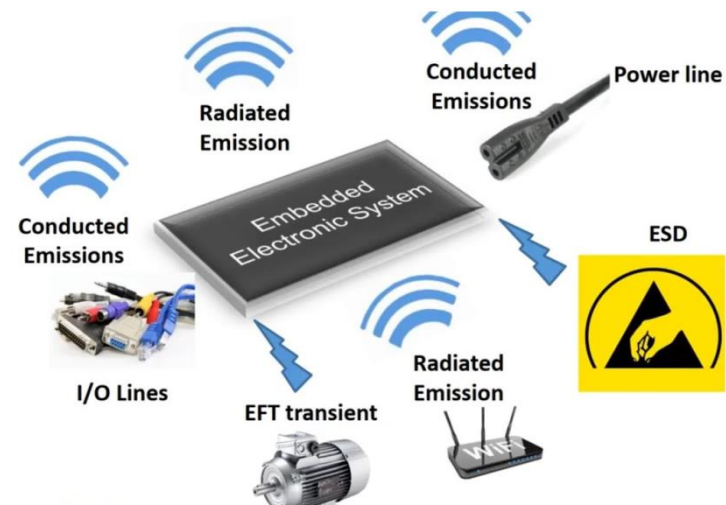


COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICĂ

Tema 1.

INTRODUCERE ÎN COMPATIBILITATEA ELECTROMAGNETICĂ.

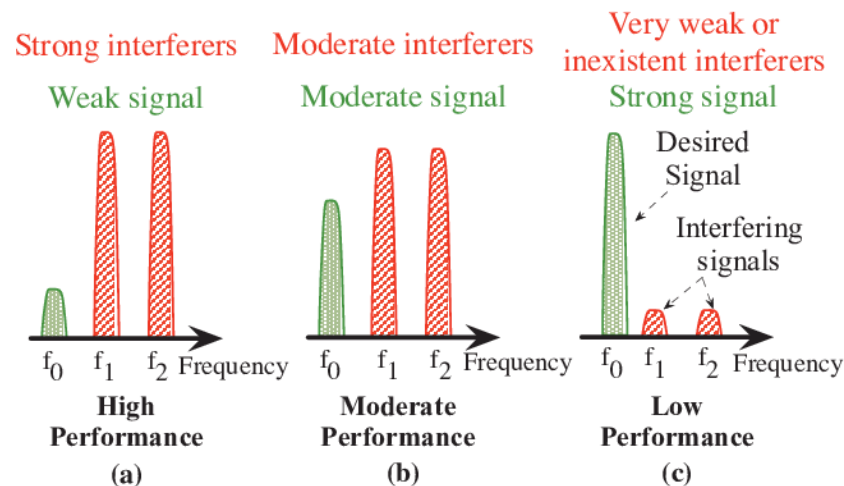
Definirea conceptelor de compatibilitate electromagnetică. Necesitatea controlului emisiei electromagnetice. Necesitatea controlului imunității electromagnetice. Aspecte importante ale siguranței în funcționarea echipamentelor și dispozitivelor electrice.



Introducere

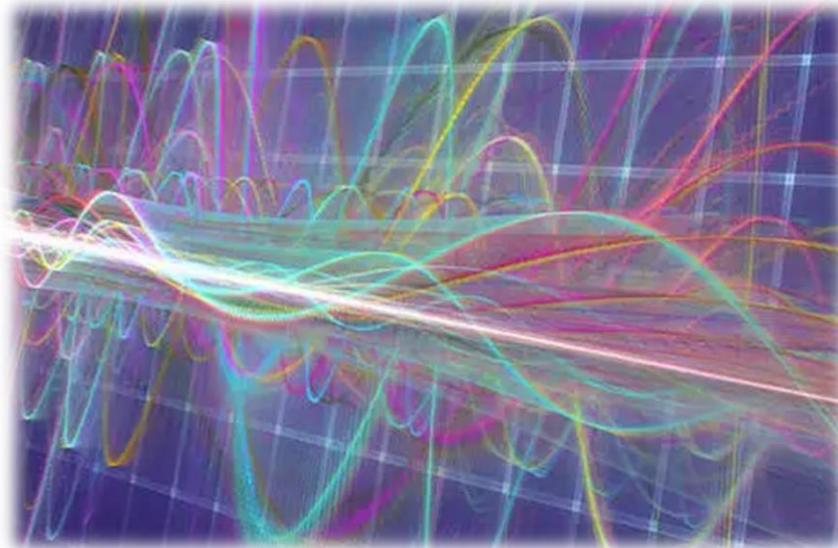
Funcționarea tuturor aplicațiilor electricității, începând chiar cu primele semnificative, este însoțită de fenomene perturbatoare. Astfel, primele instalații de telegrafie, datând din anii 1850, au resimțit efectele negative ale fenomenului de diafonie, rezultat al cuplajului dintre linii electrice care funcționează în apropiere.

Electrificarea transporturilor, care a început în jurul anilor 1910, a pus în evidență un alt fenomen, constând în interferarea dintre semnalele liniilor de telecomunicații și cele din liniile de transport al energiei electrice. Micșorarea acestor cuplaje a fost posibilă prin înlocuirea liniilor telefonice aeriene, care se întindeau în lungul căilor feroviare, cu linii blindate în cablu. În aceeași epocă sunt puse la punct primele echipamente de protecție împotriva loviturilor de trăsnet.



