

**Capitolul 2**  
**Semnale și perturbații**  
**SEMANLE ȘI PERTURBAȚII**

**Subiecte**

- 1.1. Reprezentarea semnalelor în domeniul timp și în domeniul frecvențe**
- 1.2. Perturbații de joasă frecvență transmise prin conducție**
- 1.3. Perturbații de joasă frecvență radiate**
- 1.4. Perturbații de înaltă frecvență**
- 1.5. Descărcări electrice atmosferice**
- 1.6. Descărcări electrostatice**
- 1.7. Alte tipuri de perturbații**

***Evaluare: 1. Răspunsuri la întrebările finale***

***2. Discuție pe tema: “Caracterizarea mediului ambiant electromagnetic”***

**1.1. Reprezentarea semnalelor în domeniul timp și în domeniul frecvențe**

Având în vedere marea diversitate a perturbațiilor există mai multe criterii de clasificare a acestora; astfel, după banda de frecvențe ocupată de spectrele lor, perturbațiile pot fi de *joasă frecvență* sau de *înaltă frecvență*.

Din punctul de vedere al mediului de transmitere, perturbațiile pot fi *conduse*, dacă există un suport fizic prin care se propagă sau *radiate*, în cazul în care cuplajul se realizează prin câmp. După durata de manifestare, perturbațiile pot fi *permanente* (în undă continuă) sau *tranzitorii* (inclusiv în impuls - semnale singulare cu durată finită). Referitor la poziția sursei de perturbații în raport cu victima perturbațiile pot fi *interne* sau *externe*. Față de maniera în care afectează căile de semnal, perturbațiile pot fi de MC sau de MD.

Ca mărimi fizice, perturbațiile pot fi: curenți, tensiuni, câmpuri electrice sau magnetice, respectiv câmpuri electromagnetice și sunt caracterizate prin: banda de frecvențe, nivel de vârf, viteză de variație a fronturilor, timp de creștere, momentul apariției, durată, energie etc. Este foarte important să se cunoască tipurile și sursele de perturbații în vederea reducerii efectului acestora prin măsuri adecvate; de asemenea, cunoașterea formelor de undă ale perturbațiilor, precum și a nivelurilor acestora, permite stabilirea unor norme care să includă, în afara unor cerințe legate de sintetizarea și generarea acestora și metodele de măsurare și de testare ale echipamentelor. Deoarece perturbațiile sunt diverse, de cele mai multe ori având o formă complexă, de multe ori nerepetitivă, ele pot fi studiate prin măsurări și prelucrări statistice.

Un impuls perturbator (fig.2.1), poate fi caracterizat prin următoarele elemente:

## Capitolul 2

### Semnale și perturbații

- **amplitudinea impulsului:**  $S_0$ ,
- **amplitudinea vârf la vârf:**  $S_0 + S_0'$ ,
- **timpul de creștere** corespunzător variației semnalului de la  $0,1S_0$  la  $0,9S_0$ :  $t_c$ ,
- **durata impulsului** pentru care semnalul este mai mare ca jumătate din amplitudinea acestuia:  $t_{1/2}$ ,
- **perioada oscilației** de bază:  $T_0$ ,
- **frecvența oscilației** de bază:  $f_0=1/T_0$ ,
- **durata totală** a impulsului:  $T$ ,
- **perioada de repetiție** a impulsului:  $T_r$ .

Impulsurile de testare folosite în CEM pot fi de forma:

a) *Impulsuri dublu exponențiale* (fig.2.1.a) având fronturile de creștere și de cădere exponențiale; sunt caracterizate prin *amplitudine*, *timpul de creștere* definit pentru variația semnalului de la 10% la 90% din amplitudine și *timpul la jumătate*, egal cu intervalul de timp pentru care semnalul este mai mare decât jumătate din amplitudinea semnalului ( $(1/2)A$ ).

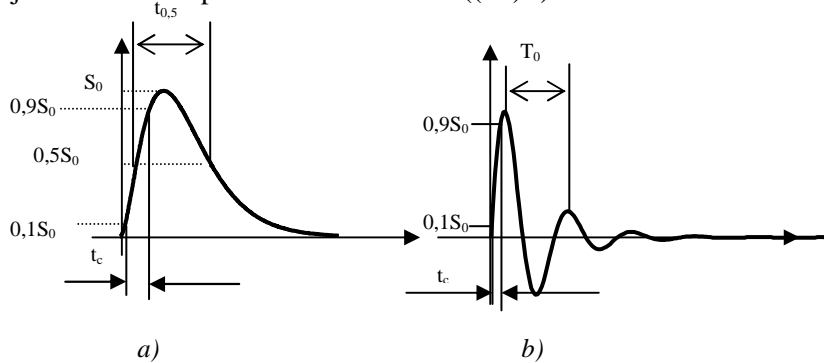


Fig.2.1.a) Impuls dublu exponențial; b) Impuls sinus amortizat

Denumirea impulsului se compune din:

- 1) raportul: timp de creștere/durăță (exprimate în  $\mu s$ ),
- 2) amplitudine și unitatea de măsură a acesteia (de exemplu,  $1,2/50 \mu s$ ,  $6 kV$ ).

b) *Sinusul amortizat* este caracterizat prin timpul de creștere al primului vârf și frecvență (fig.2.1.b); se notează prin:

- 1) raportul: timp de creștere și frecvența semnalului,
- 2) urmate de amplitudinea primului impuls cu unitatea de măsură (de exemplu,  $0,5 \mu s/100 kHz, 10V$ ).

Uneori se face distincție între semnalul de regim tranzitoriu și impuls. Pentru aceasta, se definește *factorul de umplere*:

$$\delta = \tau \cdot f_r, \quad (2.1)$$

unde:  $\tau$  este lățimea impulsului la 50% din amplitudine (timpul la jumătate), iar  $f_r$  - frecvența de repetiție a impulsului. Dacă factorul de umplere  $\delta < 10^{-5}$ , se consideră perturbație de regim tranzitoriu, în caz contrar se consideră impuls (în cadrul zgomotului continuu).

**Capitolul 2**  
**Semnale și perturbații**

Cu ajutorul *seriei Fourier* respectiv, *al transformatei Fourier* se poate realiza trecerea din domeniul timp în domeniul frecvențe; un semnal periodic  $s(t) = s(t + T)$ , unde  $T$  este perioada, poate fi pus sub formă de *serie Fourier complexă*:

$$s(t) = \frac{1}{2} \sum_{-\infty}^{+\infty} A_k \exp(-jk\omega t) \quad (2.2)$$

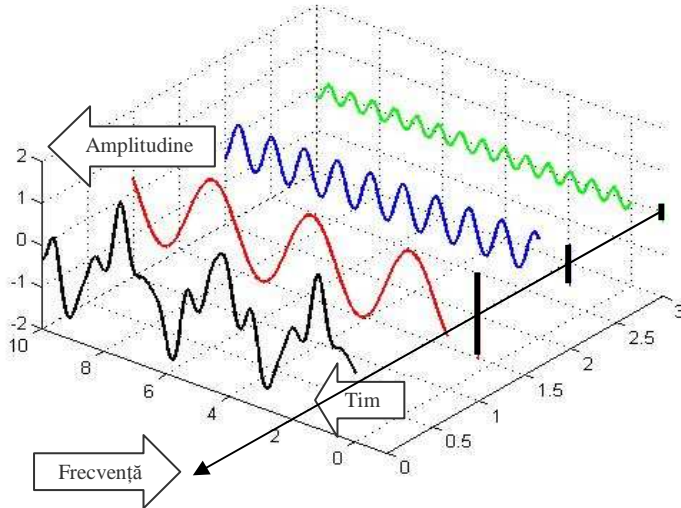


Fig. 2.2. Explicativă la seria Fourier

unde:  $\omega = 2\pi / T$ , iar  $A_k$  reprezintă amplitudinea componentei spectrale de ordinul  $k$  și este dată de relația:

$$A_k = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \exp(-jk\omega t) dt \quad (2.3)$$

Spectrul semnalului periodic este discret și uniform repartizat pe axa frecvențelor (fig. 2.2), în timp ce pentru impulsurile singulare spectrul este continuu. Dacă se consideră semnalul  $f(t) = \sin \omega t + (1/3) \sin 3\omega t + (1/5) \sin 5\omega t$ , la trecerea acestuia printr-un circuit rezonant derivație, se produce atenuarea uneia dintre componentele spectrale și de aici, modificarea formei de undă de la ieșire (fig. 2.3).

