

COMPATIBILITATE ELECTROMAGNETICĂ

Tema 4.

SURSE DE PERTURBAȚII. INFLUENȚA ASUPRA ECHIPAMENTELOR ELECTRONICE ȘI OMULUI

Clasificarea perturbațiilor. Influența câmpurilor create de dispozitivele electroenergetice asupra obiectelor biologice.

Clasificarea perturbatiilor

In practica sursele de perturbatii electromagnetice pot fi naturale sau create de om.

- Cele de origine naturala (datorate *fenomenelor atmosferice, radiatiilor cosmice, zgomotului termic*, etc.) trebuie considerate ca fenomene inevitabile.
- Pentru cea de-a doua categorie, sursele de perturbatii electromagnetice pot fi insa controlate printr-o utilizare adecvata a spectrului electromagnetic si o limitare locala a surselor accidentale de producere a energiei electromagnetice.

Clasificarea perturbatiilor

Avand in vedere marea diversitate a perturbatiilor - semnale nedorite care se suprapun peste semnalul util si/sau semnale care pot afecta functionarea sau distruge echipamentele electrice, electronice sau de radio, respectiv canalele de transmisie - exista mai multe criterii de clasificare a acestora:

- dupa banda de frecvente ocupata de spectrele lor, perturbatiile pot fi:
 - de joasa frecventa;
 - de inalta frecventa.

Clasificarea perturbatiilor

Din punctul de vedere al mediului de transmitere, perturbatiile pot fi:

- ***in conductie***, daca exista un suport fizic prin care se propaga;
- ***radiate***, in cazul in care cuplajul se realizeaza prin camp.

Dupa durata de manifestare, perturbatiile pot fi:

- ***permanente*** (in unda continua);
- ***tranzitorii*** (in impuls - semnale singulare si cu durata finita).

Referitor la pozitia sursei de perturbatii in raport cu "victima" perturbatiile pot fi:

- ***interne***;
- ***externe***.

Fata de maniera in care afecteaza caile de semnal, perturbatiile pot fi:

de ***mod comun***;

de ***mod diferential***.

Clasificarea perturbatiilor

Ca marimi fizice, perturbatiile pot fi:

- **curenti,**
- **tensiuni,**
- **campuri electrice sau magnetice**

si sunt caracterizate prin *banda de frecvente, nivel de varf, viteza de variatie a fronturilor, timp de crestere, durata, energie* etc.

Este important sa se cunoasca tipurile si sursele de perturbatii in vederea reducerii efectului acestora prin masuri adecvate; de asemenea, cunoasterea formelor de unda ale perturbatiilor, precum si a nivelurilor acestora permite stabilirea unor norme care sa includa, in afara unor cerinte legate de sintetizarea si generarea acestora si metodele de masurare si de testare ale echipamentelor. Deoarece perturbatiile sunt extrem de diverse, cu o forma de unda complexa, de regula, nerepetitiva, ele pot fi studiate prin masurari si prelucrari statistice.

Surse de perturbații

Sursele de interferențe electromagnetice se întâlnesc în practică în tot spectrul electromagnetic. Deoarece interferențele electromagnetice sunt fie inerente producerii și utilizării undelor electromagnetice pentru scopul considerat, fie de natură parazită și nu au nimic în comun cu funcțiile primare ale surselor, o primă clasificare a acestora ar duce la împărțirea lor în:

- ***Surse functionale;***
- ***Surse nefunctionale.***

Surse de perturbații

- **Surse functionale**, in aceasta grupa intrand, emitatoarele pentru telecomunicatii (care radiaza in tot spatiul, in mod deliberat, prin antene de emisie), emitatoare care produc unde electromagnetice in alte scopuri decat comunicatiile (de exemplu, generatoarele de inalta frecventa pentru utilizari industriale sau pentru medicina, cuptoare cu microunde, dispozitive de comanda a usilor de la garaje), emitatoare de unde electromagnetice in scopul transmiterii informatiei.
- **Surse nefunctionale**, in aceasta categorie incadrandu-se instalatiile de aprindere ale automobilelor, lampile fluorescente, instalatiile de sudura, bobinele releelor si contactoarelor, mijloacele de transport electric, convertoarele si invertoarele electronice, descarcarile corona si manevrele de comutatie din retelele de inalta tensiune, comutatoarele (inclusiv cele electronice fara contacte), caile de curent si componentele modulelor electronice, descarcarile atmosferice, descarcarile electrostatice, tensiunile si curentii rapid variabili din laboratoarele de inalta tensiune, tehnologia impulsurilor de putere, fizica plasmei, etc

Surse de perturbații

În timp ce asigurarea compatibilității electromagnetice pentru sursele de perturbații funcționale se realizează relativ ușor (deoarece calitatea lor de emitoare este evidentă și trebuie avută în vedere încă de la început), pentru sursele de perturbații nefuncționale asigurarea compatibilității electromagnetice devine o problemă spinoasă, deoarece prezenta lor reprezintă de cele mai multe ori, ultima explicație pentru comportarea necorespunzătoare a unui sistem de recepție. Dacă sursele de perturbații și mecanismele lor de cuplaj sunt cunoscute de la început, asigurarea CEM se realizează în majoritatea cazurilor, relativ ușor. De aceea identificarea surselor de perturbații nefuncționale reprezintă una din condițiile esențiale pentru soluționarea problemelor CEM.

Având în vedere că sursele de energie electromagnetică apar în toată gama de frecvențe, o altă clasificare a lor ține seama de dispunerea lor în domeniul frecvenței. În acest sens întâlnim surse de bandă îngustă și surse de bandă largă.

Semnal perturbator

Un *semnal perturbator* este considerat de banda ingusta daca spectrul sau acopera o latime de banda mai mica decat cea a aparatului de receptie. Surse de astfel de perturbatii sunt cele realizate de om, cum ar fi, de exemplu, emitatoarele radio care radiaza pe frecventa atribuita lor mai multa putere decat cea admisa, armonicile produse de neliniaritatile componentelor din emitatoare si radiatii de scapari ale generatoarelor de inalta frecventa medicale si industriale. In mod normal ele sunt caracterizate prin indicarea spectrului de linii (adica prin indicarea amplitudinii sau valorii lor efective pe fiecare frecventa).

Un *semnal perturbator* este considerat de banda larga daca spectrul sau acopera o latime de banda mai mare decat cea a unui anumit sistem de receptie. Sursele de perturbatii de banda larga sunt caracterizate printr-un spectru cu linii spectrale dispuse foarte aproape una de alta sau chiar de un spectru continuu, reprezentantii tipici fiind sursele naturale de perturbatii (cum sunt, de exemplu, radiatiile cosmice) ca si fenomenele de comutatie neperiodice. Sursele de perturbatii de banda larga pot fi impartite si ele in surse perturbatoare generatoare de zgomot continuu si surse de perturbatii tranzitorii.

Semnal perturbator

Sursele perturbatoare generatoare de zgomot continuu constau din impulsuri numeroase de amplitudini diferite, foarte apropiate unul de altul sau chiar suprapuse, care nu pot fi separate. Perturbatiile de tip zgomot nu pot fi descrise deterministic prin functii analitice de timp, ele manifestandu-se ca rezultat al unor evenimente singulare extrem de numeroase care nu pot fi puse in evidenta individual (ex., zgomotul cosmic). Pe ansamblu, perturbatiile de tip zgomot urmeaza anumite legi statistice care, intr-o anumita masura permit sa se faca aprecieri asupra comportarii lor.

Sursele de perturbatii tranzitorii se deosebesc unele de altele si au o frecventa de repetitie relativ redusa (de exemplu impulsurile de comutatie).

Semnal perturbator

La actiunea semnalelor de banda larga asupra unui receptor trebuie avuta in vedere si coerenta semnalelor.

- La ***semnalele de banda larga coerente***, la care componentele spectrale sunt una fata de alta intr-un raport bine determinat ca amplitudine si faza, reactia receptorului este proportionala cu latimea sa de banda.
- La ***semnalele perturbatoare necoerente***, la care componentele spectrale se afla intr-o relatie arbitrara, reactia receptorului este proportionala cu radacina patrata a latimii de banda.

De cele mai multe ori perturbatiile de banda larga sunt cunoscute numai ca functii de timp, ceea ce nu permite sa se puna in evidenta actiunea perturbatiilor in domeniul frecventei. De aceea este necesara in aceste cazuri mai intai descompunerea in serie Fourier a semnalelor perturbatoare si apoi transferarea lor in domeniul frecventa.

Clasificarea perturbatiilor

Din punct de vedere al distributiei lor perturbatiile se pot imparti in:

- ***Perturbatii distribuite statistic***, cum ar fi, de exemplu, efectul corona care apare pe liniile electrice aeriene.
- ***Perturbatii periodice***, care apar, spre exemplificare, la regulatoarele de tensiune cu tiristoare. Sursele de perturbatii periodice nesinusoidale pot fi considerate de banda ingusta sau de banda larga, dupa cum una sau mai multe linii spectrale sunt plasate in latimea benzii de trecere a receptorului. Astfel de exemple putem intalni datorita perturbatiilor pe care le produc invertoarele in retea de alimentare (ca urmare a spectrului de linii al armonicilor).

Clasificarea perturbatiilor

- ***Perturbatii neperiodice***, cum ar fi, de exemplu, deconectarea bobinei unui releu. Exista o mare deosebire intre CEM clasica, la care scopul principal era controlul perturbatiilor radio si care putea tolera impulsuri perturbatoare tranzitorii izolate (adica pocnituri singulare sau eventual repetate cu o frecventa foarte mica) si CEM moderna, care considera ca, in anumite conditii, aparitia unui singur impuls perturbator in sistemul de comanda si control al unei centrale electrice poate duce la scoaterea din functiune a acesteia. In aviatie, atat in cea civila cat si in cea militara, urmarile pot fi destul de grave, la aparitia unui impuls singular.

Clasificarea surselor de perturbatii in conformitate cu ceea ce s-a prezentat pana acum poate suferi modificari in unele situatii. De exemplu, scanteile de aprindere la un motor cu explozie sunt fenomene tranzitorii periodice cu o frecventa de repetitie ridicata, in timp ce totalitatea scanteilor de aprindere ale motoarelor de pe autovehicule dintr-o intersectie aglomerata se poate asimila cu o perturbatie intermitenta, similara zgomotului.

SURSE DE PERTURBATII DE BANDA INGUSTA

- 1. EMITATOARE DIN SFERA COMUNICATIILOR**
- 2. GENERATOARE DE INALTA FRECVENTA UTILIZATE IN INDUSTRIE,
CERCETARE, MEDICINA, CONSUM CASNIC**
- 3. RECEPTOARE RADIO, RECEPTOARE VIDEO, SISTEME DE CALCUL,
SURSE IN COMUTATIE**
- 4. EFECTE PERTURBATOARE ASUPRA RETELEI DE ALIMENTARE**
- 5. INTERFERENTE DATORATE LINIILOR AERIENE**

1. EMITATOARE DIN SFERA COMUNICATIILOR

Emitatoarele din sfera comunicatiilor, ca surse sau emitatoare functionale produc energie electromagnetica si o radiaza in mediul inconjurator in mod controlat, in scopul transmiterii sau culegerii informatiei. Ele se pot imparti in cinci mari grupe, in conformitate cu *Tabelul 1*.