Introducere

Începuturile transmisiunilor radio, petrecute în anii 1920-1930, au impus reducerea nivelului perturbator al unor echipamente și instalații, precum și micșorarea susceptibilității radioreceptoarelor la perturbații. Stabilirea valorilor limită, punerea la punct a procedeeleor de măsurare și control etc., au făcut obiectul unor negocieri foarte complexe între “perturbatori” și “perturbați” punându-se, pentru prima dată, problema înființării unor organisme internaționale de control, care să supravegheze respectarea acordurilor încheiate. Așa a apărut, în 1934, CISPR (Comitetul Internațional Special de Perturbații Radioelectrice). Protecția transmisiunilor radio a fost extinsă și la noile servicii care apar între timp: televiziune, radionavigație, securitate aeriană etc.



Introducere

Spre sfârșitul celui de al doilea război mondial, apar tehnologiile electronice de reglaj, destinate controlului instalațiilor de putere. Coexistența în instalații a curenților „tari” și „slabi” a condus la adoptarea unor mijloace de compatibilizare, dintre care se citează antiparazitajul, conectarea la pământ, decuplarea galvanică, ecranarea.

Apariția microelectronicii (tranzistorul-1948, tehnologia planară- 1960, TTL-1965, microprocesorul-1971) a permis miniaturizarea celulelor de procesare a semnalelor care, astfel, au devenit însă mai sensibile, atât la semnalele utile, cât și, în mod nedorit, la cele perturbatoare. Mai mult, energia cerută pentru distrugerea unui astfel de dispozitiv a scăzut de la valori de ordinul 10^{-3} J, specifice tuburilor electronice și releelor, la 10^{-6} J pentru un tranzistor, respectiv 10^{-7} J, pentru un circuit integrat.



Introducere

În 1958 s-a avansat ideea că o eventuală explozie atomică în atmosferă ar genera perturbații electromagnetice capabile să scoată din funcțiune rețele de telecomunicații și instalații de reglaj și control, extinse la scara unui întreg continent. Acest risc potențial a creat o anumită panică în mediile militare și civile și, ca urmare, s-au inițiat studii privind protecția echipamentelor și instalațiilor în raport cu efectele perturbatoare ale impulsului electromagnetic nuclear.

Până în anii 1960, diferitele tipuri de interacțiuni au fost studiate de o manieră mai mult sau mai puțin independentă, în aplicații care aveau drept scop punerea la punct a unor soluții particularizate pentru unele probleme de interferență electromagnetică. Revoluția științifică și tehnică a condus însă la o estompare continuă a granițelor dintre diverse discipline, deoarece aplicațiile electricității, de la cele de mare putere până la cele informaționale, trebuie să funcționeze în bune condiții în spații din ce în ce mai restrânse. Generalizarea energiei electrice ca formă „ecologică” de energie a condus la creșterea densității aplicațiilor electricității, cu repercusiuni imediate asupra „întăririi” influențelor reciproce, exercitate pe cale electromagnetică, între aceste aplicații.

Introducere

Abordarea CEM trebuie făcută în cadrul „triunghiului perturbator”, constituit din sursele de perturbații, canalele de transmisie a acestora și sistemele „victimă”. În viziune dinamică, se impune considerarea momentelor în care emit sursele de perturbații în raport cu nivelurile de susceptibilitate ale sistemelor victimă, în acele momente.

În Tabel sunt prezentate sintetic principalele invenții care au marcat istoria aplicațiilor electricității.

Aplicații ale electricității

Anul	Aplicația	Domeniul de utilizare	Procese perturbatoare
1875	Telefonul	Telefonie	Diafonia, descărcările atmosferice
	Generatorul	Rețele și instalații de curenți tari	Interferențe în curenți tari
1900	Radio	Radiofonie	Interferențe radio
1920	Tiratronul	Electronică industrială	Interferențe în diferite benzi de frecvență
1950	Tranzistorul		Problema legării la pământ și la masa electronică
	Tiristorul		
1960	Tehnica planară	Microelectronica	Descărcări electrostatice
1970	Microprocesorul	Prelucrarea informației	Fenomene tranzitorii

Introducere

Dezvoltarea tehnologică înregistrată între cele două războaie mondiale se concretizează prin extinderea rețelelor de curent alternativ și exploatarea acestora în regim de interconectare, utilizarea în industrie a electromotoarelor asistate de sisteme de automatizare tot mai complexe și prin utilizarea energiei electrice în tracțiunea feroviară și electrotermie.

În domeniul casnic se creează premisele apariției aparatelor electromenajere (aspiratoare, frigidere, radiatoare etc.), iar în cel al comunicațiilor, prin utilizarea tuburilor electronice, se realizează primele transmisiuni prin radio și se pun în funcțiune rețelele de radiodifuziune. În această perioadă, echipamentul electric este, aproape fără excepție, de tip electromecanic, caracterizat prin consumuri proprii ridicate, fapt care făcea necesară alimentarea acestuia cu tensiuni și curenți de valori mari.

În aceste condiții, echipamentul de automatizare era afectat doar de fluctuațiile rapide de tensiune de tip *flicker* sau de întreruperile în alimentarea cu energie.

Introducere

După cel de al doilea război mondial, interconectarea rețelelor de înaltă și foarte înaltă tensiune se generalizează, astfel încât problema întreruperilor de lungă durată în alimentarea cu energie electrică se estompează. Prin contrast, capătă importanță efectele golurilor și întreruperilor de scurtă durată, localizate în rețelele de medie tensiune, mai cu seamă în contextul generalizării tratării neutrului în aceste rețele.

