideră cablurile unui circuit de alimentare cu energie electrică și ale unui circuit al unei rețele locale de date, care sunt cablate apropiat și în paralel pe o distanță mai mare de 10 m în canalul de cablu. În cazul în care curentul electric din cablu are o formă pur sinusoidală la 50 Hz și tensiunea este de 230 V, semnalul perturbator în cablul de date atinge o amplitudine de 10 V, ceea ce ar putea fi acceptabil. Dacă însă curentul electric din cablul de alimentare cu energie electrică cuprinde componente de frecvență înaltă, generate de sarcini neliniare, semnalul perturbator în cablul de date poate atinge o amplitudine de peste 90 V, care poate conduce la o performanță redusă sau o funcționare anormală a LAN.

În cazul în care cablarea și ecranarea sunt bine planificate, iar instalarea este realizată cu grijă, acest tip de perturbații poate fi evitat sau cel puțin minimizat până la o valoare tolerabilă.

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

Pentru a analiza cele mai importante aspecte ale cuplajului capacitiv se consideră din nou un model elementar care poate fi rezolvat analitic. Modelul constă din două circuite, care utilizează, pentru simplificare, o întoarcere comună. Circuitul echivalent al sistemului este indicat în figura 12.

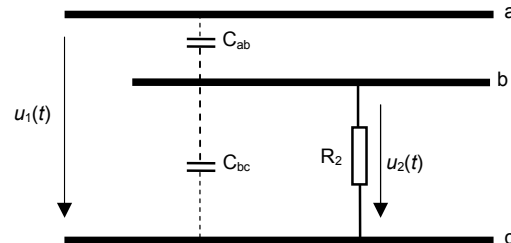


Figura 12 – Model cu trei linii pentru cuplajul capacitiv.

Liniile a și c sunt parte a unui sistem exterior, iar liniile b și c sunt ale sistemului perturbat. Dacă se consideră tensiunea definită în domeniul frecvență ω , $u_{1,2}(t) = u_{1,2}(\omega) \cdot e^{j\omega t}$, relația dintre tensiunea perturbatoare $u_1(\omega)$ și tensiunea de cuplaj $u_2(t)$, pentru acest model simplu, poate fi determinată exact, din relația

$$u_2 = \frac{sR_2 \cdot C_{ab}}{1 + sR_2 \cdot (C_{ab} + C_{bc})} \cdot u_1, \quad s = j\omega, \quad j^2 = -1. \quad (7)$$

Se aleg pentru parametrii modelului $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, $C_{ab} = C_{bc} = 100 \text{ pF}$, cu o distanță de paralelism de 5 m, grosime a cablului de 1 mm și distanța dintre cabluri de 5 mm, și cu tensiunea externă de $u_1 = 220 \text{ V}$. Caracteristica de dependență a tensiunii u_2 cuplată capacitiv, în funcție de frecvență este indicată în figura 13.

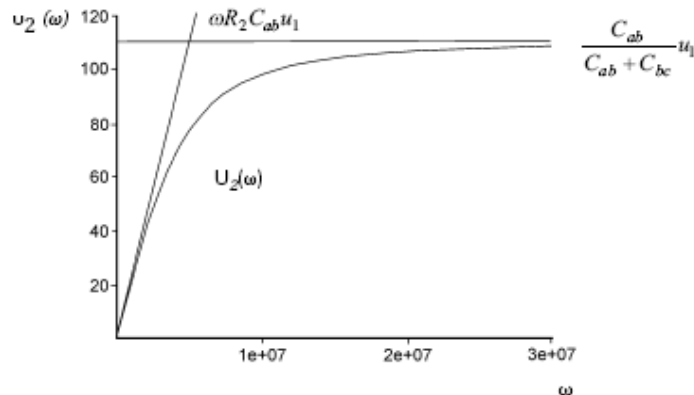


Figura 13 - Caracteristica de frecvență a unui cuplaj capacitiv.

Caracteristica cuplajului capacitiv este foarte asemănătoare celei a cuplajului inductiv. Tensiunea perturbatoare u_2 crește, la joasă frecvență, liniar cu frecvența semnalului perturbator și ajunge la o valoare de saturație la frecvențe înalte. Ca și înainte, semnalele perturbatoare rapide ce conțin componente de frecvență ridicată vor influența puternic circuitul perturbat. În figura 14 este indicat cuplajul pentru o tensiune normală de 220 V, de formă sinusoidală la 50 Hz și pentru un sistem de reglare în fază.