	Emitatoare de comunicatii				
1. Emitatoare	Radio	3. Radio relee	4. Navigatie	Radar	
comerciale	telefonie				
Radio MA	Auto	Comunicatii	Aeriana	Aerian	
Radio - MF	Politie	satelit	Navala	Naval	
TV - FIP	Amatori	Comunicatii	Radio far	Auto	
TV - UIF	Industrie	terestre	LORAN	Supraveghere	
				spatiu aerian	

Tabelul 1. Clasificarea emitatoarelor de comunicatii

1. EMITATOARE DIN SFERA COMUNICATIILOR

Emisiile emitatoarelor de comunicatii sunt de regula de banda ingusta si constau dintr-o frecventa purtatoare, benzile laterale si armonicile superioare inevitabile. Emitatoarele de comunicatii se intalnesc in tot spectrul electromagnetic, incepand cu domeniul ELF (de cateva zeci de hertzi pentru comunicatiile folosite de submarine) si terminand cu domeniul EHF (pentru frecvente de sute de gigahertzi folosite in domeniul comunicatiilor prin satelit). Evident, primele indicii pentru identificarea emitatoarelor de comunicatii perturbatoare sunt date de frecventele, respectiv de plaja de frecventa alocata functionarii acestora. Puterile de emisie permise pentru diferite frecvente de emisie sunt stabilite in functie de zona geografica, timpii de emisie si directivitatea radiatiei, in colaborare cu ITU (Uniunea Internationala de Telecomunicatii), respectiv cu organismele nationale pentru managementul spectrului electromagnetic.

1. EMITATOARE DIN SFERA COMUNICATIILOR

Emitatoarele de radiodifuziune si de televiziune avem benzile de frecventa alocate in *Tabelul 2*

Emitatoare de radiodifuziune		Emitatoare de televiziune		
Unde lungi (MA)	kHz	Banda I	Canalele 1-4	
Unde medii (MA)	535-1635 kHz	(FIF)		MHz
Unde scurte (MA)	3-26 MHz	Banda III	Canalele 5-12	
Unde ultracurte(MF)	87,5-108 MHz	(FIF)		MHz
		Banda IV/V	Canalele 21-60	
		(DIF)		MHz

Tabelul 2. Benzile de frecventa alocate emitatoarelor de radiodifuziune si de televiziune

1. EMITATOARE DIN SFERA COMUNICATIILOR

Compatibilitatea electromagnetica la emitatoarele de comunicatii care lucreaza pe aceeasi frecventa se refera la separarea lor in spatiu, respectiv la raza lor de actiune limitata. Pentru o exploatare corecta a spectrului electromagnetic, conform conventiilor internationale, este necesar ca la punerea in functiune a unui nou emitor sa existe o autorizatie oficiala care urmeaza sa fie confirmata abia dupa verificarea compatibilitatii functionarii acestuia. Serviciile de supraveghere radio ale statului in care este conectat un astfel de emitor urmaresc respectarea specificatiilor tehnice ale emitatoarelor, descopera emitatoarele clandestine si perturbatiile retelei radiofonice, etc. Existenta unei autorizatii legale de functionare nu impiedica emitorul de comunicatii sa se comporte ca un perturbator important in cazul in care sisteme de receptie sensibile trebuie sa lucreze in imediata lor vecinatate. Din aceasta cauza adeseori se renunta la functionarea aparaturii mobile de radiocomunicatii in imediata vecinatate a sistemelor de conducere a proceselor industriale si a sistemelor de dispecerat al energiei.

2. GENERATOARE DE INALTA FRECVENTA UTILIZATE IN INDUSTRIE, CERCETARE, MEDICINA, CONSUM CASNIC

Generatoarele de inalta frecventa de putere mijlocie si mare, care nu se utilizeaza in telecomunicatii, isi gasesc utilitatea in industrie, cercetare, medicina sau chiar in consumul casnic.

In industrie intalnim emitatoarele de IF pentru calire, lipire si topire prin inductie. Ca exemple putem aminti:

- campurile magnetice de IF pot incalzi rapid piese conductoare prin intermediul curentilor turbionari indusi, frecventa (50 Hz pana la 1 MHz) determinand adancimea de patrundere prin refularea curentului;
- campurile electrice de IF pot incalzi rapid dielectricii cu pierderi ca urmare a caldurii eliberate prin frecare, in intreg volumul de dielectric, frecventele utilizate situandu-se deasupra celor utilizate la incalzirea prin inductie (MHz-00MHz , precum si pentru uscarea dielectrica a adezivilor.

2. GENERATOARE DE INALTA FRECVENTA UTILIZATE IN INDUSTRIE, CERCETARE, MEDICINA, CONSUM CASNIC

In cercetarea fundamentala generatoarele de IF accelereaza particulele elementare pana la energii de 20 GeV in acceleratoarele liniare de IF, acceleratoare circulare de IF (ciclotron, sincrotron). La acestea se adauga generatoarele de IF pentru incercari de materiale (10-200 MHz), pentru implantare de ioni, pulverizare catodica, litografie, etc.

In medicina campurile electrice, magnetice sau electromagnetice sunt utilizate pentru tratamentul termic al articulatiilor sau al organelor interne la frecvente cuprinse in plaja 27 MHz - 2,45 GHz. De asemenea, sunt utilizate generatoare de IF pentru producerea ultrasunetelor in scopuri terapeutice (la 1 MHz) si de diagnoza (1-50 MHz).

In ceea ce priveste consumul casnic, campurile electromagnetice incalzesc alimentele in cavitatile rezonante ale cuptoarelor cu microunde, prin folosirea unor frecvente foarte inalte (ex. 2 450 MHz).

Toate aparatele amintite mai sus produc in mod deliberat energie de IF in scopul crearii unor efecte electrofizice locale, apartinand grupei de emitatoare functionale. De obicei aceste emitatoare functioneaza la o anumita frecventa standard, utilizarea altor frecvente fiind permisa numai eu o ecranare adecvata a instalatiei. De fiecare data trebuie demonstrat prin masuratori ca la functionarea pe frecventele prevazute armonicile produse nu depasesc valorile limita pentru campul perturbator. In afara de aceasta, pentru radiatiile de scapari trebuie asigurata compatibilitatea fata de organismul uman.

3. RECEPTOARE RADIO, RECEPTOARE VIDEO, SISTEME DE CALCUL, SURSE IN COMUTATIE

Deși marea majoritate a acestor aparate sunt receptoare de energie electromagnetică, fiind afectate de cele mai multe ori de interferențele electromagnetice, la rândul lor pot fi surse de perturbatii electromagnetice. Aceasta deoarece toate aceste aparate au în componența oscilatoare locale, care cedează energie electromagnetică în mediul înconjurător prin conductoarele de intrare și de ieșire, ca și prin carcusele și șasiurile proprii. Emisiile acestor aparate trebuie să se situeze sub nivelul de perturbatii stabilit de normele specifice în vigoare.

Receptoarele superheterodina mixează frecvența semnalului de IF de la intrare cu frecvența oscilatorului local, realizând o frecvență intermediară constantă, ușor de amplificat și radiază atât frecvența oscilatorului local (variabilă), cât și frecvența intermediară constantă, împreună cu armonicile sale. Pentru receptoarele de radio-difuziune frecvența intermediară constantă este cca 455 kHz pentru MA și cca 10,7 MHz pentru MF. Pentru receptoarele de televiziune, frecvența intermediară de sunet este 5,5 MHz (pentru Europa de vest), 6,5 MHz (pentru Europa de est) respectiv 4,5 MHz (în SUA), iar frecvența intermediară video cca 38,9 MHz (cu frecvență medie de 36,5 MHz).

3. RECEPTOARE RADIO, RECEPTOARE VIDEO, SISTEME DE CALCUL, SURSE IN COMUTATIE

Aparatele echipate cu tuburi catodice (receptoarele de televiziune, terminalele calculatoarelor si osciloscoapele) produc perturbatii prin generatoarele de baleiaj necesare formarii imaginii. Frecventa liniilor (oscilatia de baza a tensiunii in forma de dinti de fierastrau) este de 15,75 kHz la monitoarele simple si de cca 35 kHz sau chiar 65 kHz la monitoarele profesionale. La osciloscoapele rapide frecventa de baleiaj ajunge chiar la 1 MHz.

Sistemele de calcul pot fi producatoare de perturbatii, prin frecventa de tact a unitatii centrale, precum si prin periferice si liniile lor de legatura. Sursele in comutatie trebuie luate in considerare, in majoritatea cazurilor peste 16 kHz, prin frecventa fundamentala de comutatie si armonicile ei superioare.

4. EFECTE PERTURBATOARE ASUPRA RETELEI DE ALIMENTARE

Efecte perturbatoare asupra rețelei de alimentare cu energie electrică produc armonicile, nesimetriile și fluctuațiile de tensiune create de echipamentele electrice la care caracteristica tensiune-curent este neliniară sau variabilă în timp.

- Transformatoarele și motoarele electrice care funcționează cu inducții magnetice ridicate, acționările reglabile bazate pe electronică de putere, redresoarele pentru electroliza, lampile cu descărcări în gaze, televizoarele absorb chiar la o tensiune de alimentare sinusoidală, curenți nesinusoidali care provoacă căderi de tensiune nesinusoidale pe impedanța rețelei. Aceste căderi de tensiune, provocate de curenții imprimati ai consumatorilor, conduc la ***deformarea tensiunii rețelei de 50 Hz***, respectiv determină un alt conținut al armonicilor tensiunii de alimentare. În timp ce redresoarele produc, de regulă, numai armonici care sunt multipli ai frecvenței fundamentale $V_{np} \pm$, unde p este numărul de pulsuri iar $n=1,2,3,\dots$), convertoarele de frecvență și fenomenele de comutație produc și armonici intermediare.

4. EFECTE PERTURBATOARE ASUPRA RETELEI DE ALIMENTARE

- **Subarmonicile** produse de cuptoarele cu arc, instalatiile de sudura si sistemele de reglare discontinua coboara pana in domeniul mHz-ilor si conduc la fluctuatii ale tensiunii periodice si neperiodice.

Efecte perturbatoare asupra retelei de alimentare apar si datorita **nesimetriilor** provocate de conectarea receptoarelor monofazate intre faze, cum este cazul aparatelor de sudura sau al cuptoarelor cu arc. Armonicile superioare si variatiile de tensiune afecteaza echipamentul electric incepand cu suprasolicitari dielectrice si termice ale condensatoarelor si motoarelor, functionari false ale instalatiilor de masurare, comanda si reglare, precum si ale instalatiilor de prelucrare a datelor, reglatoarelor electronice de iluminare, sistemelor de conducere a proceselor industriale, mergand pana la perturbarea instalatiilor de telecomanda si a instalatiilor de semnalizare la distanta. In cazul fluctuatiilor de tensiune poate fi afectata si fiinta umana, deoarece fluctuatiile luminozitatii instalatiilor de iluminat (flicker-ul) provoaca, in anumite conditii, reactii fiziologice intolerabile in lantul lampa-ochi -creier.