La perturbațiile menționate se adaugă fluctuațiilor rapide de tensiune (*flicker*) datorate funcționării cuptoarelor cu arc și a instalațiilor de sudare electrică și poluarea armonică, introdusă de instalații de electroliză de mare putere. Crește gradul de utilizare al sistemelor electronice în automatizări, fenomen accelerat încă prin apariția unor dispozitive semiconductoare de bază, ca tranzistorul și tiristorul. Puterea consumată în instalațiile de protecție și automatizare scade, ceea ce permite proliferarea acestora.

Astfel, instalațiile de curenți slabi, din ce în ce mai numeroase, funcționează tot mai aproape, sub raport geometric, de instalațiile de curenți tari, fapt care introduce disfuncții datorate interacțiunilor electromagnetice dintre acestea.

Introducere

Progresul tehnologic, resimțit cu începere din anii 1960-1970 și care continuă și azi, a făcut posibile:

- introducerea electronicii de putere în instalațiile electroenergetice;
- diversificarea puternică a utilizării energiei electrice în domeniile industrial (cuptoare cu rezistență, cu inducție de înaltă frecvență, cu radiații infraroșii, cu arc etc.), transporturi, comercial și casnic (tehnică de calcul, instalații de aer condiționat și refrigerare, aparate electromenajere foarte diferite), comunicații (telefonie staționară și mobilă, radio, televiziune, radar, GSM etc.);
- explozia informațională, concretizată prin utilizarea tehnicii de calcul în toate domeniile.

În condițiile menționate, doar o abordare sistemică a modului în care funcționarea simultană a mai multor categorii de aplicații ale electricității, concentrate într-un mediu electromagnetic relativ restrâns se influențează reciproc, poate da soluții privind compatibilitatea și compatibilizarea acestora. Trebuie subliniat că astfel de preocupări au, de altfel, caracter istoric deoarece au însoțit permanent progresul tehnologic în electricitate și electromagnetism, coagulând și structurând o direcție de cercetare teoretică și aplicativă nouă, cum este cea cunoscută sub denumirea de **compatibilitate electromagnetică (CEM)**.

Introducere

Studiile tehnice și lucrările de normalizare arată că, oricare ar fi frecvența:

- fenomenele fizice susceptibile de a fi perturbatoare sunt totodată aleatoare și inevitabile;
- imunitatea echipamentelor la un anumit tip de perturbații prezintă o anumită dispersie;
- locul instalării unui echipament, condițiile în care aceasta se face și caracteristicile punerii sale în funcțiune introduc o nouă variabilă aleatoare, ce poate califica mediul electromagnetic;
- gradul de satisfacție sau de insatisfacție resimțit de utilizator constituie un criteriu de apreciere a calității.

Noțiunea de calitate în utilizarea energiei electrice a evoluat în cei aproape o sută de ani, care ne separă de începutul acestui secol. Atunci calitatea era sinonimă cu prezența tensiunii. Dată fiind natura aleatoare a parametrilor susceptibili de a măsura calitatea, s-a convenit ca acesteia să i se substituie noțiunea de CEM.

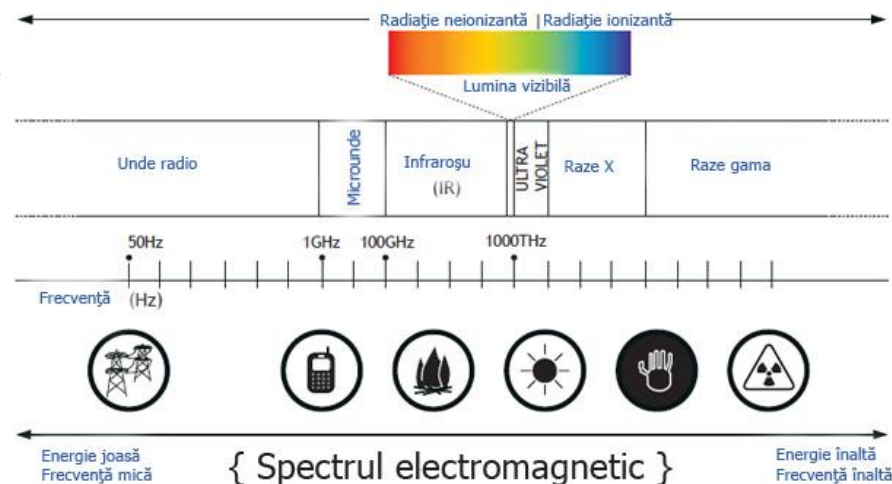
Introducere

Compatibilitatea electromagnetică este un domeniu de mare actualitate, fiind impusă de dezvoltarea electronicii, a electrotehnicii neliniare, extinderea și diversificarea rețelelor de comunicații și transmisii de date, creșterea gradului de interconectare în cadrul rețelelor energetice de altă natură.

Toate acestea au condus la creșterea gradului de poluare electromagnetică atât în mediul înconjurător, cât și în cadrul tuturor rețelelor energetice, de comunicații sau de altă natură.

Poluarea electromagnetică conduce la diverse efecte nedorite, printre care se numără:

- Utilizarea inadecvată a spectrului de radio-frecvențe;
- Disfuncționalități pentru echipamentele electrice, electronice și de radio;
- Impact negativ asupra țesuturilor umane;
- Risc de aprindere a unor substanțe inflamabile.



Introducere

Conceptul de compatibilitate electromagnetică își are rădăcinile în fenomenele de influențare sau interferență din domeniul tehnic al radiofrecvențelor. De exemplu, atunci când un receptor radio, care este setat pe aceeași frecvență cu un emițător radio, captează și semnale de la alte emițătoare, apare fenomenul de interferență.