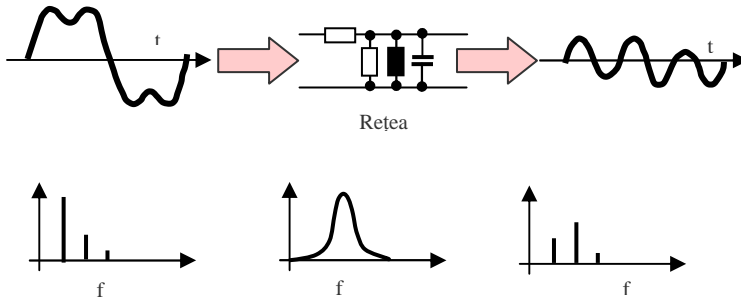


Fig. 2.3. Modificarea nivelului unei componente spectrale

**Capitolul 2**  
**Semnale și perturbații**

Pentru CEM prezintă importanță trenurile de impulsuri dreptunghiulare, triunghiulare, trapezoidale și respectiv, mai rar, cele în formă de dinte de fierăstrău sau exponențiale. De ex., pentru un impuls dreptunghiular de amplitudine  $A$ , cu durata  $\tau$  și perioada  $T$ , amplitudinea componentelor spectrale este:

$$A = 2A \frac{\tau \sin(k\pi\tau/T_0)}{T_0 k\pi\tau/T_0} \quad (2.4)$$

Prin trecere la limită, la frecvențe joase, respectiv înalte, se poate reprezenta diagrama nivelului maxim al componentelor spectrale (fig. 2.4).

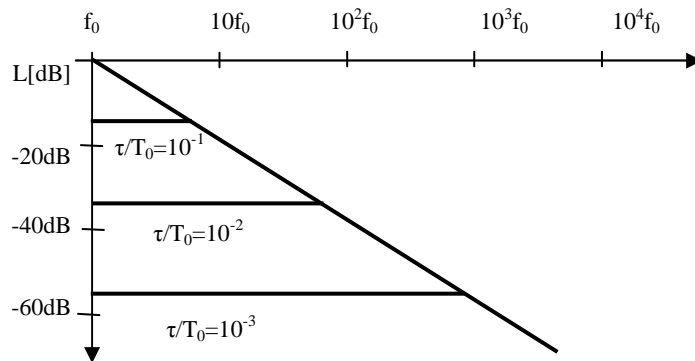


Fig. 2.4. Nivelul maxim al componentelor armonice pentru un tren de impulsuri dreptunghiulare

La frecvențe ridicate nu se mai pot utiliza "metodele clasice" ci trebuie să se țină seama de fenomenele de propagare sub formă de undă a semnalelor. Ca principiu, *fenomenul de propagare* presupune transportarea, în spațiu și timp, a unei energii sub formă de undă; în cazul schimbării caracteristicilor mediului de propagare, *unda incidentă/directă* suferă o modificare, în sensul că o parte din undă se transmite sub forma *undei transmise*, iar o parte se întoarce spre sursă, reprezentând *unda reflectată/inversă* (fig. 2.5).

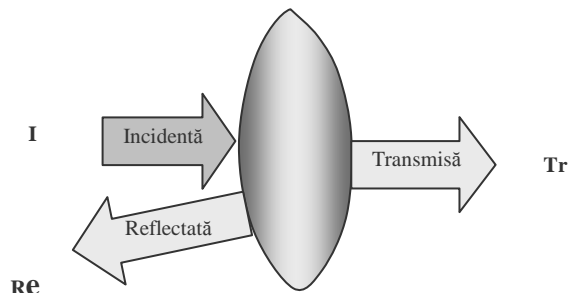


Fig. 2.5. Explicativă la propagarea undelor

Caracterizarea fenomenelor de propagare se poate face prin *viteza de propagare* care, pentru semnalele sinusoidale,

## Capitolul 2

### Semnale și perturbații

conduce la noțiunea de *lungime de undă*, similară perioadei din domeniul timp, (*numărul de undă*  $k$  este similar pulsației/frecvenței unghiulare din domeniul timp).

Datorită creșterii frecvenței de lucru și a utilizării extinse a semnalelor numerice - semnale de bandă largă din cauza fronturilor abrupte - ca urmare a fenomenelor de propagare din linii cu constante distribuite, dependente de frecvență, pot avea loc modificări importante ale formei semnalelor, ceea ce creează probleme de recunoaștere a impulsurilor la recepție (fig. 2.6). Această problemă, care devine din ce în ce mai importantă pentru proiectanții și producătorii de produse electronice, se referă la asigurarea *integrității semnalelor*.

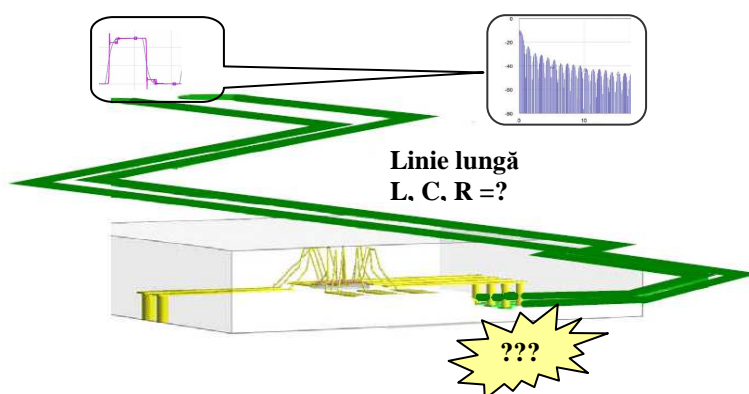


Fig. 2.6. Integritatea semnalelor

În condițiile diversificării aplicațiilor din electronică și telecomunicații, inclusiv în ceea ce privește utilizarea semnalelor numerice, se constată o creștere continuă a benzii de frecvențe a semnalelor; problema fiind importantă și din punctul de vedere al măsurărilor. Simplist vorbind, se consideră semnale de *bandă îngustă*, acele semnale pentru care energia semnalului este concentrată într-o bandă de frecvențe mai îngustă decât cea a receptorului de măsurare. Dacă se mărește banda de frecvențe a receptorului de măsurare, nu se crește puterea semnalului măsurat. Se consideră că semnalele sunt de *bandă largă* dacă ele au energia împrăștiată într-un spectru larg de frecvențe, mai mare decât banda de frecvențe a receptorului. În acest caz, mărinid banda de frecvențe a receptorului de măsurare, crește și puterea semnalului măsurat.

Poate mai mult decât în alte domenii de activitate, problemele legate de *zgomotul electric* sunt deosebit de importante în electronică deoarece introduc o serie de limitări, în special, în aplicațiile cu semnale de nivel redus. De obicei, în electronică se consideră următoarele tipuri de zgomot:

- *zgomot termic*, datorat dependenței unor proprietăți de conducție de temperatură,
- *zgomotul de alicie* (shot noise), care apare datorită caracterului discret al purtătorilor de sarcină,

## Capitolul 2

### **Semnale și perturbații**

- *zgomotul de tip 1/f*, numit și zgomot roz sau zgomot anormal, prezent la unele dispozitive electronice și caracterizat prin scăderea nivelului zgomotului la creșterea frecvenței.

În general, zgomotul este de bandă largă și are un spectru de frecvențe continuu; el poate fi coerent și afectează măsurările proporțional cu banda de frecvențe a acestora. Datorită faptului că zgomotul termic este generat de rezistoare și dispozitivele active de circuit, el este prezent în toate aplicațiile. Este considerat *zgomot alb*, cu o *distribuție de probabilitate normală* (gaussiană). El poate fi caracterizat prin: tensiune, curent sau putere, prin relațiile:

$$\begin{aligned}U_{zgef} &= \sqrt{4kRTB} \\ I_{zgef} &= \sqrt{\frac{4kTB}{R}} \\ P_{zg} &= 4kTB,\end{aligned}\tag{2.5}$$

unde:  $k$  este constanta lui Boltzmann ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  J/K),  $T$  – temperatura absolută exprimată în Kelvin,  $B$  – banda de frecvențe în care se consideră aplicația, iar  $R$  – valoarea rezistenței electrice generatoare de zgomot.

La temperatura camerei ( $\theta = 27$  °C), pentru o bandă de frecvențe de 1 Hz, se obține un nivel corespunzător zgomotului termic de -174 dBm. Este evident că dacă se consideră o anumită bandă de frecvențe a aplicației  $B$ , respectiv o altă temperatură de lucru  $\theta$ , atunci nivelul zgomotului propriu devine:

$$L_{zg} [dBm] = -174 + 10 \lg \left( \frac{\theta [^{\circ}C] + 273}{300} \right) + 10 \lg B [Hz]. \tag{2.6}$$

- **Reprezentați la scară impulsul biexponențial de tipul 5/40 μs, 2 kV.**
- **De ce sunt importante pentru un impuls timpul de creștere și timpul la jumătate?**
- **Arătați asemănările și diferențele dintre densitățile spectrale pentru impulsurile dreptunghiulare și respectiv, trapezoidale.**

### **1.2. Perturbații de joasă frecvență transmise prin conducție**

Energia electrică este deosebit de convenabilă în ceea ce privește producerea, transportul și utilizarea; cea mai mare parte a echipamentelor electrice, electronice și de calcul sunt alimen-

## Capitolul 2 **Semnale și perturbații**

tate de la sursele de energie electrică prin intermediul rețelelor de alimentare mono- sau trifazate. De reținut că la ieșirea centralelor electrice, parametrii generatorului echivalent acestora sunt apropiați de cazul ideal, adică rezistența internă a sursei este foarte mică, iar forma de undă - sinusoidală; perturbarea formei de undă apare în timpul transportului energiei electrice din cauza consumatorilor de energie electrică. În continuare vor fi prezentate *perturbațiile de joasă frecvență* din rețeaua de alimentare cu energie electrică. Astfel, se pot menționa (pentru o perioadă mai îndelungată de timp):

- variații ale frecvenței,
- variațiile tensiunii rețelei,
- variațiile rapide ale tensiunii (inclusiv flickerul),
- dezechilibrul sistemelor trifazate,
- distorsiunile armonice,
- nivelul componentelor interarmonice,
- nivelul tensiunilor de semnalizare din rețea etc.