5. INTERFERENTE DATORATE LINIILOR AERIENE

Liniile electrice aeriene de inalta tensiune de 50 Hz si de 16-2/3 Hz sunt amplasate, in zonele aglomerate, pe portiuni insemnate, in paralel cu liniile de telecomunicatii si de telecomanda, dar si cu conductele de gaz natural sau de titei. Din cauza cuplajelor rezistive, inductive si capacitive iau nastere interferente nedorite cu liniile de comunicatii, in liniile de transmisie de date, ca si in protectia catodica anticoroziva a conductelor. In plus, tensiunile de atingere de valori mari pot pune in primejdie fiinta umana. In aceste situatii interferentele electromagnetice pot fi:

- ***Interferente de lunga durata.*** Ca surse de perturbatii de lunga durata se pot enumera curentii de lucru la functionarea normala, curentii de punere la pamant in retelele compensate, precum si interferentele prin cuplaje capacitive cu liniile de inalta tensiune.

- ***Interferente de scurta durata.*** Ca surse de perturbatii de scurta durata se pot enumera curentii de scurtcircuit si cei de dubla punere la pamant cu durata de cateva zecimi de secunda.

- ***Interferente de impuls,*** care se datoreaza supratensiunilor produse de manevrele de comutatie din retea.

Daca la inceput problemele de interferenta au fost rezolvate exclusiv prin masuri luate pe partea de transmitere a energiei (de exemplu, prin dispunerea simetrica a conductoarelor unei linii trifazate in varfurile unui triunghi echilateral - astfel incat suma tuturor campurilor sa fie nula, prin transpunerea conductoarelor dispuse nesimetric, prin punerea la pamant rezonanta a neutrului- datorita micșorarii curenților de defect, etc.), mai tarziu a fost admisa punerea directa la pamant a neutrului retelelor de 220 kV si chiar a celor de 400 kV abia aparute.

SURSE DE PERTURBATII DE BANDA LARGA

INTERMITENTE

- 1. ZGOMOTUL DE FOND DIN AGLOMERARILE URBANE**
- 2. INSTALATII DE APRINDERE DE PE AUTOVEHICULE**
- 3. LAMPI CU DESCARCARI IN GAZE**
- 4. MOTOARE CU COLECTOR**
- 5. LINII ELECTRICE AERIENE DE INALTA TENSIUNE**

TRANZITORII

- 1. DESCARCARI ELECTROSTATICE**
- 2. COMUTAREA BOBINELOR**
- 3. FENOMENE TRANZITORII IN RETELELE ELECTRICE**
- 4. FENOMENE TRANZITORII IN TEHNICA INCERCARII CU TENSIUNI INALTE SI IN FIZICA PLASMEI**
- 5. IMPULSUL ELECTROMAGNETIC DE TRAZNET**
- 6. IMPULSUL ELECTROMAGNETIC NUCLEAR**

1. ZGOMOTUL DE FOND DIN AGLOMERARILE URBANE

Din cauza aglomerarilor urbane, în special din marile orase, și a circulației intense, în orase se creează un nivel considerabil de perturbații de bandă largă datorită instalațiilor de aprindere ale autovehiculelor, rețelelor urbane de transport în comun, aparatelor electrocasnice, lampilor cu descărcări în gaze, sculelor electrice, oscilatoarelor locale, aparaturii numerice, etc. Nivelul perturbator de bază, măsurat în diferite orase, arată o variație în limite largi, dependente cantitativ destul de mult de geografie și de anotimp. Cantitativ, se pot întâlni diferențe între 20 până la 40 dB, în funcție de natura mijlocului de transport în comun (metrou, tramvai acționat în c.c. sau c.a.), precum și de densitatea globală a traficului (inclusiv traficul aerian), standardele naționale, etc. Câteva surse de bandă largă intermitente sunt specificate, în continuare.

2. INSTALATII DE APRINDERE DE PE AUTOVEHICULE

La intreruperea curentului primar $i_1(t)$ al unei bobine de inductie, apare o variatie de curent di_1/dt , care determina o variatie de flux magnetic $d\Phi/dt$ si aceasta induce in infasurarea secundara a bobinei de inductie o tensiune inalta, $u_2(t)$. In mod parazit, se induc tensiuni de valori mai mici si in alte bucle conductoare ale vehiculului propriu sau ale unui vehicul vecin, datorita, de ex., cuplajului magnetic prin campul de dispersie. Impulsul de tensiune indus in infasurarea secundara provoaca, pe conductoarele de aprindere de inalta tensiune, o variatie mare de tensiune, du/dt care prin capacitati parazite, respectiv prin curentul de deplasare care le parcurge ($i_d = C_p du_2/dt$) poate provoca perturbatii in circuitele si conductoarele vecine prin cuplaje capacitive. La strapungerea intervalului disruptiv al bujiilor si prin scanteile produse la distribuitor, se produc din nou, variatii rapide ale tensiunii si curentului, datorita descarcarii capacitatii infasurarii secundare, care produc la randul lor perturbatii prin inductie si prin influenta. Dupa cum sistemele invecinate sunt realizate in forma de bucla sau de stea, sunt de rezistenta mare sau mica, perturbatiile se transmit capacitiv sau inductiv. Nivelul tipic al perturbatiilor produse de campul electric in vecinatatea strazilor este situat intre -20 si +20 dB $\mu V/m/Hz$ (densitatea de amplitudini), iar ca frecventa ajung in domeniul GHz.

3. LAMPI CU DESCARCARI IN GAZE

Lampile fluorescente utilizate pentru iluminat in locuinte, birouri, magazine, hale industriale, etc., sunt reale surse de perturbatii in retelele in care sunt conectate. Din energia electrica totala circa 9,5% este folosita pentru a produce lumina artificiala (in America de Nord acest procent urca la aproape 30 %). Pentru cladiri circa 50 % din consumul de energie total este utilizat pentru iluminat. La navele maritime, in functie de tonaj, intre 2 si 10% din energia produsa este utilizata pentru iluminat. Lampile cu incandescenta au un randament luminos de 17-23 lm/W, pe cand randamentul luminos al lampilor fluorescente este intre 70 si 80 lm/W. De asemenea timpul de viata al lampilor fluorescente este mai lung (20.000 h), comparativ cu al lampilor incandescente (700 h). Pentru aceste motive, tendinta actuala este sa se utilizeze lampile cu eficienta energetica ridicata (de exemplu lampile fluorescente sau alte lampi cu descarcari in gaze - cum sunt cele cu halogen) in locul lampilor traditionale cu incandescenta. Aceasta pentru ca, desi factorul de putere al lampilor incandescente este aproape unitar, lampile fluorescente produc un flux luminos mai puternic la un consum de putere activa remarcabil mai scazut decat al lampilor cu incandescenta. Raportul flux luminos/putere activa consumata, care este criteriul de eficienta energetica al lampilor, este mai mare in cazul lampilor fluorescente sau al celor cu halogen prin comparatie cu lampile incandescente.

3. LAMPI CU DESCARCARI IN GAZE

Din nefericire insa lampile fluorescente ca si cele cu halogen, au un factor de putere scazut (in jurul lui $0,4$ sau mai mult pana la $0,7-0,8$), ceea ce conduce la cerinte sporite pentru putere reactiva aditionala. In plus, *lampile fluorescente sunt strabatute de curenti armonici puternic distorsionati, din cauza prezentei balastului*. Deoarece semnalele perturbatoare puternice apar numai la conectarea lampilor, din punct de vedere al perturbatiilor radio acestea se *pot* considera pocnituri cu frecventa de repetitie mica, fara sa prezinte o prea mare importanta. In schimb ele *pot* deveni importante in vecinatatea aparaturii medicale ultrasensibile, a stimulatorilor cardiace sau in vecinatatea aparaturii de masura. Pentru distante mici si in lipsa unor masuri de antideparazitare, interferentele electromagnetice produse de lampile fluorescente in regim permanent deranjeaza receptia pe unde medii si lungi, perturbatiile transmitandu-se mai ales prin conductie de-a lungul liniilor de alimentare ale acestor lampi.

3. LAMPI CU DESCARCARI IN GAZE

In categoria *surselor de inalta frecventa* intra balastul electronic pentru iluminarea fluorescenta. Cele mai multe lampi fluorescente sunt actionate de balasturi cu miez magnetic la **50 Hz sau 60 Hz**. Lampile fluorescente, descrise anterior, actionate de aceste balasturi, furnizeaza lumina de slaba calitate, ducand si la aparitia unor curenti armonici in retea de la care sunt alimentate. Cum tensiunea de linie (de alimentare) trece prin zero, gazul de mercur ionizat in perioada pozitiva are suficient timp sa se deionizeze in semiperioada negativa, stingand lampa. Arcul trebuie sa fie repornit de doua ori la fiecare ciclu de 50 (60) Hz. In acest fel lampa este aprinsa si stinsa la o frecventa de 100 (120) Hz. Rezultatul in acest caz nu consta doar intr-un timp de viata mai scurt al lampii, ci si in aparitia unei licariri de 100(120) Hz (sau o variatie la iesirea luminoasa) care poate deveni suparatoare pentru ochi. Efectul stroboscopic este daunator, in special, in camerele cu calculatoare, in birouri si in jurul masinilor rotative.

3. LAMPI CU DESCARCARI IN GAZE

Un invertor in circuitul de alimentare al unei lampi fluorescente poate genera tensiune suficienta care sa aprinda lampa si sa poata limita curentul de alimentare (de intretinere) al lampii odata ce aceasta a pornit. Puterea, tensiunea sau curentul de iesire pot fi controlate prin modificarea frecventei de iesire a invertorului, de exemplu, pentru diminuarea luminii de la *100% la 10%* din lumina completa de la iesirea lampii. Daca frecventa de functionare a balastului electronic este marita (de ex. de la 25 la 100 kHz), se obtine o functionare continua a lampii fara nici o licarire, imbunatatind calitatea luminii. Aceasta lumina de calitate buna poate fi folosita in special in aplicatii comerciale si industriale. Mai mult, randamentul lampilor fluorescente de la frecvente peste 25 kHz este cu *10-15%* mai mare de cat la *50(60)* Hz. O alta problema care se poate rezolva prin utilizarea balastului electronic provine din faptul ca balasturile magnetice la *50(60)* Hz ofera un factor de putere scazut deoarece ele reprezinta, in raport cu tensiunea de alimentare, o sarcina inductiva si neliniara, care extrage un curent mare din linie si o polueaza cu mari cantitati de armonici. Cele mai multe balasturi electronice au corectori de factori de putere pasivi si activi, care face ca factorul lor de putere sa fie apropiat de *0,99*, protejand in acest fel mediul inconjurator si reducand totodata valoarea eficace a curentului de intrare.