Compatibilitatea electromagnetică (CEM) este capacitatea echipamentelor electrice, electronice și de radio de a funcționa în armonie, astfel încât să nu emită niveluri de perturbări electromagnetice considerate inacceptabile și să nu reacționeze imprevizibil la emisiile provenite de la alte sisteme din mediul lor ambiental în care sunt utilizate.

Compatibilitatea electromagnetică este capacitatea unui echipament electric sau electronic de a opera în mod corespunzător într-un mediu înconjurat de câmpuri electromagnetice, fără să afecteze în mod negativ alte echipamente din acel mediu.



Introducere

Un dispozitiv electric este considerat compatibil atunci când, în calitate de emițător, generează emisii care sunt tolerabile, și în calitate de receptor, are o imunitate adecvată pentru a rezista la perturbări.

Normativele inițiale privind compatibilitatea electromagnetică se concentrau în principal pe aspectele legate de radiorecepție, extinzându-se ulterior și în ceea ce privește asigurarea imunității produselor.

În procesul de transfer al semnalului de la emițător la receptor, sunt fundamentale următoarele aspecte:

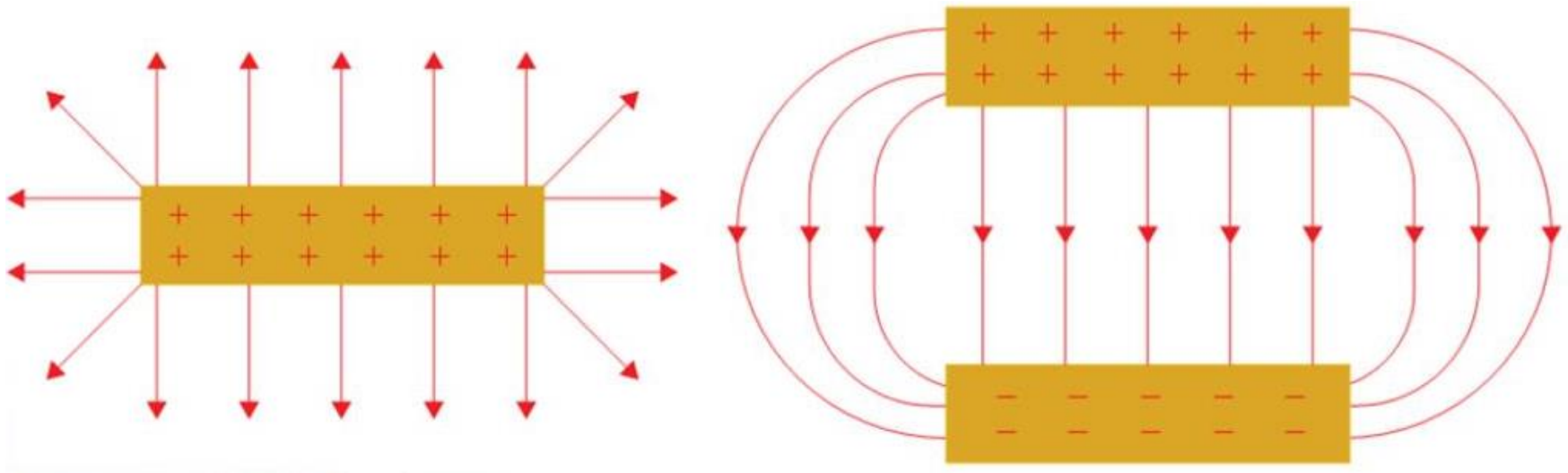
- Generarea proceselor fizice prin care are loc influențarea semnalului util;
- Utilizarea mijloacelor tehnice pentru măsurarea influențelor.



Introducere

Influența sau **interferența** este resimțită la nivelul receptorului, deoarece energia electromagnetică provenită de la alte emițătoare decât cel pentru care receptorul este pregătită, poate modifica sau afecta semnalul util. Această influențare sau interferență a semnalului util are loc prin intermediul unor tipuri de cuplaje:

- Cuplaje galvanice;
- Cuplaje inductive;
- Cuplaje capacitive;
- Cuplaje de radiație electromagnetică.



Emitătoare

Din perspectiva compatibilității electromagnetice, putem identifica două tipuri de echipamente: emitatoare de perturbări electromagnetice și receptoare de perturbări electromagnetice.

Emitătoare se consideră:

- Lampile cu descărcări în gaze, în momentul aprinderii;
- Sistemul "DELCO" de aprindere la autovehicule;
- Sistemele de emisie radio, televiziune, radar;
- Exploziile nucleare;
- Descărcările atmosferice între nori sau între nori și pământ;
- Motoarele electrice cu colector.

Receptoare

Din perspectiva compatibilității electromagnetice, putem identifica două tipuri de echipamente: emitatoare de perturbări electromagnetice și receptoare de perturbări electromagnetice.

Receptoare se consideră:

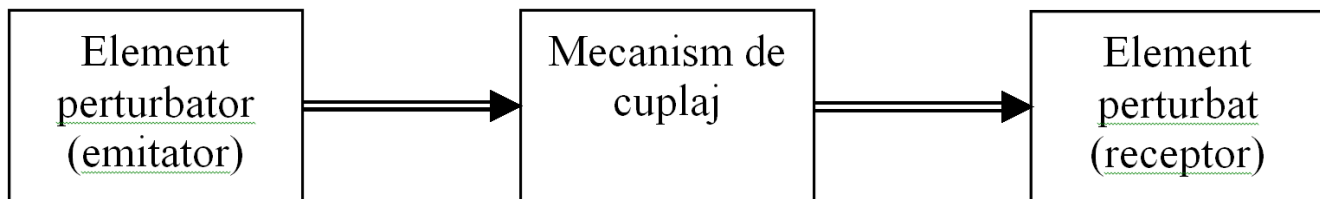
- Sistemele de automatizare cu semiconductoare, care pot recepționa semnale false;
- Sistemele de recepție a informațiilor (telefonice, televizate, radar);
- Sistemele de măsurare electrică a mărimilor electrice și neelectrice (osciloscoape, etc.);
- Rețelele de calculatoare;
- Microscopul electronic.