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

Semnalul sinusoidal determină un semnal perturbator sinusoidal cu o amplitudine de circa 7 mV care, în cele mai multe cazuri, poate fi neglijat. Din contra, procesul de comutare al regulatorului în fază conduce la un vârf de tensiune de 110 V.

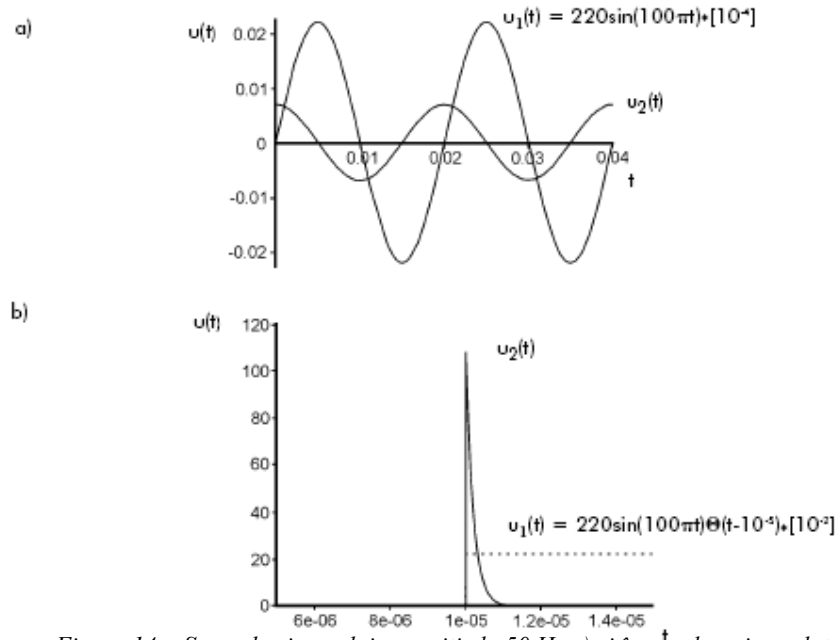


Figura 14 - Semnal prin cuplaj capacitiv la 50 Hz a) și în cazul unui regulator controlat în fază b).

Cuplajul capacitiv poate fi redus prin utilizare de cabluri ecranate. Un model pentru o pereche de cabluri ecranate este indicat în figura 15.

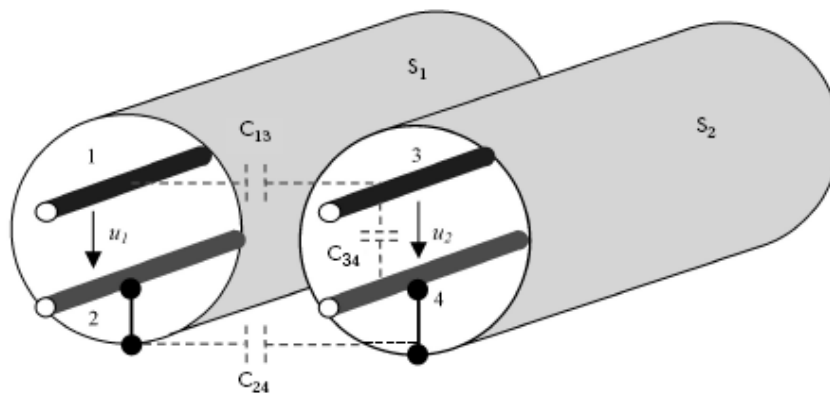


Figura 15 - Cuplajul capacitiv a două cabluri ecranate.

Ecranele conductoare S_1 și S_2 sunt conectate la un singur punct la sistem. Caracteristica de frecvență a semnalului perturbator u_2 este asemănătoare celei din relația 7, în care C_{ab} este înlocuit cu $C_1 = \frac{C_{13} \cdot C_{24}}{C_{13} + C_{24}}$ și C_{bc} cu C_{34} .

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

Valoarea maximă a tensiunii de cuplaj, care poate să se atingă este $u_2 = \frac{1}{1 + C_{34} / C_{13} + C_{34} / C_{24}} \cdot u_1$, ceea

ce indică faptul că la o bună legătură între conductor și ecran crește eficiența ecranării. În figura 16 este indicată, pentru diferite cuplaje capacitive, eficiența de ecranare în cazul unui impuls tranzitoriu rapid.