3. LAMPI CU DESCARCARI IN GAZE

In cazul lampilor cu descarcari in gaze de inalta presiune apar perturbatii importante pana in domeniul FIF sau UIF, datorita dezvoltarii rapide a descarcarii la presiuni ridicate si distantei mici dintre electrozi. Temperaturile inalte ale electrozilor si ale gazului fac posibila o reducere a interferentei electromagnetice datorita taierii unor curenti mici si respectiv valorilor mici ale tensiunilor de reaprindere. Lampile cu descarcari in gaze care utilizeaza tensiuni mari, cum sunt tuburile luminescente pentru reclamele luminoase, nu necesita preincalzire deoarece tensiunea lor de alimentare se poate adapta cu usurinta la tensiunile necesare de aprindere si de ardere.

4. MOTOARE CU COLECTOR

La comutarea curentului in motoarele de c.c. si in cele universale in infasurari si in conductoarele de alimentare apar variatii rapide de curent. Daca la separarea periilor de muchiile lamelelor colectorului curentul nu este zero, el se va mentine printr-un arc electric, la fel ca la toate contactele care se deschid in sarcina. La intreruperea arcului apare o variatie rapida de curent di/dt , care induce in inductivitatile aflate pe calea de curent tensiuni de autoinductie ($L di/dt$), iar in caile de curent vecine tensiuni de cuplaj mutual ($M di/dt$). Pentru limitarea locala a perturbatiilor se conecteaza in serie cu conductoarele de alimentare inductivitati concentrate, iar in paralel cu periile un condensator de suntare. Masinile mari de c.c. sunt dotate cu poli auxiliari si infasurari de compensare, care induc in infasurarile rotorului o tensiune de polaritate inversa si reduc curentul in infasurare in momentul separarii periilor de muchiile lamelelor colectorului.

5. LINII ELECTRICE AERIENE DE INALTA TENSIUNE

La suprafata conductoarelor liniilor de inalta si foarte inalta tensiune, intensitatea campului electric depaseste uneori valoarea corespunzatoare strapungerii aerului, ceea ce duce la aparitia unor mici descarcari partiale locale care raman in imediata vecinatate a conductoarelor din cauza neomogenitatii campului (descarcari corona). Strapungerile partiale provoaca in conductoare impulsuri de curent cu timpi de crestere si de scadere de ordinul nanosecundelor, ce se propaga de-a lungul liniei sub forma de unde calatoare. Pe ansamblu, astfel de impulsuri numeroase de descarcare, partial suprapuse, cu un spectru care se intinde pana in domeniul UIF, constituie o ***sursa de zgomot perturbator care afecteaza receptia radio***. Aceste perturbatii sunt dependente de starea vremii (densitatea aerului, ploaie, chiciura, etc.) si de configuratia partii superioare a stalpilor. Cu toate aceste dependente complexe, pe plan international exista numeroase prescriptii care permit, intr-o oarecare masura, o apreciere prealabila a nivelului perturbatiilor radio.

O alta sursa de perturbatii, care se observa in special in retelele aeriene de medie tensiune, o formeaza micile descarcari prin scanteie intre partile metalice imperfect potentializate sau intre partile metalice si suprafata izolatoarelor incarcate electrostatic. Spectrul acestor descarcari prin scanteie se intinde pana in domeniul frecventelor foarte inalte si determina ***perturbatii la receptia emisiunilor de televiziune***.

1. DESCARCARI ELECTROSTATICE

Descarcările electrostatice și problemele tehnice legate de acestea au capatat o importanta deosebita odata cu descoperirea fibrelor sintetice și a semiconductoarelor. Din punct de vedere al CEM, cea mai mare importanta o prezinta descarcarea persoanelor și a mobilierului mic (scaune, scaune cu rotile, carucioare pentru diverse aparate, etc.). In functie de tipul incaltamintei, a suprafetei podelei și a umiditatii aerului, o persoana poate atinge electrostatic tensiunea de 30 kV. Incepand de la aceasta valoare apar descarcari partiale importante prin care se elimina instantaneu (prin curenti de scurgere) sarcinile nou create, ajungandu-se astfel la un potential stationar de echilibru. De obicei potentialele obtinute la mersul pe covoare se afla in plaja 5-15 kV, la un nivel similar situandu-se și potentialul electrostatic la care se incarca mobilierul mic. In majoritatea cazurilor incarcările electrostatice cuprinse intre 1,5 și 2 kV nu sunt percepute de persoanele in cauza, in schimb sunt suficiente pentru distrugerea componentelor semiconductoare.

1. DESCARCARI ELECTROSTATICE

Incarcarile electrostatice apar sub forma unor acumulari ale purtatorilor de sarcina de o anumita polaritate, la separarea unor medii anterior aflate in contact direct, din care cel putin unul trebuie sa fie izolant (daca ambele medii sunt conductoare se produce instantaneu o redistribuire a sarcinilor). Astfel de exemple intalnim la mersul pe un covor izolant, la manevrarea pieselor din mase plastice, la trecerea benzilor de hartie sau material plastic printre role, la circulatia lichidelor izolante prin conducte, la ridicarea de pe un scaun, la evacuarea gazelor rachetelor si motoarelor cu reactie, la frecarea cu aerul a corpului aeronavelor, la turbionarea prafului, etc. Incarcarea electrostatica poate fi de polaritate pozitiva sau negativa fata de potentialul pamantului, in functie de perechile de materiale aflate in contact anterior aparitiei incarcarii electrostatice.

1. DESCARCARI ELECTROSTATICE

Existenta *incarcrilor electrostatice* creeaza rareori probleme legate de CEM. In schimb, *descarcările rapide sub forma de impulsuri* ale corpurilor incarcate, in timpul carora apar curenti de descarcare in forma de impulsuri de curent, cu timpi de crestere de domeniul nanosecundelor sau mai mici, si cuplate cu acestia, campuri magnetice variabile in timp, conduc de obicei la fenomene de interferenta electromagnetica nedorita. In special la descarcările prin scanteie ale corpurilor incarcate cu electricitate statica apar tensiuni si curenti tranzitorii care perturba nu numai functionarea calculatoarelor, a procesoarelor de texte si a aparatelor telefonice sau a aparaturii electronice, ci pot provoca chiar si deteriorari definitive ale componentelor electronice. Daca sistemele complete sunt relativ rezistente (ex., tastatura calculatoarelor, automatele programabile, etc.), in schimb pentru distrugerea componentelor semiconductoare si a cartelelor electronice sunt suficiente, la atingerea directa, incarcari electrostatice minimale, pe care in anumite conditii persoana in cauza nici macar nu le sesizeaza.

2. COMUTAREA BOBINELOR

Comutarea bobinelor constituie cea mai intalnita sursa de perturbatii tranzitorii din instalatiile industriale, atat de forta cat si de comanda. Exemple de bobine intalnite in practica inginereasca sunt nenumarate. Le intalnim la infasurarile releelor si contactoarelor, la interfata dintre circuitele de comanda si cele de executie ale unui proces, la infasurarile dispozitivelor de actionare ca si in componenta infasurarilor masinilor electrice (generatoare, motoare, transformatoare). Supratensiunile aparute la comutarea bobinelor reprezinta cele mai frecvente cauze perturbatoare in comenzile electronice.

2. COMUTAREA BOBINELOR

La deconectarea bobinelor apar supratensiuni tranzitorii de valoare mare, ce pot avea ca efect reaprinderea arcului in spatiul de rupere, deteriorarea izolatiei infasurarilor si, in plus, produc perturbatii electromagnetice componentelor si circuitelor vecine. Daca mecanismul de producere a perturbatiilor este aproape intotdeauna acelasi, trebuie totusi sa se faca distinctie intre inchiderea si deschiderea unui circuit inductiv. La deschiderea unui circuit inductiv miscarea contactelor unul fata de altul are ca efect o variatie de curent (di/dt), ceea ce produce o variatie de flux magnetic ($-d\Phi/dt$), al carei efect este inducerea in circuit a unei tensiuni de autoinductie. Aceasta tensiune este aplicata, in cea mai mare parte, intre contactele care se deschid, mentinand arcul in comutare. In circuitele de c.a. arcul electric este smuls putin inainte de trecerea prin zero a curentului si nu se mai reaprinde daca rigiditatea dielectrica a intervalului dintre contacte creste mai repede decat tensiunea de restabilire intre contacte. In circuitele de c.c. curentul se intrerupe abia atunci cand contactele s-au indepartat atat de mult unul de celalalt incat necesarul de tensiune pentru mentinerea arcului descreste substantial tensiunea disponibila.

2. COMUTAREA BOBINELOR

Interferenta cea mai importanta se obtine in momentul taierii curentului, cand stingerea arcului, respectiv refacerea rapida a rigiditatii dielectrice a intervalului dintre contacte, forteaza curentul sa tinda la zero cu o panta mare (di/dt). Tensiunile de autoinductie produse in acest fel, reprezinta chiar pentru contactele de la IT, valori de ordinul kV-lor. La conectarea circuitelor inductive fenomenele care au loc sunt similare cu cele de la deconectare, in sensul ca imediat ce contactele s-au apropiat la o anumita distanta se pot produce preamorsari in intervalul de gaz si ulterior, datorita vibratiei contactelor, se repeta de mai multe ori fenomenul descris la deconectarea circuitelor inductive, chiar daca in acest caz amplitudinile sunt mai mici. Perturbatiile sunt provocate de disparitia curentului la deconectare respectiv de aparitia acestuia la conectare, timpii extrem de scurti necesari pentru dezvoltarea descarcarii intr-un interval disruptiv si respectiv pentru refacerea rigiditatii dielectrice a acestuia explicand pantele abrupte observate. In cazul comutatiei statice intalnite la electronica de putere, pantele sunt de obicei mai mici, insa efectul fenomenului de autoinductie este calitativ similar cu cele descrise anterior.

3. FENOMENE TRANZITORII IN RETELELE ELECTRICE

- Fenomene tranzitorii in retelele de joasa tensiune

In retelele de joasa tensiune, in majoritatea cazurilor, apar supratensiuni tranzitorii sau chiar caderi bruste de tensiune la comutarea receptoarelor inductive. In plus, pot apare supratensiuni si la comutarea sarcinilor capacitive, la functionarea intreruptoarelor de protectie si a sigurantelor in caz de scurtcircuit, ca si din cauza unor fenomene atmosferice, cum este actiunea trazenului. Fenomene tranzitorii repetate apar datorita proceselor de comutatie periodica in redresoare si invertoare. Datorita originii lor diferite si impedantelor interne care se modifica in limite largi, o serie de parametri prin care se pot cuantifica aceste supratensiuni au si ei variatii in limite largi (valoarea de varf, u_{panta} , tensiunii, du/dt , variatia in timp si energia asociata unei perturbatii). De aceea, consideratiile generale au doar un caracter statistic. Se poate stabili astfel daca supratensiunile din zona industriala si cea casnica se deosebesc mai mult dupa frecventa de aparitie decat dupa amplitudine, iar supratensiunile de valori importante apar relativ rar, cele foarte abrupte amortizandu-se foarte rapid ca amplitudine si panta, prin propagarea lor pe conductoarele retelelor de joasa tensiune (ceea ce le limiteaza raza de actiune la imediata vecinatate a locului de aparitie).