Perturbații

Unele echipamente au dublă funcție, putând acționa atât ca emițătoare, cât și ca receptoare.

Un sistem compus dintr-o sursă și un receptor poate suferi perturbații cumulate, incluzând cuplajul galvanic, cuplajul inductiv, cuplajul capacitiv, etc.

Semnalul de perturbații este uneori denumit "zgomot electromagnetic", deoarece prezența sa poate distorsiona informația utilă transmisă de la sursă la receptor și poate diminua claritatea acesteia. În lipsa măsurilor tehnice adecvate, nivelul zgomotului în domeniul transmiterii informației poate ajunge la un ordin similar de mărime cu nivelul semnalului util.



Model de perturbații.

Perturbații

Nivelul de referință al zgomotului electromagnetic este considerat a fi nivelul zgomotului galactic. Nivelul semnalului util este evaluat în raport cu acest nivel de referință și, de obicei, se situează deasupra nivelului perturbațiilor funcționale.

Nivelul de prag al zgomotului corespunde situației în care nivelul perturbației funcționale este identic cu nivelul semnalului util. O reducere ulterioară a semnalului util este percepută la receptor ca zgomot.

Nivelele de semnal util și de zgomot menționate sunt valabile numai pentru o bandă îngustă de frecvență Δf , în jurul unei frecvențe centrale f_c , și doar la un moment dat.

Măsurarea nivelurilor de semnal util și de zgomot poate fi realizată în mod absolut.

Distanța dintre nivelul semnalului util și nivelul zgomotului funcțional este exprimată în decibeli (dB).

Sursele de perturbații

Sursele de perturbații, după natura lor, pot fi:

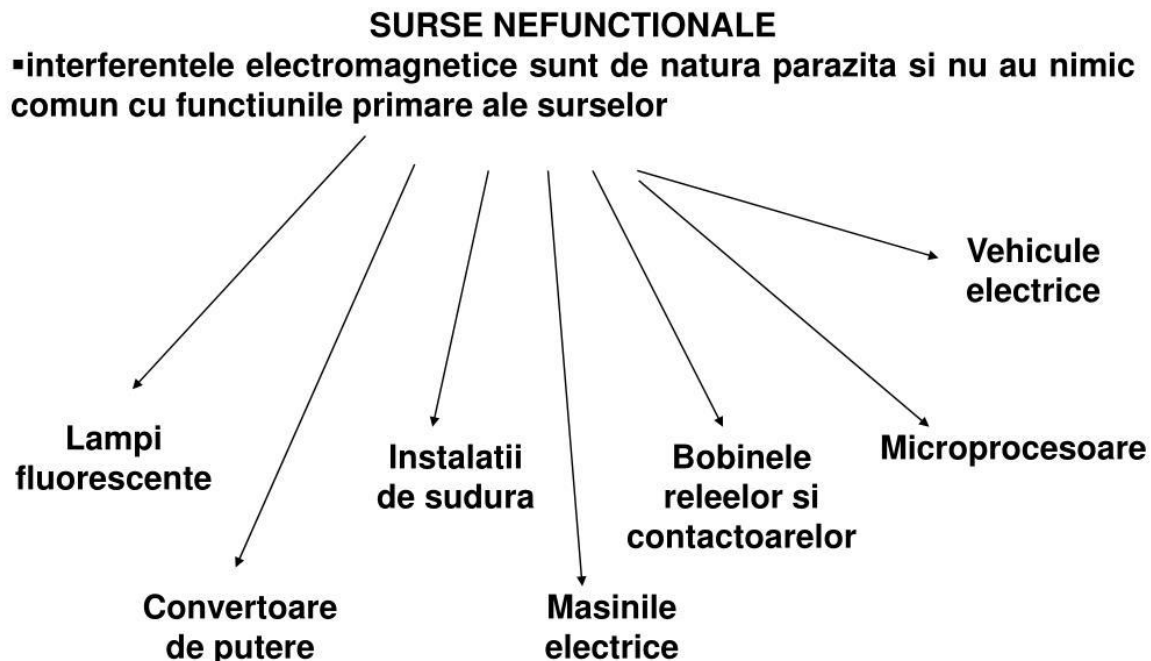
- **naturale**, terestre (electricitate atmosferică, descărcări precum fulgerele și trăsnetele, ...) sau extraterestre (radiațiile cosmice, radiațiile emise de Soare);
- **artificiale**, rezultat al activității oamenilor, de o mare varietate, dat fiind că orice echipament, aparat electric este o sursă de energie EM care se propagă în spațiu; câteva surse frecvent întâlnite sunt:
 - circuitele de transport și distribuție a energiei electrice în c.a. sau c.c.;
 - sistemele de comutare din circuitele de alimentare;
 - mașini și aparate electrice și electronice, de la motoare și generatoare la calculatoare și
 - aparate de măsură și control;
 - emițătoare radio, de cele mai variate tipuri;
 - sistemele de iluminat fluorescent;
 - sistemele electrice ale vehiculelor.