Pentru mărimile menționate, s-a ales o perioadă de observare de o săptămână, cu timp de măsurare continuă de 10 minute, întrucât pentru a asigura reproductibilitatea măsurărilor, variațiile pe perioade mai scurte de timp nu sunt reprezentative. Prin urmare, perturbațiile cu regim permanent se caracterizează prin faptul că au o durată mare, peste o secundă, efectul lor afectând circuitele sensibile prin circuitele de alimentare.

a) *Flickerul* reprezintă căderea tensiunii rețelei din cauza șocurilor de curent care au durata mai mare de o secundă. Apariția flickerului este datorată conectării unor cuptoare electrice, instalații de sudare, motoare, baterii de condensatoare etc. și impedanței finite a rețelei, amplitudinea tensiunii scăzând o dată cu micșorarea impedanței rețelei și creșterea puterii de scurt-circuit a transformatoarelor.

Aceste fluctuații de tensiune în limitele  $+10 - 10\%$  față de tensiunea nominală nu deranjează aparatele electronice, ele având mai mult un efect subiectiv prin variația intensității luminoase la iluminatul incandescent (de unde și numele); cel mai supărător efect pentru subiecții umani are loc la frecvența de circa 8,8 Hz. Reducerea flickerului este posibilă prin creșterea puterii de scurt-circuit a rețelelor în punctul de livrare. În zonele urbane, curentul de scurt-circuit a rețelelor electrice este cuprins între 1 și 5 kA, în timp ce în mediul industrial poate atinge valori de 10 kA, ceea ce, de regulă, asigură reducerea efectului de flicker.

b) *Variația frecvenței rețelei* nu perturbă practic echipamentele electronice; scăderea frecvenței rețelei, în afara reducerii turației motoarelor și deci, a scăderii puterii acestora, are ca efect creșterea pierderilor în transformatoare ca urmare a saturării miezului feromagnetic, cât și creșterea uzurii generatoarelor din cauza apropierii de frecvența proprie de rezonanță. O modificare a frecvenței rețelei pune însă probleme

## Capitolul 2 **Semnale și perturbații**

legate de deviația frecvenței armonicelor și deci, de utilizare a filtrelor antiarmonice.

c) *Componentele armonice* ale rețelei au ca proveniență consumatorii neliniari dintre care pot fi citați: sursele de alimentare cu redresare și în special, sursele în comutație (televizoare, calculatoare etc.), convertoare, motoare, tuburi fluorescente, cuptoare cu arc electric etc. În majoritatea cazurilor, aceste surse produc armonici impare, armonicile pare putând fi produse de transformatoarele saturate cu un curent continuu (saturarea unui transformator se produce pentru un curent continuu de 0,1-1 % din curentul nominal).

De obicei, sursele trifazate echilibrate nu dau componente armonice de ordinul 3 sau multiplu de 3; dacă în rețea apar componente armonice de ordinul 3 sau multiplu al acestuia, ele se însumează în conductorul neutru producând o *componentă homopolară* care poate fi importantă ca valoare.

În principiu, armonicile au un caracter determinist, ele putând fi măsurate sau calculate; în practică însă, distribuția armonicelor ca amplitudine și ca fază se consideră aleatoare. Efectele produse de componentele armonice pot fi considerate pe termen lung sau pe termen scurt; efectul componentelor armonice pe termen lung - caracterizate prin valoarea medie a componentelor armonice care apar atât în instalațiile de joasă tensiune, cât și de medie tensiune - se manifestă prin accentuarea îmbătrânirii unor materiale izolatoare (în special, la condensatoare), supraîncălzirea motoarelor electrice din cauza apariției unor momente suplimentare (pentru motoarele electrice limita maximă a distorsiunilor este 3 - 4 %), saturarea transformatoarelor, încălzirea conductorului neutru etc. În ceea ce privește efectul de scurtă durată, acesta se manifestă prin perturbarea unor mijloace de măsurare sensibile, comutarea unor triacuri și respectiv, a relelelor statice, perturbarea telecomenzilor etc. Se consideră că aparatele electronice suportă relativ bine distorsiunile până la circa 8 %.

Frecvența maximă a componentelor armonice care apar în rețeaua de alimentare nu depășește 2 kHz (armonica de ordinul 40); standardele de CEM precizează nivelul maxim al componentelor armonice ale curentului și respectiv, contribuția maximă în conținutul total de armonici din curentul consumatorului permisă de la o singură sursă de perturbare. Reducerea nivelului componentelor armonice se face cu ajutorul filtrelor pasive sau active; filtrele pasive sunt circuite LC serie conectate în paralel pe rețea. Aceste filtre au dezavantajul că sunt consumatoare de energie și introduc o componentă capacitivă la 50 Hz. Filtrele active se realizează ca filtre de rejecție și se utilizează la echipamentele electronice; asemenea filtre sunt realizate inclusiv în forma integrată.

În afara componentelor armonice, în rețea pot să apară și componente nearmonice ca, *subarmonici* sau *interarmonici*



## **Capitolul 2**

### **Semnale și perturbații**

produse de convertizoarele de frecvență sau de către unele motoare asincrone, din cauza fenomenelor de "alunecare".

O categorie aparte de perturbații o formează semnalele provenite din *sistemele de semnalizare și control* care sunt transmise în rețea; astfel, în Europa sunt folosite sisteme de control în gama 100 Hz - 3 kHz cu nivelul mai mic de 5 % din amplitudinea rețelei (de exemplu, sistemele de comandă a contoarelor cu dublu tarif funcționează la 175Hz). O altă aplicație o au sistemele de semnalizare și comandă rezidențiale în gama 95 - 148,5 kHz cu un nivel de cel mult 0,6% din tensiunea nominală, folosite la telecomenzile casnice.

Perturbațiile de joasă frecvență în regim tranzitoriu afectează mai puțin echipamentele electrice și dacă nu sunt prea mari, pe cele electronice analogice, însă pot influența puternic echipamentele electronice numerice. Prin *perturbație de regim tranzitoriu* se înțelege un fenomen sau o cantitate care variază brusc între două valori consecutive staționare într-un interval de timp scurt în comparație cu timpul de observare. În cadrul perturbațiilor de regim tranzitoriu, o pondere importantă îl au *supratensiunile tranzitorii* care reprezintă unde de tensiune în regim tranzitoriu care se propagă de-a lungul unei linii sau apar într-un circuit și se caracterizează printr-o creștere rapidă urmată de o descreștere bruscă a tensiunii. După formă, aceste perturbații pot fi:

- 1) *supratensiuni* sub forma unor impulsuri biexponențiale,
- 2) *sinus amortizat*,
- 3) salve (trenuri) de impulsuri,
- 4) *fluctuații* ale tensiunii rețelei în limitele +10 % -10% din tensiunea nominală,
- 5) *căderi de tensiune*, dacă tensiunea scade sub 90 % din valoarea nominală,
- 6) *microîntreruperi*, care constau în dispariția totală a tensiunii pentru cel puțin o perioadă.

După intervalul de timp în care se produc, perturbațiile de joasă frecvență de regim tranzitoriu se clasifică în:

- a) *perturbații de lungă durată* care au  $t_{1/2} \geq 100$  ms și amplitudinea de peste 500 V; au spectrul de frecvențe de ordinul (5÷50) kHz și sunt caracterizate printr-o energie mare;
- b) *perturbații de durată medie* având  $t_{1/2}$  cuprinsă între 10 și 100 ms și amplitudinea de ordinul kV; se caracterizează printr-un front mediu, cu spectrul de frecvențe de (30 kHz - 1 MHz) și de asemenea, au energie mare;
- c) *perturbații cu durate foarte scurte*,  $t_{1/2} < 50$  ns, pot fi repetitive (salve de impulsuri), cu amplitudinea de ordinul kV; ele sunt, în general, periculoase pentru electronică, în primul rând datorită timpului de creștere redus,  $t_c = 5 \div 10$  ns.