3. FENOMENE TRANZITORII IN RETELELE ELECTRICE

- Fenomene tranzitorii in retele de inalta tensiune

In instalatiile de inalta tensiune, la deschiderea si inchiderea normala a separatoarelor, apar numeroase reaprinderi care provoaca in circuitele secundare supratensiuni pana la 20 kV. Acestea pot afecta actionarea normala a protectiilor sau pot duce chiar la deteriorarea instalatiilor din circuitele secundare.

La **conectarea unui tronson scurt de linie in gol** la barele aflate sub tensiune ale unei statii, apare o supratensiune. Aceasta deoarece daca tensiunea de strapungere a intervalului dintre contactele in curs de apropiere este mai mica decat valoarea de varf a tensiunii alternative se produce o prima strapungere in timpul careia tronsonul de linie in gol este adus la acelasi potential. Cand curentul de incarcare scade la valori neglijabile, arcul electric se intrerupe si, cum tronsonul izolat si-a mentinut potentialul, se produce o a doua strapungere cand valoarea instantanee a tensiunii alternative a barelor depaseste potentialul liniei in gol cu valoarea tensiunii pe strapungere a intervalului dintre contacte (devenit intre timp si mai mic). Acest fenomen are loc de mai multe ori, pana cand contactele separatorului se ating. Variatiile rapide ale potentialului tronsonului de linie in gol, pozitive si negative, dau nastere unor curenti de deplasare in capacitatile parazite fata de conductoarele invecinate ($i=C_p \cdot du/dt$), ale caror amplitudini pot lua valori considerabile datorita pantelor mari ale tensiunii.

3. FENOMENE TRANZITORII IN RETELELE ELECTRICE

- Fenomene tranzitorii in retele de inalta tensiune

Mai departe, campurile magnetice produse de curentul de incarcare al liniei scurte si de curentii de deplasare, datorita undelor progresive care se propaga de-a lungul liniei in gol, induc in bucelele de curent invecinate, paralele cu aceasta, tensiuni si curenti perturbatori. La deschiderea separatoarelor fenomenele care au loc sunt similare, numai ca de data aceasta amplitudinile variatiilor de potential, respectiv ale undelor progresive se maresc pe masura ce contactele se indeparteaza, putand atinge dublul valorii de varf (fara a lua in considerare eventualele cresteri de tensiune suplimentare datorita oscilatiilor, respectiv reflexiilor).

4. FENOMENE TRANZITORII IN TEHNICA INCERCARII CU TENSIUNI INALTE SI IN FIZICA PLASMEI

In laboratoarele de inalta tensiune se produc tensiuni de impuls atmosferic si tensiuni de comutatie cu timpi de crestere de ordinul micro- sau milisecundelor, la care valorile de varf ating cateva milioane de volti, prin care se demonstreaza rigiditatea dielectrica a echipamentelor de inalta tensiune fata de supratensiunile interne si atmosferice. Tensiuni de impuls de ordinul megavoltilor, la care timpii de crestere sunt de ordinul nanosecundelor si curenti de impuls de ordinul megaamperilor sunt uzual utilizati in tehnologia impulsurilor de putere, pentru cercetari fundamentale din domeniul fizicii nucleare sau pentru simularea unor fenomene specifice din acest domeniu. Masurarea cu un osciloscop sau cu un inregistrator de fenomene tranzitorii a semnalelor de joasa tensiune rezultate este foarte dificila (datorita unui nivel de perturbatii mai mare cu 120 dB).

5. IMPULSUL ELECTROMAGNETIC DE TRASNET

Trasnetele si campurile electrice tranzitorii aferente acestora (LEMP), conduc la interferente electromagnetice importante la locul de cadere al acestora si in mediul inconjurator din imediata vecinatate. De aceea la ***dimensionarea instalatiilor de protectie exterioara la actiunea trasnetului*** trebuie luate in considerare valorile maxime intalnite ale parametrilor caracteristici ai curentului de trasnet:

- Valoarea maxima a curentului: $I_{\max} = 200 \text{ kA}$ (determina cresterea tranzitorie de potential posibil)
- Panta curentului: $di/dt = 300 \text{ kA}/\mu\text{s}$ (pentru 100ns);
= $150 \text{ kA}/\mu\text{s}$ (pentru $1 \mu\text{s}$), avand ca efect tensiunile induse;

Sarcina electrica: $\int i dt$ q 500 As (determina topirea conductoarelor);

- Energia specifica: $\int i^2 dt$ W/R $10^7 \text{ A}^2\text{s}$ (determina incalzirea adiabatica a conductoarelor).

5. IMPULSUL ELECTROMAGNETIC DE TRASNET

Luarea in considerare a acestor parametri este determinata deci de efectele diferite ale descarcarii atmosferice datorate traznetului, valorile concrete luate in considerare diferind intre ele, in functie de cerintele de protectie si de importanta instalatiei.

In ceea ce priveste *protectia interioara impotriva trasnetului*, pe baza ecuatiilor lui Maxwell, pentru fiecare caz in parte, se pot calcula campurile electrice si magnetice produse de curentul respectiv curenții de trasnet din instalatia de pamantare si apoi tensiunile si curenții perturbatori indusi in circuitele secundare si in cele pentru prelucrarea datelor in functie de distanta fata de locul de cadere a trasnetului si de geometria sistemului, luand in considerare si proprietatile cladirii.

Frecventa zilelor cu furtuna pe an intr-un anumit loc permite sa se determine nivelul isokeraunic care uneste, prin curbe de nivel, zonele de pe glob cu aceasi frecventa a furtunilor. Astfel de informatii sunt importante din multe puncte de vedere, pentru asigurarea diferitelor obiective. Nivelul isokeraunic arata ca in Europa de vest sunt numai 10 pana la 30 de zile cu furtuna pe an, in timp ce in Kenia, de exemplu, numarul zilelor cu furtuna este in jur de 240.

6. IMPULSUL ELECTROMAGNETIC NUCLEAR

O explozie nucleara elibereaza brusc o energie nucleara, care este insotita de un impuls intens de radiatie, format din fotoni ce se propaga in toate directiile cu viteza luminii (radiatie Roentgen de energie inalta de ordinul MeV). Pentru explozii la mare altitudine (de exemplu, la 300 km), fotonii care se indreapta spre pamant ciocnesc atomii din straturile dense ale atmosferei si prin efect Compton, elibereaza electronii Compton, care ulterior, mentinandu-si directia produc un mare numar de electroni suplimentari, datorita ionizarii prin ciocnire (asa-numitii electroni secundari). Electronii formeaza, pe de o parte, un dipol electric tranzitoriu cu ionii pozitivi ramasi, iar pe de alta parte, datorita miscarii lor in campul magnetic al pamantului, un dipol magnetic tranzitoriu. Repartitia variabila in timp si in spatiu a sarcinilor si curentilor din atmosfera genereaza un camp electromagnetic tranzitoriu, ***impulsul electromagnetic nuclear*** (Nuclear ElectroMagnetic Pulse - NEMP).

6. IMPULSUL ELECTROMAGNETIC NUCLEAR

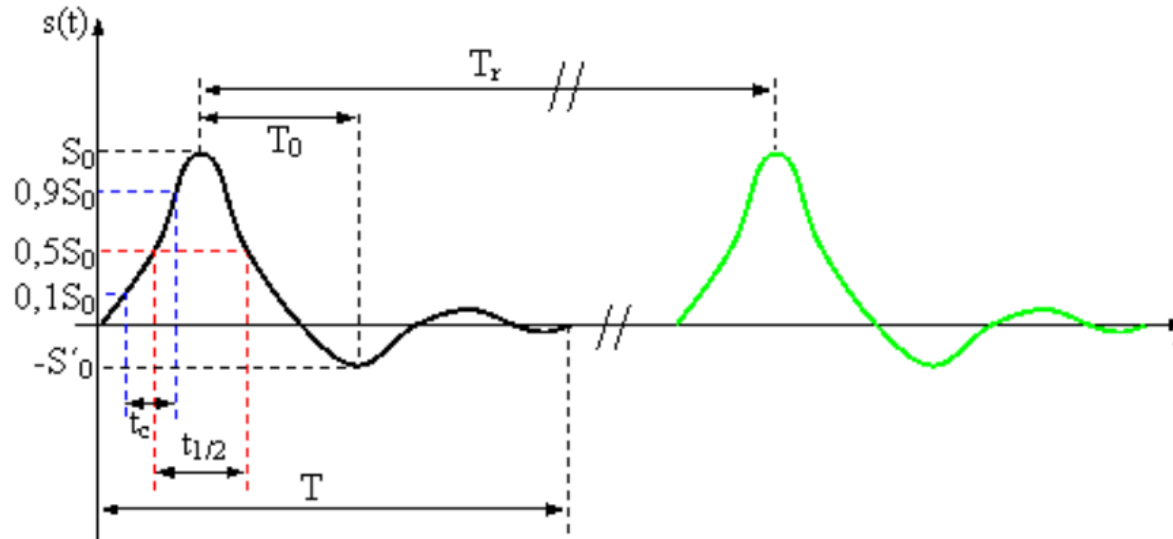
Ca reprezentare grafica, impulsul electromagnetic nuclear se poate aproxima printr-o reprezentare dublu exponentiala, cu un timp de crestere de cca 5 TIS si o durata de semiampitudine de cca 20 ns (asemanatoare calitativ cu cea a impulsului de traznet standard). Intensitatea campului electric (ca valoare maxima) este normata la cca 50 kV/m, ceea ce inseamna ca pentru valoarea maxima a intensitatii campului magnetic la mare distanta se obtine valoarea de 133 A/m ($H_{\max} = E_{\max}/377$). Caracteristica impulsului electromagnetic nuclear la mare altitudine consta in aceea ca poate actiona intr-un spatiu de mare intindere, ce poate acoperi chiar un continent. In aceste situatii cel mai afectate sunt sistemele cu extensie mare in spatiu, in care, prin cuplajul distribuit pe toata lungimea si formarii unor unde progresive, se pot acumula energii importante (cum este cazul retelelor de alimentare cu energie, retelelor telefonice, etc.).