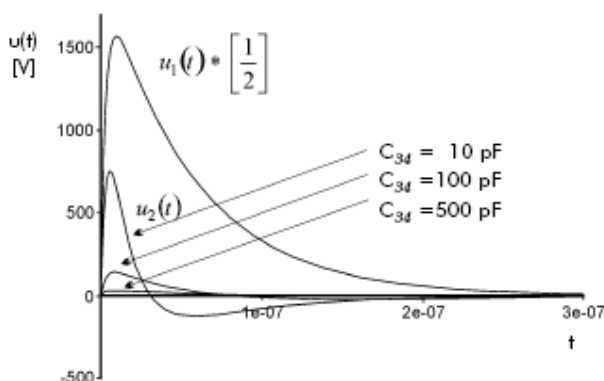


Figura 16 - Ecranare pentru un impuls abrupt prin
ecrane cu diferite capacități interne de cuplaj

Cuplaj prin radiație

Câmpul electromagnetic se propagă prin spațiu cu viteza luminii $c = 2,998 \cdot 10^8$ m/s și poate să influențeze instalațiile electrice din apropiere sau depărtate, din jurul sursei. Surse tipice de câmp electromagnetic sunt transmisiile radio sau TV, telefoanele mobile sau orice tip de aplicații de transmisie fără fir (wireless). Părțile de înaltă frecvență ale semnalelor rapide sau fenomenele tranzitorii rapide (descărcări electrostatice, supratensiuni de trăsnet, fulgere) pot conduce la un câmp electromagnetic de radiație în cabluri sau în orice altă parte conductoare din instalațiile electrice și pot determina perturbații în sistemele electrice în alte părți ale clădirii.

Dacă perturbațiile sursei de alimentare sau ale rețelei de date cuprind componente de înaltă frecvență, alte elemente ale instalației pot acționa ca antene și să radieze câmpuri electromagnetice. Dipolul Hertz poate servi ca un model elementar pentru a estima amplitudinea câmpurilor radiate. Toate părțile conductoare ale instalației electrice pot servi ca antena, incluzând:

- ◆ cabluri;
- ◆ deschiderile și fantele carcaselor, firidelor etc.;
- ◆ benzi imprimate pe o placă.

Deschiderile și fantele unei carcase de echipament radiază perturbații în toată zona înconjurătoare sau în clădire, perturbând alte obiecte în mediu și/sau transmițând câmpuri electromagnetice din exterior în interiorul sistemului.

Ca exemplu, se poate observa cazul unei descărcări electrostatice între corpul uman și o placă metalică. Arcul electric al descărcării electrostatice nu are un curent electric semnificativ, însă generează un câmp electromagnetic, care poate ușor determina valori de 0,5 - 4 kV/m la o distanță de mai puțin de 1 m. Acest câmp electromagnetic poate perturba sistemele electrice în interiorul unei incinte inadecvate, prin proprietățile de antenă ale fantei.

Elementele conductoare precum cablurile și fantele încep să radieze atunci când dimensiunile liniare depășesc aproximativ jumătate din lungimea de undă. Lungimea de undă λ a undelor electromagnetice și frecvența f sunt corelate prin intermediu vitezei luminii, cu relația $\lambda = c/f$. Unele perechi tipice de valori sunt indicate în tabelul 2.

f [MHz]	λ [m]
0,1	3000
1	300
10	30
100	3
1000	0,3

Tabelul 2 - Valori ale
frecvenței și lungimile de undă
corespunzătoare

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

În practică, incintele nu pot fi complet închise. Deschiderile precum porturile de intrare pentru cabluri și fantele de ventilație precum și găurile în jurul ușilor nu pot fi evitate. Aceste deschideri reduc eficiența ecranării unei incinte. În cazul unei construcții inteligente a incintei, se poate obține un nivel acceptabil al ecranării.

Nivelul dispersiilor datorită discontinuității în ecran depinde în principal de trei factori:

- ♦ dimensiunea liniară maximă a deschiderii;
- ♦ impedanța de undă;
- ♦ frecvența sursei.

Pentru fantele de lungime $l = \lambda/2$ eficiența ecranării este dată de relația

$$S = 20 \cdot \log\left(\frac{\lambda}{2 \cdot l}\right). \quad (8)$$

Reducerea lungimii fantei cu un factor 2 asigură creșterea eficienței ecranării cu 6 dB. În figura 17 este indicată eficiența ecranării pentru diferite frecvențe și diferite lungimi ale fantei.