Sursele de perturbații

Trebuie subliniat că într-un echipament electric, unele subansamble, circuite, pot fi surse de perturbații pentru alte subansamble, în final afectând funcționarea întregului sistem.

Pentru ca o perturbație generată de o sursă să pătrundă într-un sistem trebuie să existe o cale de pătrundere, adică cele două sisteme (sursa și receptorul) trebuie să fie cuplate.

Când între două sisteme este posibil schimb de energie EM se spune că există un cuplaj EM. Dacă energia transferată este perturbatoare, este vorba de un cuplaj parazit.



Cuplajele parazite

Cuplajele parazite pot fi:

- prin căi prin care circulă curenți electrici și în acest caz se vorbește despre **perturbații conduse**, despre **cuplaj galvanic** sau **prin conducție**;
- prin câmp electric și acest caz se vorbește despre **cuplaj capacitiv** sau electric;
- prin câmp magnetic și acest caz se vorbește despre **cuplaj inductiv** sau **magnetic**;
- prin câmp electromagnetic și în acest caz se vorbește despre **cuplaj prin radiație**.

Strict vorbind, câmp electric sau magnetic “pur” există numai în regim static (E sau H sunt invariabili în timp). Deoarece la frecvențe joase și la distanțe mici între surse și receptori numai una dintre componente contează, se poate vorbi despre cuplaje capacitive – dacă sursa de câmp este un potențial variabil sau despre cuplaje inductive – dacă sursa este o bobină, o buclă de curent etc.

Fenomene perturbatoare și surse de perturbații

Fenomene perturbatoare	Surse de perturbații
<p><u>Prin conducție, la joasă frecvență</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • armonici, interarmonici • fluctuații de tensiune • salturi și întreruperi de tensiune • variații de frecvență 	<ul style="list-style-type: none"> • Comutații în rețeaua de alimentare • Defecte în tensiunea de alimentare • Regimuri tranzitorii • Consumatori neliniari • Convertoare electronice de putere
<p><u>Prin radiație, la joasă frecvență</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • câmpuri magnetice la frecvența fundamentală; • câmpuri electrice la frecvența fundamentală; 	<ul style="list-style-type: none"> • Curenți/tensiuni în conductoare
<p><u>Prin conducție la înaltă frecvență</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • vârfuri (spikes) de tensiune • fenomene tranzitorii rapide 	<ul style="list-style-type: none"> • Comutația circuitelor • Trăsnete • Impulsul electromagnetic nuclear
<p><u>Prin radiație la înaltă frecvență</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • câmpuri magnetice • câmpuri electrice • câmpuri electromagnetice continue • câmpuri electromagnetice tranzitorii 	<ul style="list-style-type: none"> • Curenți/tensiuni în conductoare • Emițătoare radio, TV • Trăsnete • Impulsul electromagnetic nuclear
<p><u>Descărcări electrostatice</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Încărcări electrostatice

Cuplajele parazite

În realitate, rareori există numai un singur tip de cuplaj – de regulă, perturbațiile pătrund prin toate căile. Frecvent, perturbațiile pătrunse printr-un anumit tip de cuplaj sunt predominante. Deoarece măsurile antiperturbative diferă în funcție de tipul cuplajului, este important să se cunoască tipul de cuplaj parazit predominant.

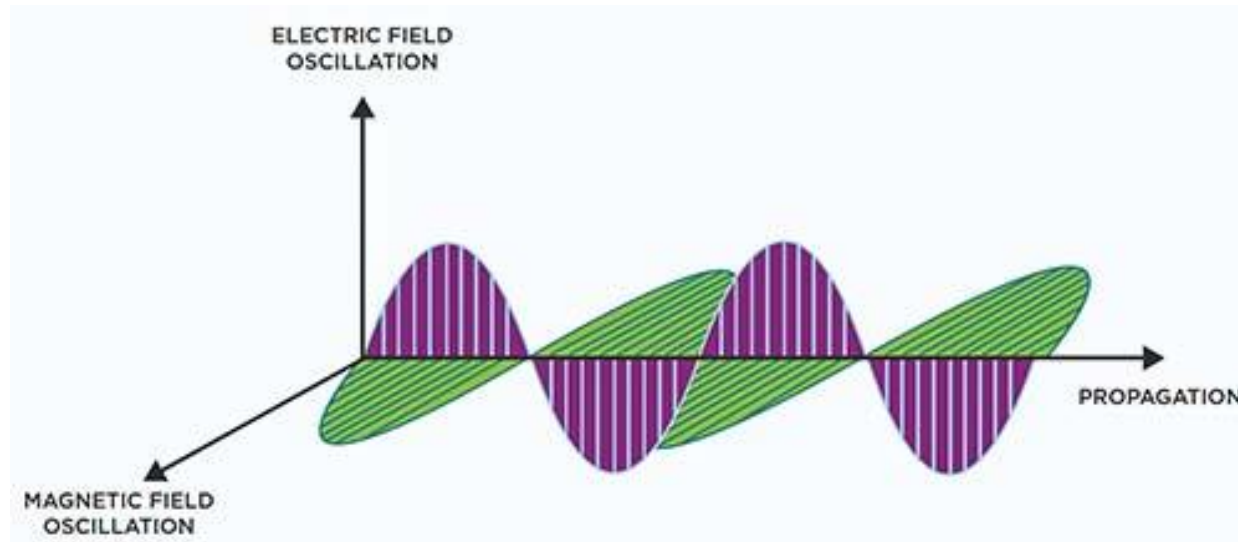
Funcționarea receptorului cuplat parazit cu o sursă poate fi perturbată în variate moduri, de la scăderea performanțelor la avariere, distrugere. Astfel, se poate discuta despre **susceptibilitatea EM**, adică incapacitatea unui dispozitiv, circuit, sistem, de a funcționa fără degradarea performanțelor în prezența perturbațiilor EM; **nivelul de susceptibilitate** este determinat de nivelul maxim al perturbațiilor în prezența cărora sistemul încă funcționează corect. Se poate vorbi și despre **imunitate EM**, adică despre capacitatea unui sistem de a funcționa corect în prezența perturbațiilor EM.