Producerea acestor perturbații este datorată conectării unor consumatori mari (fluctuații), scurt-circuite în liniile aeriene (microîntreruperi), arderii unor siguranțe, în special la consumatorii mari, conectării tuburilor fluorescente (supraten-

## Capitolul 2

### Semnale și perturbații

siuni lente), acțiunii trăsnetelor (supratensiuni de durată medie), șocurilor de manevră sau conectării bateriilor de condensatoare (impulsuri în formă de sinus amortizat), deconectării unor inductivități mari (supratensiuni) etc.

Tratarea perturbațiilor de regim tranzitoriu se face statistic; de exemplu, cu ajutorul unor echipamente de monitorizare s-a constatat că impulsurile cu amplitudinea de peste 500 V, reprezintă 1-2% din numărul total de impulsuri, iar cele care depășesc 3000 V, reprezintă circa 0,1%. Aceste supratensiuni nu sunt chiar rare; de exemplu, în rețelele de joasă tensiune, impulsurile cu amplitudinea mai mare de 5 kV pot să apară de câteva ori pe lună reprezentând un pericol potențial pentru unele echipamente. Protecția echipamentelor la acțiunea impulsurilor de scurtă durată se realizează cu ajutorul filtrelor trece jos, iar pentru impulsurile de lungă durată, cu circuite de limitare.

Efectul variațiilor de tensiune asupra unor echipamente poate fi prezentat sub forma unor *diagrame de toleranță*, cum este cea prezentată în figura 2.7 pentru echipamentele de calcul. Astfel, în zona N (zona normală de lucru), echipamentul poate funcționa conform specificațiilor; pentru zonele hașurate, marcate cu S (depășire superioară) și respectiv, cu I (depășire inferioară), dacă tensiunea devine prea mare sau prea mică în raport cu limitele de toleranță și pentru o anumită durată de timp, echipamentul poate să prezinte anumite disfuncționalități, să iasă din funcțiune sau chiar să fie distrus.

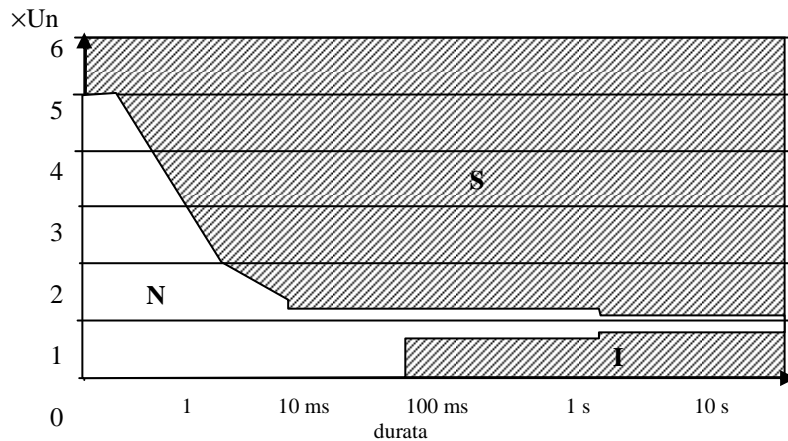


Fig. 2.7. Diagramă de toleranță

Având în vedere cele prezentate, pentru asigurarea protecției echipamentelor, prin norme se impun condiții de testare la șocuri electrice și supratensiuni care vizează atât testarea izolației, cât și testarea imunității la perturbații.

- Din ce cauză, pentru generatoarele de putere mari, deși la bornele acestora, tensiunea este sinusoidală, în rețelele de distribuție există o serie de perturbații?
- Din ce cauză un amplificator liniar folosit în zona de limitare produce distorsiuni armonice impare?

## Capitolul 2

### **Semnale și perturbații**

#### **1.3. Perturbații de joasă frecvență radiate**

Pentru a putea caracteriza perturbațiile radiate de rețelele de alimentare trebuie să se țină seama de faptul că tensiunea este aproximativ constantă, mărimea variabilă fiind curentul. Cele doua câmpuri, electric și magnetic, depind în primul rând de valoarea tensiunii și respectiv, a curentului. Dacă câmpul electric este aproximativ constant, câmpul magnetic are o variație temporală  $H_{\max}/H_{\min}$  aproximativ egală cu 2. Mai mult, câmpul magnetic are variații diurne (perioade de consum minim/maxim din rețea), săptămânale (în week-end-uri și în afara acestora), sezoniere (iarnă/vară) și anuale (tendința de creștere a consumului de la un an la altul).

Sursele de producere a acestor perturbații radiate sunt liniile de alimentare cu energie electrică și consumatorii; pentru liniile de înaltă tensiune, valorile câmpului electric la 1 m de sol sunt cuprinse între 2 și 10 kV/m, iar pentru câmpul magnetic, între 1 și 10 A/m și ele scad cu pătratul distanței. Pentru zonele rezidențiale, zone comerciale și birouri, câmpul electric este de 8 - 12 V/m, iar inducția câmpului magnetic variază între 0,05 - 0,3  $\mu$ T. În zona industrială, mai ales acolo unde sunt instalații energetice importante, câmpul magnetic poate fi de 100 - 1000 ori mai mare decât în zonele rezidențiale; de exemplu, în zona transformatoarelor de sudură, a cuptoarelor electrice, inducția câmpului magnetic poate atinge 1-10 mT.

Dintre sursele locale generatoare de câmp magnetic perturbator de intensitate mare, pot fi amintite:

a) *Transformatoarele* dimensionate să funcționeze la o inducție maximă de 1,5 T; dacă inducția ajunge la 2 T, miezul se saturează, intensitatea câmpului magnetic din apropiere putând atinge chiar 100 A/m. Acest câmp magnetic descrește însă rapid cu puterea a 3-a a distanței. Trebuie reținut faptul că direcția câmpului magnetic depinde de poziția și orientarea transformatorului; acest câmp pot fi redus prin ecranare.

b) *Bobinele de deflexie* ale tuburilor cinescop, dar și circuitele electronice aferente acestora, inclusiv blocul de tensiune înaltă, generează câmpuri magnetice cu frecvențe cuprinse între 15 și 80 kHz, cu o variație rapidă pentru  $dH/dt$ .

c) *Curenții de fugă* din conductoarele de nul sau de protecție, inclusiv cei homopolari, pot realiza câmpuri importante care descresc proporțional cu distanța.

d) *Cuptoarele de inducție* utilizate în industrie pentru călire superficială reprezintă o sursă importantă de perturbații de joasă frecvență; ele funcționează la frecvențe cuprinse între câteva sute de Hz și zeci de kHz, având puteri cuprinse între 10 și 100 kW. Zona de lucru pentru aceste cuptoare nu poate fi ecranată însă, câmpul scade cu cubul distanței.

Spre deosebire de ecranarea electrică care este deosebit de eficace la frecvențe joase, câmpul magnetic este greu de ecranat sub 10 kHz, el afectând aparatura electronică sensibilă. Trebuie

## Capitolul 2

### **Semnale și perturbații**

menționat faptul că perturbațiile de joasă frecvență radiate pot să deranjeze echipamentele electronice sensibile, echipamentele ISM; o atenție deosebită trebuie acordată protecției capetelor de citire magnetică și unor aparate electronice deosebit de sensibile la acțiunea câmpului magnetic ca: spectrometrele de masă sau aparatura medicală (EEG, ECG) etc., care sunt, în general, mai sensibile la acțiunea acestor perturbații de joasă frecvență.

Perturbațiile radiate în regim tranzitoriu sunt periculoase în măsura în care au o variație rapidă în timp ( $dE/dt$  sau  $dH/dt$  sunt mari) și dacă echipamentele electronice nu sunt realizate conform normelor de compatibilitate electromagnetică.

#### **Aplicație:**

**Care este intensitatea câmpului magnetic la o distanță de 1m, respectiv, 5cm, dacă la distanța de 25 cm de un transformator se măsoară un câmp de 1A/m.**

**Soluție:** Deoarece intensitatea câmpului magnetic descrește cu putere a treia a distanței se poate scrie:

$$H = k \cdot r^{-3}$$

de unde rezultă  $k = 0,0156 \text{ A/m}^4$ . Pentru distanța de 1 m, intensitatea câmpului magnetic va fi:

$$H = 0,0156 \cdot 1^{-3} = 0,0156 \text{ A/m} ,$$

iar pentru distanța de 5 cm:

$$H = 0,0156 \cdot 0,05^{-3} = 125 \text{ A/m} !$$

Surse care produc asemenea perturbații pot fi:

a) *Curenții de scurt-circuit* din liniile de alimentare, în afara fenomenelor de conducție, generează și un câmp magnetic de regim tranzitoriu; într-o rețea de înaltă tensiune, curentul de scurt-circuit poate depăși de 5-50 de ori curentul nominal. În rețelele electrice de joasă tensiune, valoarea maximă a acestui factor este de 25, valoarea medie fiind considerată 15.

b) *Conectarea liniilor aeriene* de înaltă tensiune produce prin inducție, în liniile de medie și joasă tensiune, perturbații tranzitorii importante. Acest regim tranzitoriu este cuprins între 10  $\mu\text{s}$  și câteva milisecunde. De exemplu, conectarea unei linii de 20 kV, în cazul cel mai defavorabil, induce o tensiune de vârf într-o altă linie de ordinul a 1 kV; în acest caz sunt afectate echipamentele numerice, liniile telefonice etc.

c) *Blitz-ul*, folosit la aparatele fotografice, poate să producă la o distanță de 2 m, un câmp magnetic de circa 0,1 A/m cu o frecvență de câteva sute de kilohertzi; acest câmp poate induce în buclele din vecinătate tensiuni perturbatoare importante, în special pentru echipamentele electronice sensibile și respectiv, pentru echipamentele numerice.

d) Nu în ultimul rând, *trăsnetul* poate să genereze câmpuri radiate în regim tranzitoriu deosebit de periculoase pentru liniile electrice, dar și în cadrul altor rețele aflate în apropierea locului în care s-au produs.