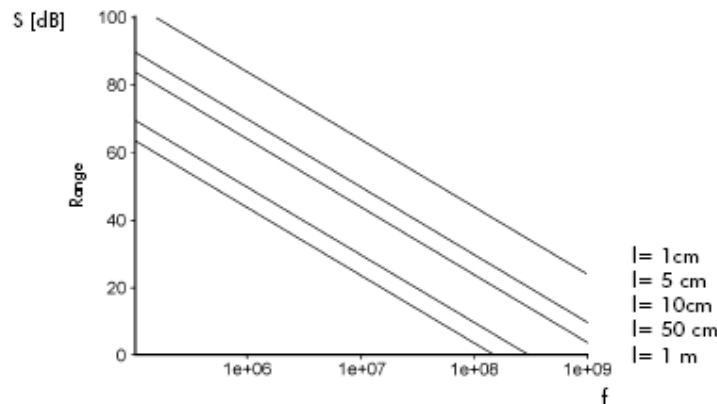


Figura 17 - Eficiența ecranării pentru fante de diferite lungimi, în funcție de frecvență.

În practica instalațiilor, lungimea maximă a fantelor trebuie să fie mai mică de 1/20 din lungimea de undă pentru a garanta că eficiența ecranării este cel puțin 20 dB. Din ecuația (8) sau din ecuația (7) poate fi obținută lungimea maximă corespunzătoare a fantei pentru o eficiență cerută a ecranării.

Perturbații electromagnetice complexe în practică

În cazurile practice privind perturbațiile electromagnetice coexistă, într-o combinație complexă, toate tipurile de cuplaje elementare prezentate mai sus. Un exemplu simplu al unui sistem de automatizare (figura 18) indică faptul că apar toate cuplajele, în același timp, pentru un singur sistem în contact cu mediul ambiant.

Orice sistem singular este inclus într-o rețea sau în alte sisteme și deci formează un sistem complex cu interrelații perturbatoare mutuale. Pentru a garanta o funcționare adecvată a întregului sistem, este necesar a genera așa numita matrice CEM și a o evalua, în procesul de planificare, atât pentru clădirile noi cât și pentru cele în reabilitare.

Directivile CEM și relevanța lor pentru instalațiile din clădiri

Directivile UE au intenția de a asigura că produsele realizate sau vândute în UE sunt conforme cu standardele și pot fi vândute în toate statele membre fără alte reglementări ulterioare. În cazul CEM, directiva UE 89/336, amendată de directivele 91/263/EEC, 92/31/EEC, 93/68/EEC și 93/97/EEC, indică standardele generale pentru orice produs, pentru a garanta compatibilitatea electromagnetică prin reducerea la maximum a nivelului

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

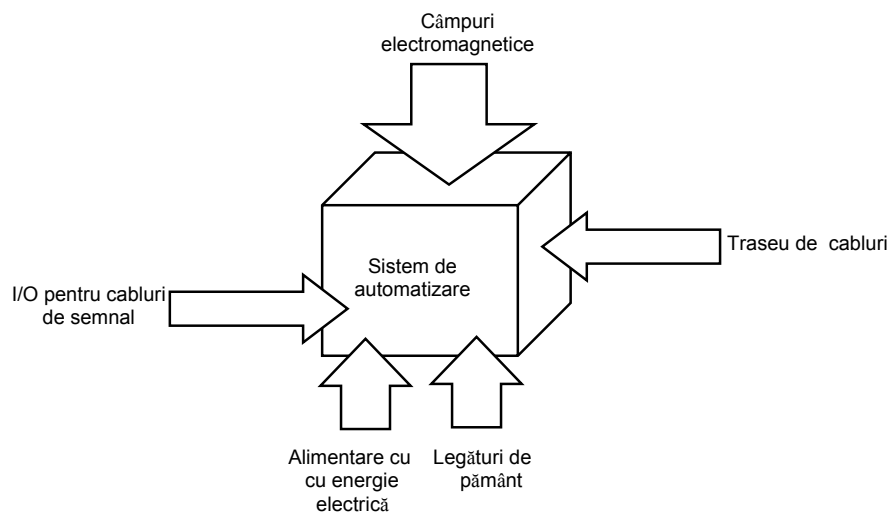


Figura 18 - Diferite căi de cuplare în cazul unui sistem de automatizare.

emisiilor produselor și imunitatea lor minimă la perturbațiile electromagnetice exterioare. Producătorii unui produs transportabil trebuie să declare conformitatea produsului cu standardele UE. Produsul este marcat cu semnul CE pentru a certifica conformitatea cu CEM și cu alte directive privind consumatorii.