6. IMPULSUL ELECTROMAGNETIC NUCLEAR

Similar au loc efectele si in cazul exploziilor in apropierea solului, dar trebuie facuta distinctie intre *impulsul electromagnetic nuclear la mare altitudine si impulsul electromagnetic nuclear la sol* (la care dominante sunt efectele termice si mecanice). Exista chiar si un *impulsul electromagnetic magnetohidrodinamic* (MHD-EMP), un fenomen tranzitoriu extrem de lent, cu durate de ordinul secundelor sau minutelor, rezultat al interactiei dintre campul magnetic terestru si masele de gaz ionizat care se raspandesc in atmosfera. Datorita impulsului electromagnetic magnetohidrodinamic, in retelele electrice apar, prin cuplaj inductiv, curenti de joasa frecventa, care pot provoca fenomene de saturatie magnetica intensa in transformatoarele de putere.

Caracterizarea semnalelor perturbatoare in domeniul timp si in domeniul frecvente

Un impuls perturbator poate fi caracterizat prin urmatoarele elemente:



- amplitudinea varf la varf: $S_0 + S_0$,
- timpul de crestere corespunzator variatiei semnalului de la $0,1 S_0$ la $0,9 S_0$: t_c ,
- durata impulsului pentru care semnalul este mai mare ca jumatate din amplitudinii acestuia: $t_{1/2}$,
- frecventa oscilatiei de baza: $1/T_0$,
- durata impulsului: T ,
- perioada de repetitie a impulsului: T_r .

Semnalele de testare

Semnalele de testare folosite in CEM pot fi: Impulsuri și Oscilatiile amortizate.

Impulsuri (figura a) avand fronturile de crestere si de cadere exponentiale (numite dublu exponentiale) si care sunt caracterizate prin amplitudine, **timpul de crestere** definit pentru variatia semnalului de la 10% la 90% din amplitudine si **durata** impulsului - egala cu intervalul de timp pentru care semnalul este mai mare ca jumatate din amplitudine ($1/2A$). Denumirea impulsului se compune din timpul de crestere/durata (in s), urmate de amplitudine si unitatea de masura a acesteia (de exemplu, 1,2/50 s, 6 kV).

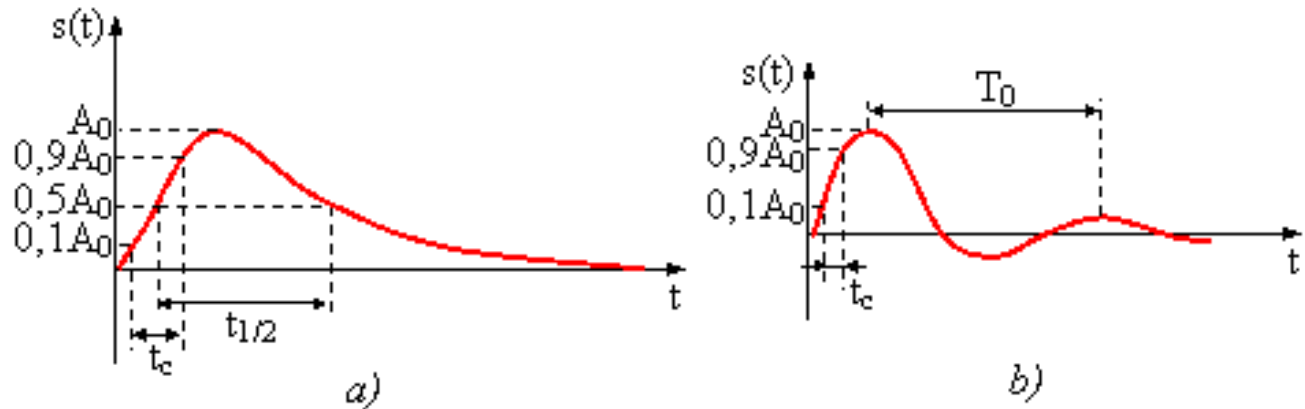


Figura 2.2. a) Impuls dublu exponential;
b) Impuls sinus amortizat.

Semnalele de testare

Semnalele de testare folosite in CEM pot fi: Impulsuri și Oscilatiile amortizate.

Oscilatiile amortizate (engl. ring waves) sunt caracterizate prin timpul de crestere al primului varf si frecventa acestora (figura b); se noteaza prin raportul: timp de crestere (in s) si frecventa semnalului, respectiv, amplitudinea primului impuls cu unitatea de masura (de exemplu, 0,5 s/100 kHz, 10V).

Cu ajutorul seriei Fourier, respectiv, a transformatei Fourier se poate realiza trecerea din domeniul timp in domeniul frecvente; in continuare vor fi subliniate cateva aspecte ale acestor transformari, care sa ajute la o mai buna intelegere a fenomenelor CEM.

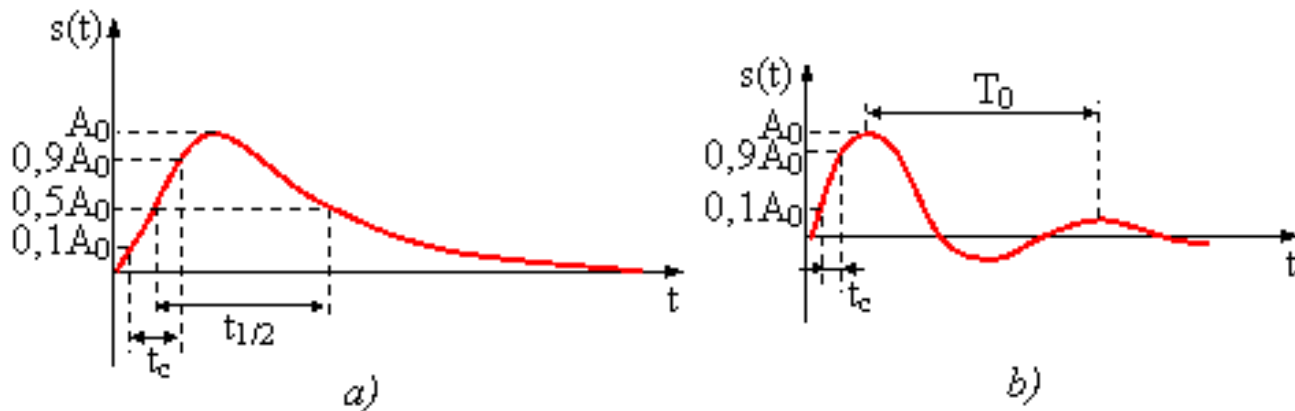
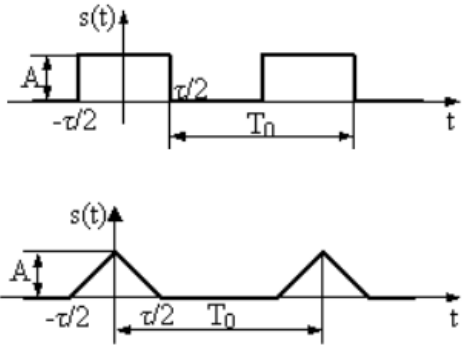
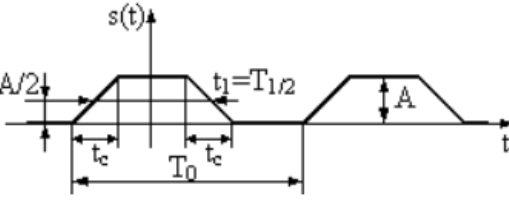


Figura 2.2. a) Impuls dublu exponențial;
b) Impuls sinus amortizat.

Semnalele de testare

Pentru CEM prezinta importanta trenurile de impulsuri dreptunghiulare, triunghiulare si trapezoidale si mai rar, cele in forma de dinte de fierastrau si exponentiale; in tabelul 1 sunt prezentate componentele spectrale ale unor trenuri de impulsuri.

Forma semnalului	A_k
	$2A \frac{\tau \sin(k\pi\tau/T_0)}{T_0 k\pi\tau/T_0}$
	$2A \frac{\tau \left(\frac{\sin(k\pi\tau/T_0)}{k\pi\tau/T_0} \right)^2}{T_0}$
	$2A \frac{1}{(\pi k)^2} \frac{T_0}{\tau_c} \sin(k\pi\tau_c/T_0)$

Perturbatii din retea de alimentare

Energia electrica este deosebit de convenabila in ceea ce priveste producerea, transportul utilizarea; cea mai mare parte a echipamentelor electrice, electronice si de calcul sunt alimentate de la surse electrice alternative, monofazate sau trifazate, prin intermediul retelelor de alimentare.

De retinut ca la iesirea centralelor electrice, parametrii generatorului echivalent acestora sunt apropiati de cazul ideal; perturbatiile de natura electromagnetica apar in timpul transportului energiei electrice sau sunt injectati/produsi de catre consumatorii de energie electrica.

Fara a intra in amanunte, transportul energiei electrice se realizeaza prin liniile de tensiune (sute de kV), liniile de medie tensiune (6 - 20 - 40 kV) si respectiv, liniile de joasa tensiune. Vechea valoare nominala a tensiunii retelelor de joasa tensiune in Europa era de 220 V/380 V, cu variatii cuprinse intre +10 % si -15 % si frecventa de 50 Hz; in prezent, valoarea a tensiunii a devenit 230 V/400 V cu variatii cuprinse intre +6 % si -10 %.

Perturbatii din retea de alimentare

Pentru instalatiile energetice se disting mai multe zone care au caracteristici comune:

- a) retele electrice de putere,
- b) zone rezidentiale,
- c) zone comerciale, birouri, industrie usoara,
- d) medii industriale.

In principiu, principalele caracteristici ale acestor zone pot fi determinate prin masurari si prin calcul, insa in CEM ele sunt prezentate pe baza unor considerente de natura statistica.

De regula, transportul energiei electrice se face in sisteme trifazate cu 3 conductoare intrucat se poate transporta o putere de 3 ori mai mare decat prin 2 conductoare; din compunerea fazorilor echivalenti, in sistemele trifazate apar componente *directe*, componente *inverse* si componente *homopolare*.

Daca retea este echilibrata, componentele inverse si homopolare sunt nule dezechilibrul de ordinul 0,5 - 1 % este inevitabil, iar de ordinul 2 - 3% este tolerabil pentru cateva minute, el conducand la pierderi suplimentare in motoarele trifazate, insa, fara a afecta sarcinii monofazate.

Perturbatii din retea de alimentare

Un parametru important al rețelelor electrice îl reprezintă *impedanta rețelei*, ea depinzând de puterea de scurtcircuit a transformatorului, precum și de lungimea și construcția liniei electrice, în continuare vor fi considerate rețele monofazate cu 3 conductoare: F - faza, N - nulul, P - pamant de protecție și respectiv, rețele trifazate cu 5 conductoare: F1, F2, F3 - faze, N - nulul, P - pamant de protecție.

Impedanta standard a rețelei pentru o linie monofazată (între F și N), la 50 Hz este: $Z_r = (0,4 + j0,25) [\Omega]$, componenta inductivă fiind echivalentă cu circa 1 mH.