## Capitolul 2 Semnale și perturbații

- **Explicați mecanismul prin care perturbațiile descrise anterior pot afecta circuitele electronice numerice sau analogice și cum se poate reduce efectul lor**
- **Din ce cauză într-o locuință, distribuția câmpului electric/magnetic depinde de geometria cablurilor?**
- **Ce efect poate avea câmpul magnetic parazit asupra unui monitor?**

### **1.4. Perturbații de înaltă frecvență**

Perturbațiile de înaltă frecvență, peste 1 MHz, au ca principală caracteristică faptul că se pot propaga prin orice tip de cuplaj, izolarea galvanică fiind neeficientă în acest caz. O altă caracteristică este aceea că la frecvențe ridicate toate conductoarele devin antene sau circuite rezonante, ceea ce face ca problemele de identificare a surselor de perturbații să devină mai puțin intuitive, ridicând totodată dificultăți în ceea ce privește procesul de măsurare. Interferențele perturbațiilor de înaltă frecvență se produc pe mai multe căi; în primul rând, ele acționează direct asupra electronicii numerice și de asemenea, asupra electronicii analogice, uneori prin transformarea în perturbații de joasă frecvență în cadrul unor circuite neliniare (de exemplu, prin detecție în etajele amplificatoare). De asemenea, perturbațiile de înaltă frecvență produc îmbătrânirea mai rapidă a izolațiilor ca urmare a încălzirii dielectrice care crește o dată cu frecvența.

Principalele surse de perturbații de înaltă frecvență care apar în rețelele de alimentare sunt:

a) *Zgomotul de comutare* al motoarelor cu colector reprezintă o perturbație întreținută; scânteile generate la perii sunt echivalente cu sursele de comutare foarte rapidă care injectează în cabluri curenți de înaltă frecvență cu fronturi sub 10 ns. Aceste perturbații se pot propaga și direct, prin diafonie sau radiație, efectul lor putând fi redus prin introducerea unor filtre direct la bornele motoarelor.

b) *Sursele în comutație* generează impulsuri sinusoidale amortizate cu frecvența în gama 5 - 50 MHz care afectează echipamentele electronice sensibile. Reducerea nivelului acestor perturbații se realizează prin filtrare.

În ceea ce privește perturbațiile de înaltă frecvență în regim tranzitoriu, ele au efect în primul rând asupra echipamentelor numerice; întrucât apariția lor are caracter statistic, ele acționează în mod aleator, fără a avea o corelație cu ciclul numeric parcurs, ceea ce face și mai dificilă operația de identificare a surselor și a căilor de de transmitere.

Principalele tipuri de surse de perturbații de înaltă frecvență în regim tranzitoriu sunt:

## Capitolul 2

### Semnale și perturbații

1) *Deconectarea dinamică a bobinelor*, a sarcinilor inductive în general (prin rele, contactoare etc.), conduce la apariția unor tensiuni care pot fi deosebit de importante ca valoare; deoarece în paralel cu bobina se află și capacitatea parazită a acesteia, forma teoretică a impulsului generat ar trebui să fie o semisinusoidă. În realitate, în momentul deconectării, tensiunea dintre contacte începe să crească până când atinge tensiunea de străpungere, după care procesul se relia (fig. 2.8). Întrucât distanța dintre electrozi a crescut, următoarea străpungere are loc la o tensiune mai mare, adică,  $U_{p2} > U_{p1}$  ș.a.m.d.

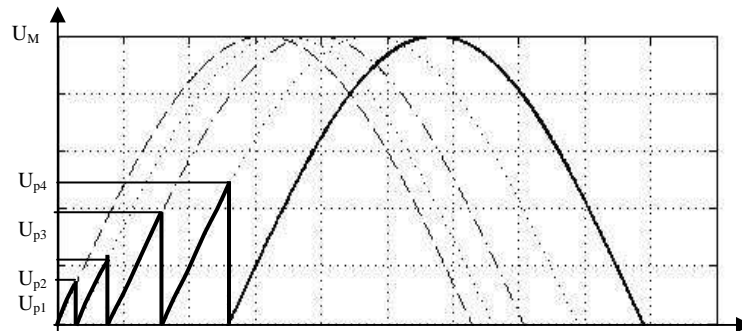


Fig. 2.8. Explicativă la producerea salvei de impulsuri

Ultimul impuls este de amplitudine maximă și poate atinge câțiva kV. Rezultă că deconectarea sarcinilor inductive conduce la apariția unei salve de impulsuri de frecvență ridicată, reducerea efectului fiind posibilă cu ajutorul circuitelor de antiparazitare în paralel pe contacte (RC, diode limitatoare etc.).

2) *Manevrele din circuitele de înaltă tensiune* (la deconectare), produc impulsuri cu amplitudinea de circa 10 ori mai mare ca tensiunea nominală din cauza sarcinilor cu caracter inductiv. De exemplu, la o rețea de 20 kV, tensiunea în impuls poate atinge 200 kV; durata arcului depinde de tipul dispozitivului de manevră folosit (disjunctoare, separatoare etc.). Pentru disjunctoarele moderne cu vid, timpul de comutare al curentului este sub 10 ns, rezultând perturbații cu spectru larg; pentru disjunctoarele cu aer, fenomenele sunt asemănătoare deconectării bobinelor, cu descărcări multiple, arcul format putând dura și peste 10 s cu circa 100 amorsări/s/fază.

În concluzie, la frecvențe ridicate, este greu de făcut distincție între perturbațiile care acționează prin conducție sau sunt radiate, ceea ce face extrem de dificilă identificarea și măsurarea acestora.

- Explicați modul în care o perturbație de înaltă frecvență MA este transformată în perturbație de joasă frecvență de către un etaj amplificator.
- Din ce cauză la deconectarea sarcinilor inductive se obține o succesiune de impulsuri și ultimul are cea mai mare amplitudine?

## Capitolul 2

### Semnale și perturbații

#### 1.5. Descărcările electrice atmosferice

Descărcările electrice atmosferice au început să fie studiate pe la mijlocul secolului al XVIII-lea, fără a fi pe deplin elucidate nici în prezent, ele fiind tratate, de cele mai multe ori din punct de vedere statistic. Descărcarea electrică dintre doi nori se numește *fulger*, iar descărcarea electrică dintre un nor și pământ se numește *trăsnet*, aceste fenomene putând fi însoțite de numeroase predescărcări. Raportul dintre numărul trăsnetelor și numărul total al descărcărilor electrice depinde de latitudine; pentru zona țării noastre acest raport este de (0,25-0,3).

Pe întregul glob pământesc au loc aproximativ 50 - 80 descărcări electrice pe secundă; pentru zona țării noastre, deci în jurul paralelei de  $45^{\circ}$ , cad în medie 3 trăsnete/km<sup>2</sup>/an, cu variații destul de mari care depind de: forma de relief, prezența unor construcții înalte, a arborilor sau a complexelor industriale, gradientul de temperatură etc. Pentru CEM au o importanță mai mare trăsnetele din cauza efectelor distructive.

După sarcina electrică transportată, trăsnetele pot fi negative sau pozitive; majoritatea sunt negative, trăsnetele pozitive reprezentând aproximativ 10 % din numărul total al descărcărilor atmosferice. Din punct de vedere energetic, trăsnetele pozitive sunt mult mai periculoase decât cele negative (sunt și mai puțin cunoscute). În afara acestora există și trăsnetul globular, care a fost descris de observatori, însă nu este studiat, fenomenul fiind rar și nereproductibil în laborator.

Principala sursă de producere a descărcărilor electrice atmosferice o reprezintă norii *Cumulo-Nimbus* (fig.2.9). Acești nori au forma de "nicovală", sunt de culoare neagră în partea inferioară și provin din ascensiunea verticală a aerului umed până la 10-15 km. Norii *Cumulo-Nimbus* reprezintă o uriașă mașină electrostatică fiind încărcăți până la circa 5 km cu sarcină negativă, iar în partea superioară, cu sarcină electrică pozitivă; cantitatea de sarcină electrică negativă, respectiv pozitivă, acumulată în nor, este de circa 100 C.