În ceea ce privește instalațiile electrice nu este cerută declarația de conformitate și marca CE, totuși conformitatea cu standardele directivei EU trebuie garantată. Aceasta este sarcina celor responsabili de proiect, a inginerilor și constructorilor de instalații electrice. Aceștia trebuie să conducă la garantarea și verificarea conformității. În primul rând este utilizarea modulelor calificate CEM, care sunt instalate de către personal instruit CEM. În al doilea rând este utilizarea oricăror module disponibile și certificarea conformității instalațiilor prin măsurători efectuate de un laborator specializat CEM sau de către persoane autorizate. În orice caz, planificatorul trebuie să declare conformitatea cu standardele CEM ale directivei UE prin documente corespunzătoare. În plus producătorul instalației trebuie să asigure instrucțiuni clare pentru operare și mentenanță în conformitate cu anexa III a directivei UE. Aceste instrucțiuni trebuie să ofere informații asupra condițiilor impuse privind utilizarea, instalarea, ansamblarea, reglarea, punerea în funcțiune, funcționarea și mentenanța. Dacă este necesar, trebuie să fie incluse atenționări privind limitele de funcționare.

Calea cea mai sigură pentru a garanta conformitatea unei instalații electrice a unei clădiri poate fi obținută pe baza următoarelor reguli:

- ◆ luarea în considerare a CEM încă de la primele începuturi, utilizând, dacă este necesar, serviciul unui expert CEM;
- ◆ utilizarea numai a modulelor și a materialelor care sunt certificate CEM;
- ◆ utilizarea de personal instruit CEM pentru a conduce lucrările de instalare;
- ◆ ingineri calificați CEM trebuie să supervizeze lucrările de instalare.

Deoarece subiectul CEM a fost introdus relativ recent în cadrul cursului de instruire, acesta necesită o pregătire în continuare relativ la acest subiect.

Aspecte fundamentale ale Compatibilității Electromagnetice (CEM)

Bibliografie

- G Durcansky: EMC Correct Design of Apparatus (in German), Francis, 1995*
- Electromagnetic Compatibility (EMC), Guide to the Application of Directive 89/336/EEC, European Communities 1997*
- S Fassbinder: Disturbances of the Power Supply Network by Active and Passive Components (in German), VDE Verlag 2002*
- J Goedbloed: Electromagnetic Compatibility (in German), Pflaum Verlag, 1990*
- M Grapentin: EMC for the Installation of Buildings (in German), Verlag Technik, 2000*
- E Habiger: Electromagnetic Compatibility (in German), Hüthig, 1998*
- B Keiser: Principles of EMC, Artech House, 1987*
- VP Kodali: Engineering Electromagnetic Compatibility, IEEE Press, 1996*
- A Kohling: EMC of Buildings, Facilities and Apparatus (in German), VDE-Verlag, 1998*
- G Lehner: Theory of Electromagnetic Fields (in German), Springer, 1994*
- H W Ott: Noise Reduction Techniques in Electronic Systems, A Wiley, 1988*
- C R Paul: Introduction to Electromagnetic Compatibility, John Wiley, 1992*
- D Peier: Electromagnetic Compatibility (in German), Hüthig, 1990*
- A Rodewald: Electromagnetic Compatibility (in German), Vieweg, 1995*
- W Rudolph, O Winter: EMC according VDE 0100 (in German), VDE-Verlag, 2000*
- W Rudolph: An EMC Primer for Electricians (in German), VDE-Verlag, 2001*
- Guideline Electromagnetic Compatibility (in German), EMC-Guideline ZX62920D, 1998, Groupe Schneider*
- A Schwab: Electromagnetic Compatibility (in German), Springer, 1996*
- DIN/VDE 0848 : Safety in Electrical, Magnetic and Electromagnetic Fields (in German)*

