

INTERFERENȚELE ELECTROMAGNETICE INTENȚIONATE – UN RISC POTENȚIAL PENTRU FUNCȚIONAREA SISTEMELOR TEHNICE ELECTRICE ȘI ELECTRONICE

Sorin COATU¹, D. RUCINSCHI², M. COSTEA², T. LEONIDA²

¹Membru corespondent al Academiei de Științe Tehnice din România

²Universitatea „Politehnica“ din București

Rezumat. Interferențele electromagnetice intenționate (IEMI), constând în degradări ale funcționării sau în avarieri ale sistemelor tehnice, electrice și electronice, produse cu scopuri de natură teroristă sau criminală, prin generarea premeditată și intenționată de energie electromagnetică în sistemele vizate reprezintă un potențial factor de risc, care ar trebui avut în vedere la evaluarea și asigurarea siguranței în funcționarea a sistemelor complexe, importante, atât a celor actuale, cât și – mai ales – a celor viitoare, asociate unei dezvoltări durabile a societății. Importanța problemei rezidă în: (i) dependența, crescândă a societății de sistemele informatice complexe și de alte sisteme electronice sensibile; (ii) diversitatea și numărul relativ mare al sistemelor tehnice (industriale, comerciale, administrative etc.) care pot constitui ținte predilecte pentru IEMI, prin consecințele unor astfel de atacuri; (iii) modul, relativ facil, prin care pot fi realizate – cu costuri moderate și, în unele cazuri, folosind cunoștințe tehnice de nivel mediu – unele tipuri de surse de IEMI. Lucrarea analizează problematica IEMI, sub aspectele evaluării surselor de IEMI posibil de realizat în prezent, traseelor de cuplaj dintre acestea și eventualele ținte vizate și efectelor asupra echipamentelor de factură electrică / electronică. Un experiment de laborator ilustrează modul, relativ facil, prin care se pot produce IEMI tranzitorii, conduse, în interiorul unei clădiri publice, folosind drept canal de cuplaj cu echipamentele electrice / electronice instalate în clădire chiar instalația electrică a acesteia. Scopul lucrării este de a pune în evidență riscul particular pe care îl pot reprezenta IEMI pentru o dezvoltare durabilă a societății.

Cuvinte cheie: interferență electromagnetică, risc, compatibilitate electromagnetică.

Abstract. Intentional electromagnetic interferences (IEMIs), as “malicious generation of electromagnetic energy introducing noise or signals into electric and electronic systems, thus disrupting, confusing or damaging these systems for terrorist or criminal purposes” (acc. to IEC International Standard 61000-2-13) represent a potential risk factor, which should be taken into account when assessing the safe operation of complex, significant current systems and especially of the future systems, associated with a sustainable development of society. The importance of the problem lies in: (i) the increasing dependence of the modern society on complex computer systems and other sensitive electronic systems; (ii) the diversity and large number of technical systems (industrial, commercial, administrative, medical etc.) that may be favourite targets for IEMIs, due to important consequences of such attacks; (iii) the relative easy way by which can be achieved – with moderate costs and, in some cases, with medium technical knowledge – some sources of IEMI. This paper analysed the problem of IEMIs from the following points of view: characteristics of currently feasible IEMI sources; coupling paths between IEMI sources and the potential targets concerned; possible effects of IEMIs on electric and electronic equipment. A laboratory experiment illustrates the relative simple way by which may be generated transitory, conducted emissions causing IEMIs in a public building, using the building electrical installation itself. The purpose of this paper is to highlight the particular risk that may represent IEMIs for a sustainable development of society.

Keywords: electromagnetic interferences, risk, electromagnetic compatibility.

1. INTRODUCERE

În accepțiunea Comisiei Electrotehnice Internaționale (CEI), interferențele electromagnetice intenționate (IEMI) sunt degradări ale funcționării sau avarieri ale sistemelor tehnice electrice/electronice, produse cu scopuri de natură teroristă sau criminală, prin generarea premeditată și intenționată de energie electromagnetică, în vederea introducerii de zgomote (electromagnetice) sau de semnale, în sistemele vizate [1].