Perturbații de mod diferențial și de mod comun

Atunci când semnalul util este transmis de la sursă la receptor prin intermediul conductoarelor electrice, interferențele pot apărea sub forma unor curenți de conducție.

În funcție de modul în care acești curenți intră prin bornele receptorului, pot apărea două tipuri de Perturbații:

- de mod diferențial;
- de mod comun.



Perturbații de mod diferențial

Perturbațiile apar atunci când curentul de interferență intră printr-o bornă a receptorului și iese prin cealaltă bornă.

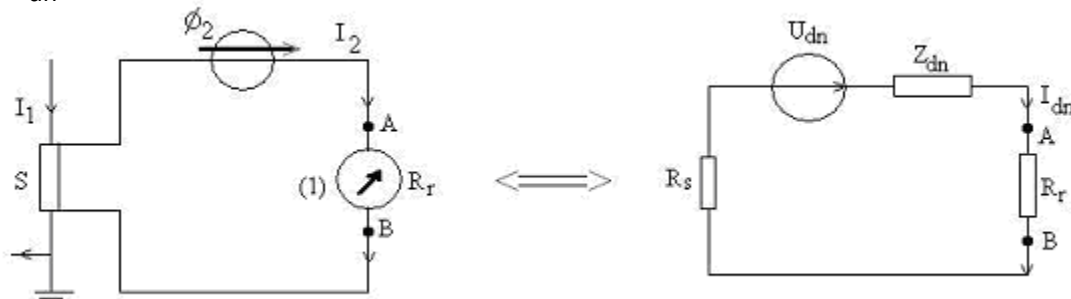
- Când un conductor este străbătut de un curent I_2 variabil în timp, acesta generează, prin inducție electromagnetică, o tensiune de interferență. Această tensiune determină un curent care intră printr-o bornă a receptorului și iese prin cealaltă.
- Curentul I_2 conține propriile sale componente armonice, prin urmare, și curentul de interferență care circulă în bucla de măsurare are același conținut de armonice.

- Armonica de ordin "n" a curentului de interferență va fi:
$$I_{dn} = \frac{U_{dn}}{R_s + R_{dn} + R_r}$$
 unde:

U_{dn} – este armonica de ordin "n" a tensiunii de interferență indusă;

R_s, R_r – rezistența electrică a șuntului, respectiv a receptorului;

Z_{dn} – impedanța transformatorică raportată la secundar.



La bornele receptorului, între bornele A și B, există simultan atât tensiuni de semnal util cât și de interferență.

$$U_{mr} = R_s \cdot I_m$$

$$U_{dnr} = \frac{U_{dn} \cdot R_r}{R_s + R_r + R_{dn}} = I_{dn} \cdot R_r$$

Măsurarea unui curent intens cu ajutorul unui șunt

Perturbații de mod comun

În această situație, curentul de interferență intră prin ambele borne ale receptorului și se închide prin intermediul capacităților parazite.

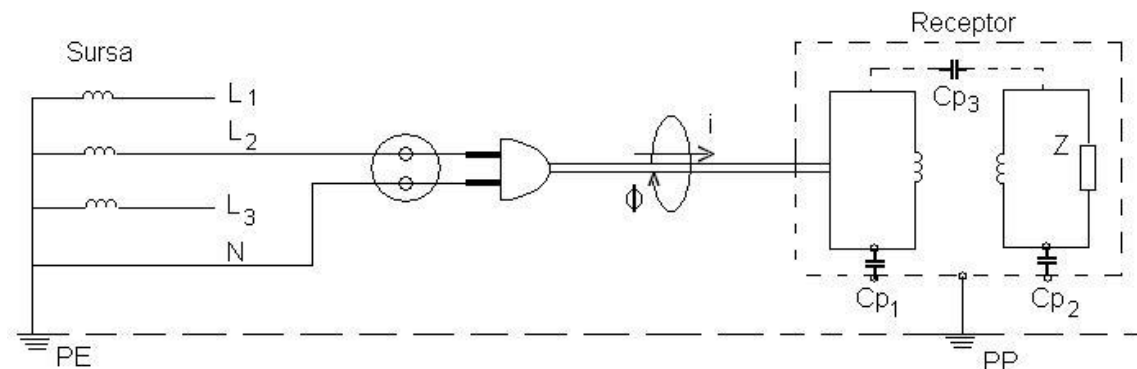
Sursa este un transformator cu neutrul conectat la pământ. Receptorul are o carcasă metalică conectată la pământ.

În cordonul de alimentare al receptorului, cele două conductoare electrice sunt practic în aceeași poziție și la aceeași distanță față de pământ.

Curentul variabil generează curenți de interferență orientați în același sens în cele două conductoare ale cordonului de alimentare a receptorului. Închiderea curenților de interferență se realizează prin intermediul capacităților parazite, a pământului și a neutrului transformatorului.