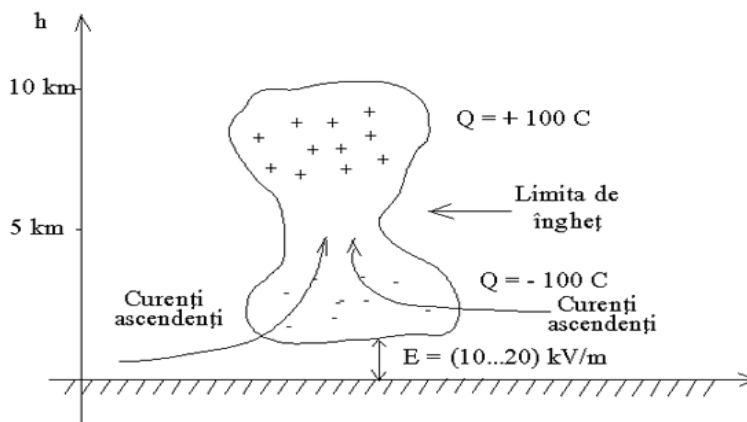


Fig.2.9. Structura electrică a norilor *Cumulo-Nimbus*

## Capitolul 2

### Semnale și perturbații

În zilele senine câmpul electric normal la suprafața pământului este de circa 200 V/m; în prezența norilor Cumulo-Nimbus, câmpul electric poate atinge 20 kV/m, diferența de potențial dintre nor și pământ fiind de ordinul a 1000 MV. Descărcarea, pentru un trăsnet negativ, decurge în felul următor: inițial se formează, pornind de la nor, un precursor descendent, puțin luminos, care transportă o cantitate mică de sarcină. Acest precursor se deplasează spre pământ și formează un canal ionizat; când ajunge la câțiva zeci de metri de sol, câmpul electric local crește mult și se declanșează descărcarea. Pornind de la pământ, se creează un arc electric de retur ascendent, care stabilește legătura cu precursorul descendent; prin canalul ionizat creat, sarcina electrică negativă se scurge la pământ.

Forma curentului conținut de un trăsnet negativ este reprezentată în figura 2.10. Primul impuls are o amplitudine cuprinsă între 15 și 100 kA (valoarea medie pentru țara noastră este de 25 kA) și o durată la jumătate din amplitudine de circa 50  $\mu$ s, după care curentul scade la câteva sute de A; după câteva zeci de ms iau naștere o serie de noi impulsuri de amplitudine mai mică, însă cu timpul de creștere mult mai mic; pentru țara noastră panta medie este de circa 30 kA/ $\mu$ s, iar numărul de impulsuri ulterioare impulsului principal, este de circa 4. Durata totală a trăsnetului este sub o secundă, cantitatea totală de sarcină transmisă spre pământ fiind de ordinul a 15 - 30 C.

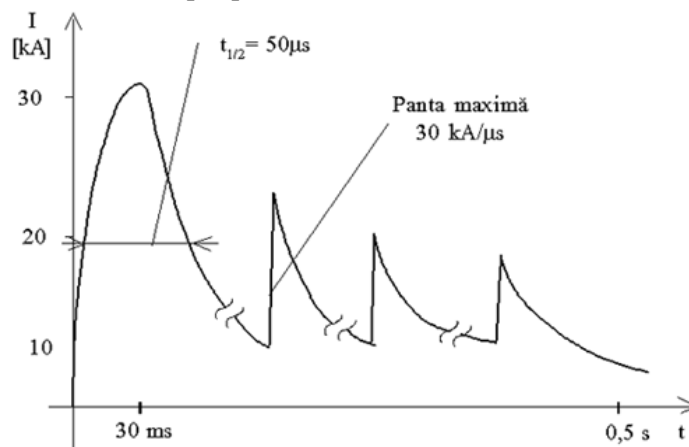


Fig.2.10. Forma curentului pentru un trăsnet

În cazul trăsnetelor pozitive apare numai arcul principal, fără descărcări ulterioare. De asemenea, pot exista și trăsnete anormale, la care amplitudinea maximă să fie la cel de-al doilea impuls, trăsnete care produc atât impulsuri negative cât și pozitive sau care se formează din cer senin, datorate existenței unor zone atmosferice ionizate.

Toate mărimile caracteristice pentru descărcările electrice au legi de variație logaritmică/normală, adică caracteristicile logaritmice au o lege de repartiție normală.

Efectele descărcărilor electrice atmosferice sunt multiple; pentru CEM prezintă importanță următoarele efecte:



## Capitolul 2 Semnale și perturbații

a) *Zgomotul natural* la frecvențe foarte joase, pentru banda de frecvențe 30 Hz - 2 kHz, are ca sursă principală descărcările electrice atmosferice. Sub 30 Hz, cea mai mare pondere o are zgomotul produs de interacțiunea dintre plasma solară și magnetosferă. Zgomotul natural pentru domeniul 30 - 300 Hz depinde de ora din zi, anotimp și de poziția geografică, însă variațiile sunt relativ mici.

Dependența de frecvență a factorului de zgomot este redată în fig.2.11. Între pământ și ionosferă există un ghid de undă cu frecvența de tăiere de circa 2 kHz. Rezonanțele Schumann (vezi fig.2.11) apar la frecvența naturală de rezonanță a cavității sferice dintre pământ și ionosferă. Faptul că zgomotul natural este prezent și în absența descărcărilor atmosferice se explică prin aceea că undele produse de acestea se propagă în ghidul de undă amintit, producând un zgomot de tip  $1/f$ , zgomot care prezintă importanță la măsurările analogice de joasă frecvență.

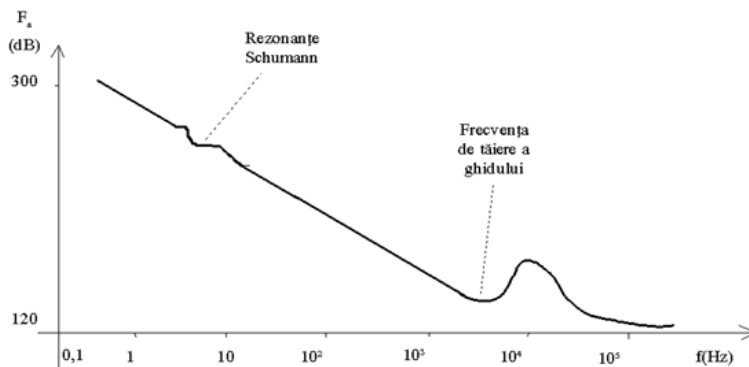


Fig.2.11. Dependența factorului de zgomot de frecvență

b) *Ridicarea potențialului solului* lângă punctul de impact al trăsnetului prezintă o importanță deosebită din cauza gradientului de potențial care apare și care are expresia:

$$U [V] = 0,2 \times I \times \rho / r , \quad (2.7)$$

unde:  $I$  este amplitudinea primei descărcări electrice în amperi,  $\rho$  - rezistivitatea medie a solului în  $\Omega.m$ , iar  $r$  - distanța de la locul impactului la punctul de observare, în m.

Acest gradient de potențial poate produce amorsări între masele echipamentelor în cazul în care acestea nu sunt corect cablate, existând riscul unor străpungeri suplimentare. Evitarea acestora se realizează cu ajutorul mai multor cabluri de coborâre de la paratrăsnet, care să divizeze curentul și respectiv, prin folosirea unor limitatoare de tensiune între părțile metalice și cablurile de coborâre.

c) *Câmpul magnetic radiat* este datorat faptului că trăsnetul injectează în pământ un curent; știind că amplitudinea câmpului magnetic orizontal, la distanța  $r$  de canalul ionizat, este:

**Capitolul 2**  
**Semnale și perturbații**

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad (2.8)$$

tensiunea maximă indusă într-o buclă orientată după direcția verticală, de suprafață  $S$ , va fi:

$$U[V] = S\mu_0 \frac{\Delta H}{\Delta t} = \frac{200 \cdot S[m^2] \cdot \Delta i[kA]}{r[m] \cdot \Delta t[\mu s]} \quad (2.9)$$

Reducerea acestor tensiuni se poate realiza cu ajutorul cablurilor ecranate cu dublă legătură la masă (la ambele capete). Trebuie amintit faptul că trăsnetele pot perturba direct sau prin inducție liniile de alimentare, producând perturbații de regim tranzitoriu; efectele trăsnetelor nu apar întotdeauna imediat; din cauza solicitării foarte mari, unele materiale și componente îmbătrânesc rapid, căderile urmând să apară după câteva luni de la producerea fenomenului.

Pentru reducerea efectelor trăsnetelor (și evident în scop de protecție), se folosesc paratrăsnetele, instalații formate dintr-un electrod ascuțit, cablu de coborâre și priză de pământ. Se consideră că zona protejată de un paratrăsnet este o zonă cuprinsă în interiorul unui con cu raza de  $120^\circ$ , cu vârful în capătul liber al electrodului de captare (fig. 2.12).