IEMI sunt rezultatul producerii, intenționate, în proximitatea sistemelor vizate, a unor medii electromagnetice specifice – medii IEMI (M-IEMI), mult mai agresive decât mediile electromagnetice uzuale, putând consta în [2, 3]:

- câmpuri electromagnetice cu niveluri de peste 100 V_v/m, într-un domeniu de frecvențe cuprins între cca. 200 MHz și cca. 5 GHz;
- impulsuri de tensiune injectate în instalațiile electrice de alimentare sau în linii de transmitere a informației, cu niveluri de peste 1000 V_v;
- curenți de joasă frecvență (cca. 50 Hz...cca. 1000 Hz), cu niveluri de ordinul câtorva zeci de amperi, injectați în sistemele de legare la pământ ale instalațiilor din clădiri.

Mediul IEMI se înscrie în categoria mediilor electromagnetice de mare putere (engl.: „High Power Electromagnetic Environments – HPEM), alte surse ale acestora fiind trăsnetele, exploziile nucleare la mare altitudine, sistemele radar sau descărcările electrostatice [3, 4].

Importanța acordată IEMI, în creștere în ultimele două decenii decurge din:

- dependența, din ce în ce mai mare, a societății civile moderne, de utilizarea pe scară largă a sistemelor electronice sensibile, pentru transmiterea, prelucrarea și stocarea informației, pentru conducerea proceselor industriale, în medicină, transporturi etc.
- numărul relativ mare și diversitatea obiectivelor care pot constitui „ținte” tentante pentru producerea de IEMI, datorită gravității consecințelor acestor acțiuni;
- susceptibilitatea mărită a noilor generații de echipamente IT, ca și a altor echipamente electronice (comparativ cu cele din generațiile anterioare), datorată gradelor de împachetare mai mari, frecvențelor de lucru mai ridicate și nivelurilor mai mici, ale semnalelor;
- posibilitatea realizării, cu costuri moderate, folosind componente comercializate fără restricții și fără a avea nevoie de cunoștințe tehnice avansate, a unor surse de IEMI cu gabarite și greutatea suficient de reduse pentru a le asigura mobilitatea și disimularea;
- creșterea numărului activităților teroriste, în general și a celor de natură tehnică, în special.

Scopul acestei lucrări este de a prezenta problematica IEMI, ca unul din potențialii factori de risc care pot afecta dezvoltarea normală a societății moderne. Sunt analizate tipurile de surse de IEMI previzibile în prezent, posibilele trasee de cuplaj dintre acestea și echipamentele sistemelor „țintă”, gradul de vulnerabilitate al sistemelor electrice/electronice actuale. Un experiment de laborator, propriu și o sinteză a preocupărilor organizațiilor științifice și tehnice privind IEMI completează lucrarea.

2. SURSE DE IEMI

Producerea de IEMI urmează modelul „clasic” de producere a interferențelor electromagnetice intersistem, care implică, în afara sistemului „țintă”, o sursă de emisie electromagnetică și un traseu de cuplaj între acestea (fig. 1).

Traseele de cuplaj pot fi omogene sau neomogene, din punctul de vedere al proprietăților fizice, simple sau ramificate, în ceea ce privește topologia lor. În funcție de caracteristicile traseului de cuplaj, între emisia electromagnetică (la sursă) și perturbația electromagnetică la portul unui echipament din componența sistemului vizat apar – în general - deosebiri de nivel și de formă de undă.

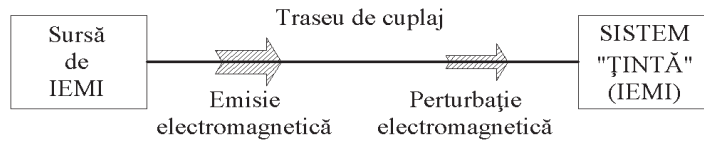


Fig. 1. Modelul producerii de IEMI.