În trifazat se consideră următoarele impedanțe:

- între nul și o fază (faza X): $Z_{NFX} = (0,25 + j0,15) [\Omega]$,
- între nul și pamantul de protecție: $Z_{NP} = (0,16 + j0,1) [\Omega]$,

După DIN-VDE - 0838 impedanta echivalentă a rețelei monofazate, la 50 Hz, este: $Z_{50} = (0,1 + j0,25) [\Omega]$,

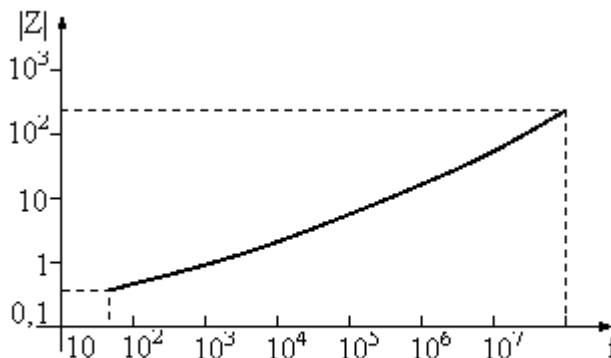


Figura 2.6. Dependența impedanței rețelei de frecvență.

Perturbatii din retea de alimentare

Din cauza componentei inductive, modulul impedantei rețelei crește o dată cu frecvența, dependența fiind arată în figura 6. În realitate, impedanța rețelei poate varia în limite mai mari în funcție de parametrii transformatorului de joasă tensiune și lungimea cablurilor de legătură fiind, mai mare în mediul rural, unde sunt linii aeriene. De exemplu, datele de catalog transformatoarele trifazate sunt:

- tensiunea nominală primară (înaltă), în kV - U_{ni} ;
- tensiunea nominală secundară (joasă), în kV - U_{nj} ;
- raportul nominal de transformare - $k = U_{ni}/U_{nj}$;
- puterea aparentă nominală, în kVA - S_n ;
- puterea de mers în gol, în kW - P_g ;
- curentul de mers în gol procentual - $I_g (\%) = (I_{gi}/I_{ni})100$;
- tensiunea de scurtcircuit procentuală - $U_{sc} (\%) = (U_{sci}/U_{ni})100$;
- puterea de scurtcircuit, în kW - P_{sc} .

Pe baza datelor de mai sus pot fi deduse impedanța echivalentă a transformatorului (schema în Γ), curenții de scurtcircuit, caderile de tensiune în funcție de sarcină etc.

În practică, impedanța rețelei nu este dată numai de transformator, cablurile având, de obicei, o pondere mai mare; de exemplu, cablurile folosite la joasă tensiune au impedanță (inductivă) la 50 Hz egală cu $j0,1 \Omega/\text{km}/\text{faza}$, impedanța ce crește liniar cu frecvența.

Perturbatii de joasa frecventa in conductie

Perturbatii de joasa frecventa intretinute

Aceste perturbatii se caracterizeaza prin faptul ca au o durata mare, peste o secunda, efectul lor aparand la circuitele sensibile prin circuitele de alimentare.

a) **Flickerul** reprezinta caderea tensiunii retelei din cauza socurilor de curent care au durata mai mare de o secunda (figura a). Aparitia flickerului este datorata impedantei finite a retelei, amplitudinea scazand o data cu micsorarea acesteia, ca urmare a conectarii unor cu electrice, instalatii de sudare, motoare, baterii de condensatoare etc.

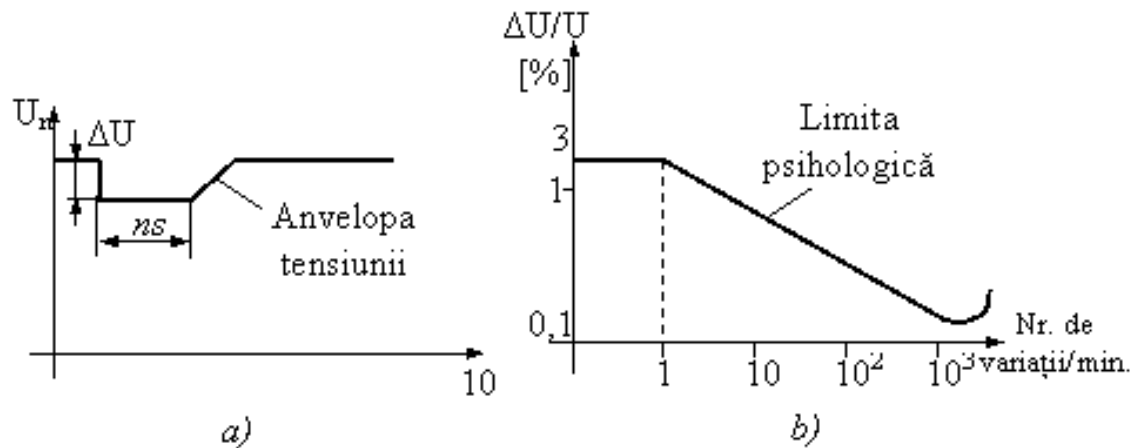


Figura 2.7. Flicker.

Perturbatii de joasa frecventa in conductie

Aceste fluctuatii de tensiune in limitele +10 - 15 % fata de tensiunea nominala nu deranjeaza aparatura electronica, ele avand mai mult un efect subiectiv prin variatia intensitatii luminoase la iluminatul incandescent (de unde si numele); efectul cel mai suparator pentru subiectii umani are loc la frecventa de 8,8 Hz. In figura 7.b este prezentata limita psihologica flicker; se constata ca variatiile de tensiune mai mari ca 3 % nu sunt acceptate (intensitatea luminoasa depinde de puterea a 5-a a tensiunii de alimentare pentru iluminatul incandescent) variatie de circa 3 % poate fi tolerata numai daca apare o data pe minut, iar o variatie de 0,8 este suportata de cel mult o data pe secunda.

Reducerea flickerului este posibila prin cresterea puterii de scurtcircuit a retelelor in punctul de livrare; asigurarea unei impedante a retelei de cel mult $(0,4 + j0,25) \Omega$ corespunzator unui curent de scurtcircuit de circa 500 A. In zonele urbane curentul de scurtcircuit a retelelor electrice este cuprins intre 1 si 5 kA, in timp ce in industrie poate atinge si valori de 10 kA ce, de regula, asigura reducerea efectului de flicker.

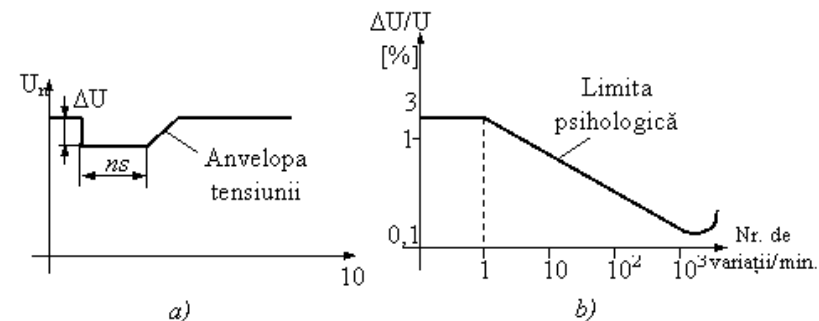


Figura 2.7. Flicker.

Perturbatii de joasa frecventa in conductie

b) Variatia frecventei retelei nu perturba practic echipamentele electronice; scaderea frecventei retelei, in afara reducerii turatiei motoarelor si deci, a scaderii puterii acestora, are ca efect cresterea pierderilor in transformatoare ca urmare a saturarii miezului feromagnetic, cat si cresterea uzurii generatoarelor din cauza apropierii de frecventa proprie de rezonanta; pentru sistemul energetic national, frecventa nu poate cobori sub 48 Hz.

O modificare a frecventei retelei pune insa probleme legate de deviatia frecventei armonicelor si deci, de utilizare a filtrelor antiarmonice.

c) Componentele armonice ale retelei au ca provenienta consumatorii neliniari, dintre care pot fi citati: surse de alimentare cu redresare si in special, sursele in comutatie (televizoare, calculatoare, etc.), convertoare, motoare, tuburi fluorescente, cuptoare cu arc etc.

In majoritatea cazurilor aceste surse produc armonici impare, armonicile pare putand fi produse de transformatoarele saturate cu un curent continuu (saturarea unui transformator se produce pentru un curent de 0,1-1 % din curentul nominal).

Trebuie remarcat ca sursele trifazate echilibrate nu dau componente armonice de ordinul 3 sau multiplu de ordinul 3; daca in retea apar componente armonice de ordinul 3 sau multiplu ale acestora, ele se insumeaza in conductorul neutru producand o componenta homopolara ce poate fi importanta ca valoare.

Perturbatii de joasa frecventa in conductie

In figura sunt prezentate doua cazuri de aparitie a componentelor armonice; in primul caz se considera curentul printr-un tub fluorescent care provine din insumarea fundamentalei si a componentei armonice de ordinul 3 si respectiv tensiunea dintr-o faza de la un redresor trifazat in care apar 4 *decupari* datorate comutarilor din punte care echivaleaza cu prezenta componentei armonice de ordinul

In principiu, armonicile au un caracter determinist, ele putand fi calculate; in practica inasa, distributia armonicilor, atat ca amplitudine, cat si ca faza, se considera aleatorie; deoarece armonicile generate de diverse surse difera ca amplitudine si ca faza (in special, la armonicile superioare), si intrucat ele pot sa apara in diferite zone ale retelei, rezulta ca la evaluarea nivelului armonicilor intr-un punct trebuie sa se considere o suma vectoriala si totodata, sa se tina seama si de impedanta retelei in acel punct.

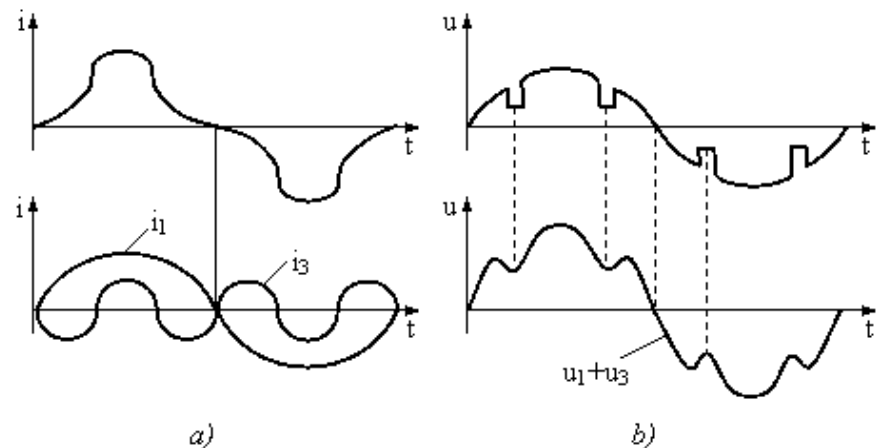


Figura 2.8. Explicativă la apariția armonicilor.