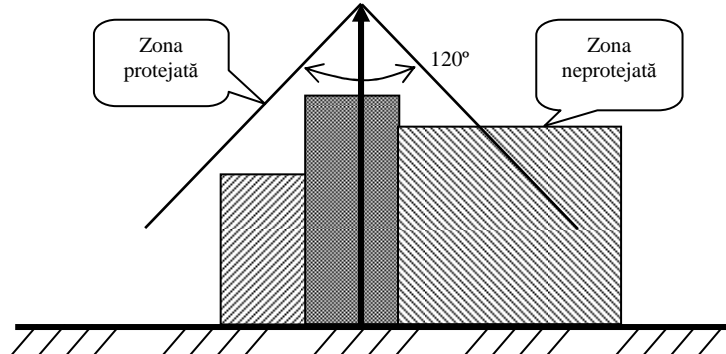


Fig. 2.12. Zona protejată de paratrăsnet

**Aplicație:** Care este tensiunea maximă care poate să apară între 2 puncte situate la 1 m, aflate la distanța de 100 m de locul de impact al unui trăsnet cu amplitudinea de 25 kA, dacă rezistivitatea solului este 1000  $\Omega$ m.

**Soluție:** Cazul cel mai defavorabil este atunci când cele două puncte sunt situate pe o direcție radială; în acest caz se obține:

$$U_{100} = 0,2 \times 25000 \times 1000/100 = 50000 \text{ V,}$$

$$U_{101} = 0,2 \times 25000 \times 1000/101 = 49500 \text{ V,}$$

de unde rezultă:  $\Delta U = 500 \text{ V}$ , (tensiunea de pas).

## Capitolul 2 Semnale și perturbații

- Un trăsnet cade la 50 m de un echipament la care conductoarele de masă formează o buclă de 1 m<sup>2</sup>. Se cere tensiunea indusă în buclă, dacă panta maximă este de 40 kA/ms.
- Din ce cauză unele efecte ale trăsnetelor apar după un anumit timp?

### 1.6. Descărcările electrostatice

Fenomenele electrostatice sunt cunoscute încă din antichitate; ele au început să prezinte importanță pentru CEM o dată cu dezvoltarea circuitelor electronice de viteză mare și cu consumuri energetice reduse, circuite care pot fi afectate de *descărcările electrostatice* (electrostatic discharges - ESD).

Încărcarea electrostatică are loc prin următoarele procedee:

- a) prin *frecare* (efect triboelectric);
- b) prin *contact* (transfer de sarcină electrică);
- c) prin *influență*;
- d) prin *ionizare*;
- e) prin *clivaj* sau *spargere*;
- f) prin *încălzire* (efect piroelectric) etc.

Din punct de vedere CEM, principala formă de electrizare a corpurilor o reprezintă *efectul triboelectric*; în urma frecării a două corpuri diferite, unul se încarcă cu sarcină electrică pozitivă, iar celălalt - cu sarcină electrică negativă, conform cu *seria triboelectrică* (luând două corpuri confecționate din materialele prezentate în tabelul următor, în urma frecării, cel mai apropiat de semnul "+" se va încărca cu sarcină electrică pozitivă, iar celălalt, cu sarcină electrică negativă).

#### **SERIA TRIBOELECTRICĂ**

“+” Aer - mâini - azbest - sticlă - mică - păr - naylon - lână - aluminiu - hârtie - bumbac - oțel - lemn - cauciuc - nichel - cupru - aur - poliester - celuloid - poliuretan - PVC - teflon “-“

În practică, încărcarea electrostatică poate să apară în urma deplasării/mișcării operatorilor umani, a manipulării diverselor piese sau obiecte etc., dar poate fi produsă și în cadrul proceselor de producție sau de altă natură în care se produc frecări (de exemplu: în industria textilă la deplasarea țesăturilor, din cauza rulajului autoturismelor pe șosea etc.); cantitatea de sarcină electrică produsă depinde de natura materialelor care vin în contact, capacitatea acestora în raport cu masa, rezistența echivalentă de pierderi, umiditatea atmosferică etc.

Deoarece operatorul uman reprezintă principalul vector care produce descărcările electrostatice, el a fost modelat astfel:

- o **capacitate** electrică estimată a fi cuprinsă între 50 pF (capacitatea intrinsecă) și 500 pF,
- o **rezistență** electrică în serie, de 50 - 5000 Ω;

## Capitolul 2 **Semnale și perturbații**

*Diferența de potențial* dintre operatorul uman și pământ este de ordinul  $10 \div 25$  kV, valoarea maximă fiind de 40 kV (peste 40 kV apare *efectul Corona*); trebuie reținut că operatorul uman nu are nici un fel de senzație până la 3 - 4 kV! *Polaritatea tensiunii* poate fi pozitivă sau negativă în funcție de natura corpurilor care vin în contact, iar *cantitatea de sarcină* este de cel mult câțiva mC. *Energia electrică* acumulată în condensatorul echivalent se determină cu relația:

$$W = C \times U^2 / 2 \quad (2.10)$$

și are valori maxime de ordinul sutelor de milijouli.

Trebuie remarcat faptul că prin modificarea poziției corpului încărcat cu electricitate (de exemplu, ridicarea unui picior), se modifică capacitatea din cadrul sursei echivalente corpului încărcat cu sarcină electrostatică, rezultând o modificare a tensiunii și deci, a câmpului electric.

Descărcarea electrostatică se produce ca urmare a atingerii de către operatorul uman a unui punct conectat la masă; în acest caz, ia naștere un impuls de curent a cărui amplitudine poate depăși 10 A și care are o durată de câteva sute de nanosecunde; timpul de creștere al acestui impuls poate fi sub 1 ns (fig.2.13).

Fenomenul este similar și în cazul în care o persoană

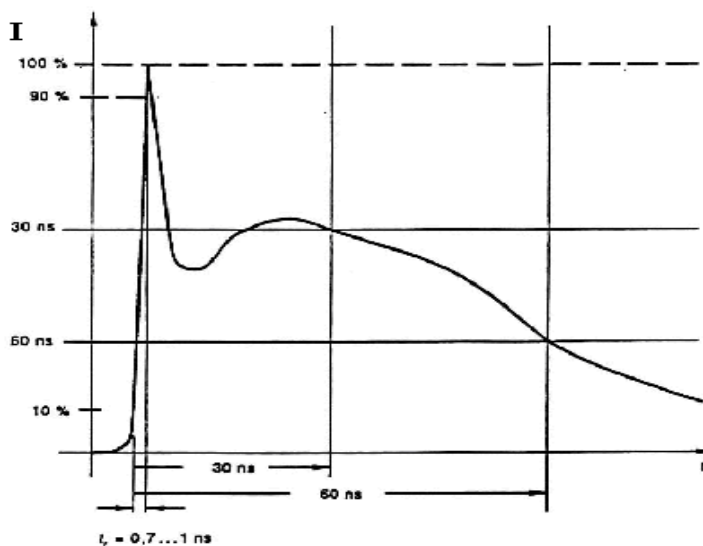


Fig.2.13. Forma impulsului de curent la ESD

neîncărcată atinge un corp încărcat cu electricitate, realizând calea de descărcare. Forma impulsului de descărcare, ca amplitudine și durată, depinde de tensiunea cu care este încărcat operatorul/obiectul, dar și de modul în care se face descărcarea (de exemplu, dacă descărcarea se face printr-o șurubelniță sau un alt obiect conductor ascuțit, frontul scade mult sub 1ns).

Reducerea pericolului de a se produce încărcarea electrostatică constă într-o alegere îngrijită a materialelor care

## Capitolul 2

### **Semnale și perturbații**

vin în contact (de exemplu, alegerea materialului pentru pardoseală, a încălțămintei, folosirea mobilierului metalic etc.). O cale de reducere a efectului descărcărilor electrostatice constă în creșterea **umidității relative** la peste 50%. Reducerea efectului datorat descărcărilor electrostatice este posibilă prin ecranare și respectiv, prin utilizarea unor filtre.

- **Analizați, pe baza seriei triboelectrice, care sunt cele mai dezavantajoase combinații de materiale din laboratoarele în care ați lucrat.**
- **Din ce cauză este afectată de către ESD numai electronica care conține dispozitive de viteză mare și cu consum redus?**

### **1.7. Alte tipuri de perturbații**

O sursă importantă de perturbații de înaltă frecvență radiate o reprezintă *echipamentele industriale, științifice și medicale* (Industrial, Scientific and Medical - ISM); ele sunt proiectate să genereze și/sau să folosească local energia de radiofrecvență și pot avea puteri mai mari de 1 kW și frecvențe de lucru de până la 3 GHz. Uneori aceste echipamente funcționează pe *frecvențe autorizate* (13,56 MHz, 27,12 MHz etc.). O alta sursă de perturbații continue de înaltă frecvență o reprezintă emițătoarele radio-TV, inclusiv aplicațiile wireless.