Note

Parteneri de Referință & Fondatori*

European Copper Institute* (ECI) www.eurocopper.org	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid www.etsii.upm.es	LEM Instruments www.lem.com
Akademia Gornicz-Hutnicza (AGH) www.agh.edu.pl	Fluke Europe www.fluke.com	MGE UPS Systems www.mgeups.com
Centre d'Innovació Tecnològica en Convertidors Estàtics i Accionaments (CITCEA) www.citcea.upc.es	Hochschule für Technik und Wirtschaft* (HTW) www.htw-saarland.de	Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg www.uni-magdeburg.de
Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) www.ceiuni.it	Hogeschool West-Vlaanderen Departement PIH www.pih.be	Polish Copper Promotion Centre* (PCPC) www.miedz.org.pl
Copper Benelux* www.copperbenelux.org	International Union for Electrotechnology Applications (UIE) www.ue.org	Università di Bergamo* www.unibg.it
Copper Development Association* (CDA UK) www.cda.org.uk	ISR - Universidade de Coimbra www.isr.uc.pt	University of Bath www.bath.ac.uk
Deutsches Kupferinstitut* (DKI) www.kupferinstitut.de	Istituto Italiano del Rame* (IIR) www.iir.it	University of Manchester www.manchester.ac.uk
Engineering Consulting & Design* (ECD) www.ecd.it	Katholieke Universiteit Leuven* (KU Leuven) www.kuleuven.ac.be	Wroclaw University of Technology* www.pwr.wroc.pl
EPRI PEAC Corporation www.epri-peac.com	Laborelec www.laborelec.com	

Consiliul de redacție

David Chapman (Chief Editor)	CDA UK	david.chapman@copperdev.co.uk
Prof Angelo Baggini	Università di Bergamo	angelo.baggini@unibg.it
Dr Araceli Hernández Bayo	ETSII - Universidad Politécnica de Madrid	ahernandez@etsii.upm.es
Prof Ronnie Belmans	UIE	ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be
Dr Franco Bua	ECD	franco.bua@ecd.it
Jean-Francois Christin	MGE UPS Systems	jean-francois.christin@mgeups.com
Prof Anibal de Almeida	ISR - Universidade de Coimbra	adealmeida@isr.uc.pt
Hans De Keulenaer	ECI	hdk@eurocopper.org
Prof Jan Desmet	Hogeschool West-Vlaanderen	jan.desmet@howest.be
Dr ir Marcel Didden	Laborelec	marcel.didden@laborelec.com
Dr Johan Driesen	KU Leuven	johan.driesen@esat.kuleuven.ac.be
Stefan Fassbinder	DKI	sfassbinder@kupferinstitut.de
Prof Zbigniew Hanzelka	Akademia Gornicz-Hutnicza	hanzel@uci.agh.edu.pl
Stephanie Horton	LEM Instruments	sho@lem.com
Dr Antoni Klajn	Wroclaw University of Technology	antoni.klajn@pwr.wroc.pl
Kees Kokee	Fluke Europe BV	kees.kokee@fluke.nl
Prof Wolfgang Langguth	HTW	wlang@htw-saarland.de
Prof Henryk Markiewicz	Wroclaw University of Technology	henryk.markiewicz@pwr.wroc.pl
Carlo Masetti	CEI	masetti@ceiuni.it
Mark McGranaghan	EPRI PEAC Corporation	mmcgranaghan@epri-peac.com
Dr Jovica Milanovic	UMIST	jovica.milanovic@umist.ac.uk
Dr Miles Redfern	University of Bath	eesmar@bath.ac.uk
Dr ir Tom Sels	KU Leuven	tom.sels@esat.kuleuven.ac.be
Prof Dr-Ing Zbigniew Styczynski	Universität Magdeburg	Stv@E-Technik.Uni-Magdeburg.de
Andreas Sumper	CITCEA	sumper@citcea.upc.es
Roman Targosz	CITCEA-UPC	cem@miedz.org.pl
Dr Ahmed Zobia	Cairo University	azmailinglist@link.net



Hochschule für
Technik und Wirtschaft
des Saarlandes
University of Applied Sciences



EMC-Laboratory
Hochschule für Technik und Wirtschaft
University of Applied Sciences
Goebenstrasse. 40
D66 117 Saarbrücken
Germany

Tel: 0049 681 5867279
Fax: 0049 681 5867302
Web: www.htw-saarland.de

Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Langguth



Membră a
EUREL

Societatea Inginerilor Energeticieni din România
No. 1, Lacul Tei Avenue, PO/BOX 30-33
020371 Bucharest
Romania

Tel: 4 0722 36 19 54
Fax: (4 021) 610 52 83
Email: office@sier.ro
Websites: www.sier.ro



European Copper Institute
168 Avenue de Tervueren
B-1150 Brussels
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70
Fax: 00 32 2 777 70 79
Email: eci@eurocopper.org
Website: www.eurocopper.org