Perturbatii de joasa frecventa in conductie

Efectele produse de componentele armonice pot fi considerate pe termen lung sau pe termen scurt; efectele pe termen lung ale componentelor armonice - caracterizate prin valoarea medie a componentelor armonice care apar atat in instalatiile de joasa tensiune, cat si de medie tensiune, se manifesta prin accentuarea imbatranirii unor materiale izolatoare (in special la condensatoare), supraincalzirea motoarelor electrice din cauza aparitiei unor momente armonice suplimentare (limita maxima a distorsiunilor este 3-4 %), saturarea transformatoarelor, incalzirea conductorului de neutru etc. In ceea ce priveste efectele de scurta durata, ele se manifesta prin perturbarea unor mijloace de masurare mai sensibile, comutarea unor triacuri si respectiv, a releelor statice, perturbarea telecomenzilor, etc. Se considera ca aparatura electronica suporta relativ bine distorsiunile pana la circa 8 %.

Frecventa componentelor armonice care apar in retea nu depaseste, de regula, 2 kHz (componenta de ordinul 40); standardele de CEM precizeaza nivelul maxim (de compatibilitate) al componentelor armonice, I_c - conform CEI -1000 - 2 - 2 si respectiv contributia maxima in continutul total de armonice permisa de la o singura sursa de perturbare, I_s - conform CEI - 555 - 2.

Perturbatii de joasa frecventa in conductie

Reducerea nivelului componentelor armonice se face cu ajutorul filtrelor pasive sau active; filtrele pasive sunt, de obicei, circuite LC serie conectate in paralel pe retea. Aceste filtre au dezavantajul ca sunt consumatoare de energie si introduc o componenta capacitiva la 50 Hz.

Filtrele active se realizeaza ca filtre de rejectie (engl. notch filters); in prezent, asemenea filtre sunt realizate inclusiv in forma integrata.

Trebuie amintit ca in afara componentelor armonice ale retelei pot sa apara si componente nearmonice: subarmonici sau interarmonici, produse de convertizoarele de frecventa sau de catre unele motoare asincrone, din cauza fenomenelor de *alunecare*.

O categorie aparte de perturbatii o formeaza semnalele provenite din sistemele de semnalizare si control transmise in retea; astfel, in Europa sunt folosite sisteme de control in gama 100 Hz - 3 kHz cu nivelul mai mic de 5 % din amplitudinea retelei ca, de exemplu, sistemele de comanda a contoarelor cu dublu tarif, ce functioneaza la 175 Hz. O alta aplicatie o au sistemele de semnalizare rezidentiale in gama 95 - 148,5 kHz cu un nivel de cel mult 0,6 din tensiunea nominala, folosite la telecomenzile casnice.

Ca ordin de marime, in 1990, distorsiunile retelei in Franta erau sub 2% in linii inalta tensiune, sub 5% in liniile de medie tensiune si circa 7% in liniile de tensiune joasa.

Perturbatii de joasa frecventa in regim tranzitoriu

Perturbatiile de joasa frecventa in regim tranzitoriu afecteaza mai putin echipamentele electrice si daca nu sunt prea mari, pe cele electronice analogice, inasa pot influenta puternic echipamentele electronice numerice. Prin *perturbatie de regim tranzitoriu* (engl. transient) se intelege un fenomen sau o cantitate care variaza brusc intre doua valori consecutive stationare intr-un interval de timp scurt in comparatie cu timpul de observare.

In cadrul perturbatiilor de regim tranzitoriu, o pondere importanta il au *supratensiunile tranzitorii* (engl. voltage surge), care reprezinta unde de tensiune in regim tranzitoriu care se propaga de-a lungul unei linii sau apar intr-un circuit si se caracterizeaza printr-o crestere rapida urmata de o descrestere brusca a tensiunii.

Perturbatii de joasa frecventa in regim tranzitoriu

Dupa forma, aceste perturbatii pot fi:

- 1) supratensiuni sub forma unor impulsuri biexponentiale,
- 2) sinus amortizat,
- 3) salve de impulsuri (engl. burst),
- 4) fluctuatii ale tensiunii retelei in limitele +10%-15% din tensiunea nominala,
- 5) caderi de tensiune, daca tensiunea scade sub 85 % din valoarea nominala,
- 6) microintreruperi, ce reprezinta disparitia totala a tensiunii pentru cel putin o perioada.

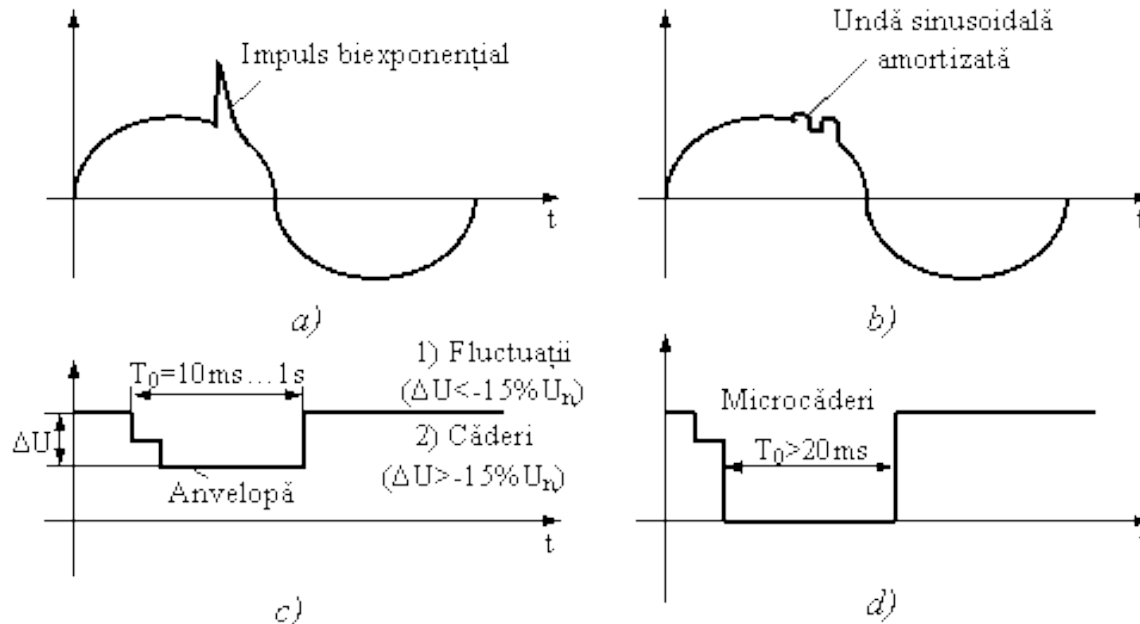


Figura 2.9. Perturbatii de joasa frecventa de regim tranzitoriu.

Perturbatii de joasa frecventa in regim tranzitoriu

Dupa *intervalul de timp* in care se produc, perturbatiile de joasa frecventa in regim tranzitoriu se clasifica in:

- a) ***perturbatii de lunga durata*** care au $t_{1/2} \geq 100$ ms si amplitudinea de peste 500V aceste perturbatii au spectrul de frecvente de maximum (5 50) kHz si energie mare;
- b) ***perturbatii de durata medie*** avand $t_{1/2} = 10$ 100 ms si cu amplitudinea de ordinul kilo-voltilor; se caracterizeaza printr-un front mediu, cu spectrul de frecvente de (30 kHz - 1 MHz) si, de asemenea, cu energie mare;
- c) ***perturbatiile rapide*** cu durate foarte scurte, $t_{1/2} < 50$ ns, pot fi repetitive (burst), cu amplitudinea de ordinul kilo-voltilor; ele sunt, in general, periculoase pentru electronica, in primul rand datorita timpului de crestere redus, $t_{10/90} = 5$ 10 ns.

Perturbatii de joasa frecventa in regim tranzitoriu

Generarea acestor perturbatii se face ca urmare a conectarii unor consumatori mari (fluctuatii), scurtcircuite in liniile aeriene (microintreruperi), arderea unor sigurante, in special de la consumatorii mari, conectarea tuburilor fluorescente (supratensiuni lente), actiunea trasnetelor si a fulgerelor (supratensiuni de durata medie), socurile de manevra sau conectarea bateriilor de condensatoare (impulsuri in forma de sinus amortizat), deconectarea unor inductivitati mari (supratensiuni) etc.

Tratarea acestor perturbatii se face statistic; de exemplu, cu ajutorul unor echipamente de urmarire a calitatii tensiunii retelei s-a constatat ca impulsurile care au amplitudinea mai mare de 500 V reprezinta 1-2 % din numarul total de impulsuri, iar cele care depasesc 3000 V reprezinta circa 0,1%. E bine sa se retina ca aceste supratensiuni nu sunt chiar asa de rare; de exemplu, in retelele de joasa tensiune, impulsurile cu amplitudinea mai mare de 5 kV pot sa apara de cateva ori pe luna reprezentand un pericol potential pentru unele echipamente.

Protectia echipamentelor la actiunea impulsurilor de scurta durata se realizeaza cu ajutorul filtrelor trece-jos (ramane insa periculos, in acest caz, efectul $dU/dt.$), iar pentru impulsurile de lunga durata, cu ajutorul unor circuite de limitare.

Avand in vedere cele de mai sus, pentru asigurarea protectiei echipamentelor, dar si a operatorilor, se impun prin norme conditii de testare la socuri care vizeaza atat testarea izolatiei, cat si testarea imunitatii la perturbatii.

Perturbatii de joasa frecventa radiate

Generarea acestor perturbatii se face ca urmare a conectarii unor consumatori mari (fluctuatii), scurtcircuite in liniile aeriene (microintreruperi), arderea unor sigurante, in special de la consumatorii mari, conectarea tuburilor fluorescente (supratensiuni lente), actiunea trasnetelor si a fulgerelor (supratensiuni de durata medie), socurile de manevra sau conectarea bateriilor de condensatoare (impulsuri in forma de sinus amortizat), deconectarea unor inductivitati mari (supratensiuni) etc.

Tratarea acestor perturbatii se face statistic; de exemplu, cu ajutorul unor echipamente de urmarire a calitatii tensiunii retelei s-a constatat ca impulsurile care au amplitudinea mai mare de 500 V reprezinta 1-2 % din numarul total de impulsuri, iar cele care depasesc 3000 V reprezinta circa 0,1%. E bine sa se retina ca aceste supratensiuni nu sunt chiar asa de rare; de exemplu, in retelele de joasa tensiune, impulsurile cu amplitudinea mai mare de 5 kV pot sa apara de cateva ori pe luna reprezentand un pericol potential pentru unele echipamente.

Protectia echipamentelor la actiunea impulsurilor de scurta durata se realizeaza cu ajutorul filtrelor trece-jos (ramane insa periculos, in acest caz, efectul $dU/dt.$), iar pentru impulsurile de lunga durata, cu ajutorul unor circuite de limitare.

Avand in vedere cele de mai sus, pentru asigurarea protectiei echipamentelor, dar si a operatorilor, se impun prin norme conditii de testare la socuri care vizeaza atat testarea izolatiei, cat si testarea imunitatii la perturbatii.