Câmpul electric radiat de un emițător radio fi estimat prin:

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot P \cdot G}}{r} \quad (2.11)$$

unde:  $P$  este puterea radiată în W,  $G$  - câștigul antenei ca raport, iar  $r$  - distanța dintre antenă și punctul de măsurare.

**Aplicație: Să se determine câmpul electric într-un punct situat la 100 m de o antenă dipol ( $G=1,5$ ), cu puterea radiată de 400 kW.**

**Soluție: Câmpul electric are valoarea:**

$$E = \frac{\sqrt{30 \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 1,5}}{100} = 40 \text{ V/m}$$

Ca observație, dacă stațiile de radio - Tv pot fi situate la distanțe mai mult sau mai puțin apropiate de zonele locuite, radiotelefoanele portabile și cele mobile se pot găsi în imediata vecinătate a echipamentelor și deci, efectul acestora poate fi mult mai important.

Alte surse de perturbații pot fi: arcul electric care se formează la cuplajul pantografelor de la locomotivele electrice, tramvaie sau troleibuze, cuptoarele cu microunde, instalațiile

## Capitolul 2 Semnale și perturbații

radar, dar și brichetele electronice sau jucăriile electronice; din punct de vedere militar, inclusiv civil, prezintă importanță și exploziile nucleare, în special cele care se produc la înălțime mare și care pot să producă un impuls electromagnetic cu amplitudinea de circa 10 kA și tensiunea de 4 MV, rezultând pentru zona de câmp depărtat, câmpuri electromagnetice în impuls cu amplitudinea de ordinul zecilor de kV/m.

În practică, cele mai importante perturbații pentru CEM sunt cele produse de echipamentele și subsansamblurile electronice; în figura 2.14 este prezentat nivelul componentei electrice a câmpului electromagnetic pentru unele aplicații ale electronicii, la o distanță de 3 m față de sursa de perturbare.

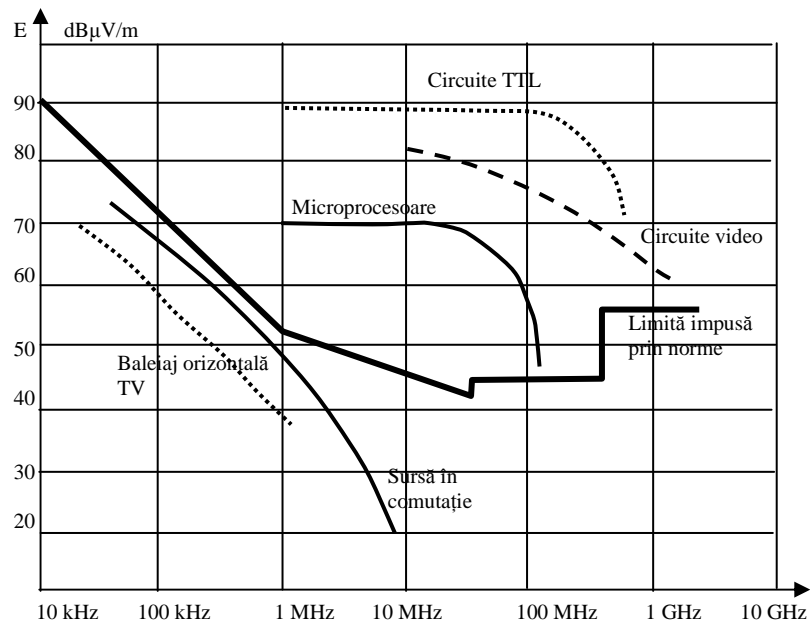


Fig. 2.14. Nivelul unor perturbații pentru aplicații ale electronicii

- **Determinați câmpul electric produs de un radiotelefon mobil cu puterea de emisie de 2 W la distanța de 0,5 m. Ce concluzii se pot trage din acest exemplu?**
- **Din ce cauză echipamentele ISM fac excepție de la normele CEM?**

**Capitolul 2**  
**Semnale și perturbații**

**ÎNTREBĂRI FINALE**

1. De ce impulsurile biexponențiale sunt caracterizate prin amplitudine, timp de creștere și durată?
2. Care este forma funcției sinc  $x$ ?
3. Precizați care este diferența între flickere și fluctuațiile tensiunii de alimentare.
4. Justificați faptul că în cazul apariției componentelor armonice pare apare și componenta de curent continuu.
5. Din ce cauză normele CEM se referă la valoarea curentului pentru componentele armonice și nu la valoarea tensiunii?
6. Cum explicați apariția impulsurilor de tip sinus amortizat în rețeaua de alimentare cu energie electrică?
7. Care sunt efectele produse de o variație a tensiunii de alimentare cu - 15 % asupra: a) unui motor electric, b) unui radiator electric și c) unui calculator?
8. Care sunt diferențele dintre variațiile câmpului magnetic din zonele rezidențiale și respectiv, zonele cu birouri sau comerciale?
9. Explicați efectul produs de un cicuit RC pus în paralel pe contactele unui releu care deconectează o sarcină inductivă.
10. Care sunt diferențele dintre un fulger și un trăsnet?
11. La frecvențe joase, peste zgomotul natural se suprapune și brumul; cum arată caracteristica pentru factorul de zgomot în funcție de frecvență în acest caz?
12. Cum considerați că este mai bine să stăm în timp de furtună: în picioare, culcat, eventual, în poziție ghemuită?
13. Dacă trebuie să amenajați un atelier de electronică în care se assemblează componente sensibile la ESD, ce măsuri ați lua privind: a) alegerea pardoselii, b) alegerea mobilierului, c) stabilirea echipamentului de lucru, d) modul de încălzire/climatizare?
14. Ce jucării pot fi surse de perturbații electromagnetice?
15. Din ce cauză sunt considerate mai periculoase, referitor la efecte, exploziile nucleare produse la o înălțime mare în comparație cu cele produse la o înălțime mai mică?

## Capitolul 2 Semnale și perturbații

### REZUMAT

- *Perturbațiile* sunt semnale deterministe sau aleatoare, care se suprapun peste semnalul util și afectează funcționarea echipamentelor sau canalelor de transmisiune și pot fi caracterizate în *domeniul timp* sau în *domeniul frecvențe*.
- *Impulsurile biexponențiale* sunt definite prin *amplitudine*, *timpul de creștere* și *durata impulsului* la jumătate. Pentru *sinusul amortizat* apare și *frecvența proprie* a sinusoidei.
- *Perturbațiile de joasă frecvență întreținute* au o durată mare se clasifică în: 1) *flicker* - căderi ale tensiunii rețelei datorate șocurilor de curent, cu durata mai mare de 1 s; 2) *variația frecvenței rețelei*; 3) *componente armonice* introduse de consumatori, iar cele în *regim tranzitoriu* se clasifică după *durata* acestora în: 1) *perturbații de lungă durată*; 2) *perturbații de durată medie*; 3) *perturbații rapide*, după *formă*: a) *supratensiuni (biexponențiale)*, b) *sinus amortizat*, c) *salve de impulsuri*, d) *fluctuații*, e) *căderi de tensiune* și f) *microîntreruperi*.
- *Perturbațiile de joasă frecvență radiate de regim continuu* sunt produse de rețea și transmise prin *câmpul electric* sau *magnetic*, iar cele *de regim tranzitoriu* au ca sursă de producere unele evenimente din rețelele electrice cum ar fi: *scurtcircuitele* sau *conectările de linii*, dar și fenomenele electrice atmosferice ca de exemplu, *trăsnetul*.
- Caracteristic pentru *perturbațiile de înaltă frecvență* este faptul că se propagă prin orice tip de cuplaj și pot proveni din *zgomotul de comutare* al motoarelor cu colector, *deconectarea sarcinilor inductive*, *sursele de alimentare în comutație*, *manevrele* din circuitele de înaltă tensiune.
- Dintre *perturbațiile naturale*: *trăsnetele* și *descărcările electrostatice*. *Trăsnetul* este descărcarea electrică dintre un nor și pământ și este caracterizat prin *amplitudinea maximă* a curentului, *panta maximă* de variație și *numărul de impulsuri*. *Descărcările electrostatice* se produc datorită acumulării de sarcină electrică, de obicei, prin *frecare*; caracteristic descărcărilor electrostatice este *amplitudinea impulsului de curent* și respectiv, *timpul de creștere* foarte mic și cu un spectru larg de frecvențe.
- Alte surse de perturbații: *echipamente industriale*, *științifice și medicale*, care funcționează cu energie de radiofrecvență, *emițătoare radio-Tv*, *radiotelefoane*, *radare* etc. și nu în ultimul rând – *electronica!*

**TEMA: Caracterizarea mediului electromagnetic ambiant**  
**- Perturbații în zonele rezidențiale, comerciale și industriale**  
**- Exemplificare pentru un atelier/ laborator cunoscut**