Interferența devine importantă când valoarea curentului este mare, iar frecvența armonicilor este de ordin superior.

Neutralizarea efectului radiației electromagnetice se realizează cu ajutorul filtrelor, ecranelor și a spațiilor ecranate.



Alimentarea cu energie electrică a unui receptor electric sau electronic

Necesitatea și complexitatea studiului CEM

Echipamentele și sistemele sunt întotdeauna supuse perturbațiilor electromagnetice și orice echipament electromagnetic este, la rândul lui, mai mult sau mai puțin un generator de perturbații. Aceste perturbații sunt generate în multe moduri. Oricum, cauza principală este variația bruscă a curentului sau a tensiunii.

Propagarea perturbațiilor poate avea loc prin conducție, de-a lungul conductoarelor și cablurilor electrice sau prin radiație, sub forma undelor electromagnetice.

Perturbațiile electromagnetice produc fenomene nedorite. Două exemple sunt cauzate de emisiile electromagnetice: interferența cu undele radio și interferența cu sistemele de monitorizare și control.



Necesitatea și complexitatea studiului CEM

- În ultimii ani, câteva tendințe au făcut mai important studiul CEM :
 - perturbațiile au devenit mai puternice cu creșterea valorilor tensiunilor și ale curenților;
 - circuitele electronice devin din ce în ce mai sensibile;
 - distanța dintre circuitele sensibile (electronice) și circuitele perturbatoare (rețeaua electrică) devine mai mică.
- Orice lucru care implică și compatibilitatea electromagnetică presupune analiza a trei componente de sistem:
 - sursa sau generatorul de perturbații;
 - fenomenele de propagare sau cuplaj;
 - victima, sistemul sau echipamentul afectat.

Necesitatea și complexitatea studiului CEM

Analiza teoretică este dificilă, deoarece are în vedere propagarea undelor electromagnetice, descrisă de modele diferențiale complexe (ecuațiile lui Maxwell) care, în general, nu pot fi rezolvate prin metode analitice pentru dispozitivele reale (la care nu s-au aplicat simplificări, idealizări).

Chiar și cu sisteme de calcul performante, o soluție numerică finală este adesea dificil de obținut.

În practică, problemele CEM trebuie abordate de multe ori prin ipoteze simplificatoare, utilizând diferite modele și validarea acestora prin experimente și măsurători.

Necesitatea și complexitatea studiului CEM

În studiul CEM, principalii factori sunt reprezentați în Figura de mai jos, unde s-a notat:

ME-mediu electromagnetic,

ESP-echipamente sursă de perturbații,

PR-perturbații radiante,

PC-perturbații de cuplaj,

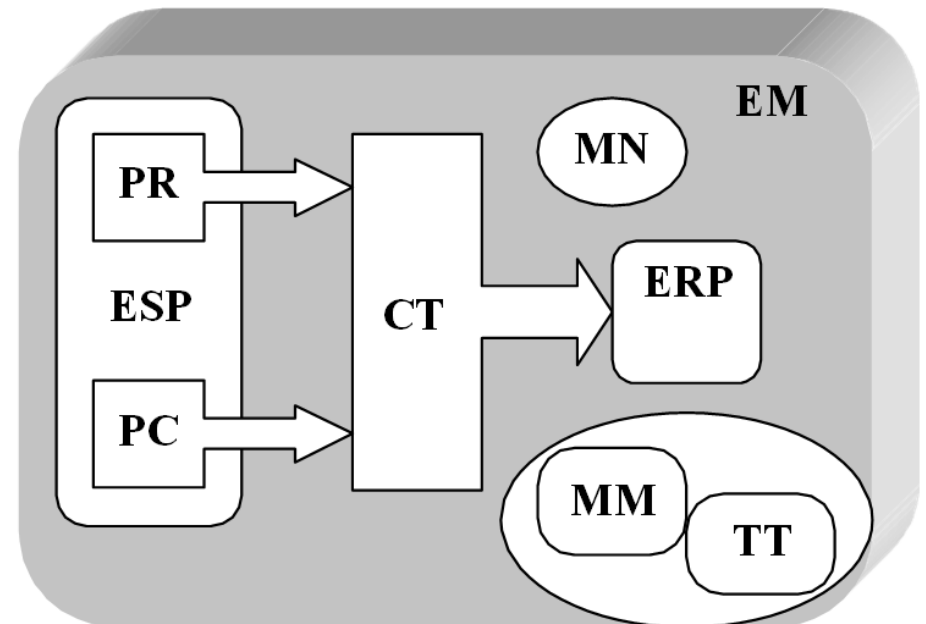
CT-cale de transmisie,

ERP-echipamente receptor de perturbații,

MN-mijloace de neutralizare,

MM-metode de măsurare,

PI-procedee de încercare.



Generalizare

De menționat că un echipament perturbator poate fi în același timp perturbat de altul, perturbator la rândul lui și invers. O primă clasificare a perturbațiilor electromagnetice se poate face în perturbații de joasă frecvență, respectiv perturbații de înaltă frecvență, domeniul electroenergetic fiind interesat de ambele categorii. După natura căii de transmisie, perturbațiile pot fi radiante (transmise la distanță prin câmp electromagnetic), respectiv prin cuplaj (prin conducție: galvanic, inductiv, capacitiv).

Controlul imunității electromagnetice și gestionarea aspectelor de siguranță sunt elemente vitale în funcționarea optimă a echipamentelor și dispozitivelor electrice, garantând protecția împotriva interferențelor și asigurând operațiuni fiabile și sigure.