Sursele de IEMI se încadrează în două mari categorii:

- surse de emisii radiate (câmpuri electromagnetice);
- surse de emisii conduse (tensiuni și curenți electrici).

2.1. Surse de emisii radiate

Sursele de emisii radiate, care pot produce IEMI, luate în considerare în prezent sunt categorisite, la rândul lor, în funcție de valoarea *raportului de bandă* br , respectiv raportul între frecvența înaltă f_h și frecvența joasă f_l , care delimitează intervalul din spectrul de frecvență al emisiei care conține 90% din energia radiată de sursă; ($br = f_h/f_l$). Astfel, emisiile pot fi, [2, 3]:

- de bandă îngustă, ($1,00 \leq br \leq 1,01$);
- de bandă moderată, ($1,01 < br \leq 3$);
- de bandă largă, ($3 < br \leq 10$);
- de bandă foarte largă, ($br > 10$).

Tipul emisiei este important atât în ceea ce privește modul în care aceasta poate acționa asupra unui echipament susceptibil, cât și pentru stabilirea măsurilor și mijloacelor de protecție.

Sursele de bandă îngustă produc emisii care conțin – practic – o singură frecvență, cuprinsă între cca. 0,2 GHz și cca. 5 GHz și au durate cuprinse între cca. 100 ns și câteva microsecunde. Emisiile pot fi modulate în amplitudine și pot fi continue sau în pulsuri [2, 6]. Un exemplu de emisie nemodulată, în pulsuri este prezentat în figura 2.

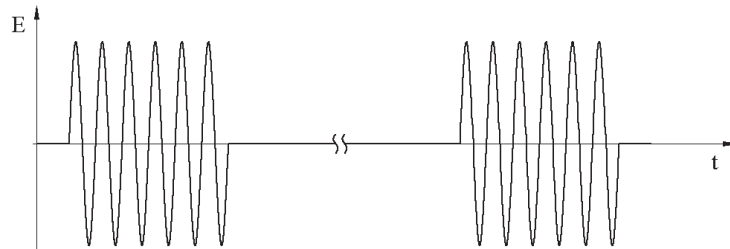


Fig. 2. Emisie de bandă îngustă, nemodulată și în pulsuri.

Valoarea de vârf a câmpului electric îndepărtat E_f [V/m], la o distanță r [m] față de antena sursei este dată de relația:

$$E_f = \frac{\sqrt{P \cdot Z_0 \cdot A}}{r \cdot \lambda} \quad (1)$$

în care: P [W] este valoarea de vârf a puterii furnizată de generatorul de microunde; $Z_0 = 377 \Omega$ – impedanța de undă a vidului (aerului); A [m²] – deschiderea (echivalentă) antenei; λ [m] – lungimea de undă a emisiei.

Standardul CEI 61000-2-3, [3] apreciază că se pot construi relativ ușor surse de emisie de bandă îngustă folosind generatoare de microunde existente în comerț, cu puteri de ordinul a 2 kW, în regim permanent, respectiv 20 MW, în regim pulsatoriu și antene cu o deschidere echivalentă de până

la cca. 10 m^2 , care pot fi amplasate și disimulate pe platforma unui autocamion. În figura 3 este prezentată o estimare a valorilor de vârf ale câmpului electric E_f , pe care l-ar putea produce o astfel de sursă, cu frecvența de 1 GHz, la diferite distanțe r .

Se remarcă posibilitatea de a produce câmpuri electrice cu intensități de peste 100 V/m , de la distanțe față de „țintă” suficient de mari pentru a asigura „conspirarea” acțiunii. Sursele de bandă îngustă, ca și cele de bandă moderată, cu frecvențe de 1 GHz...2 GHz sunt considerate a fi printre cele mai „nocive” surse de IEMI, putând produce degradări severe ale funcționării echipamentelor vizate, mergând până la avarierea acestora, în cazul echipamentelor cu o susceptibilitate mărită pentru frecvența sursei [2, 3]. Totodată, surse de IEMI cu emisii de bandă îngustă pot fi realizate cu costuri moderate și cunoștințe tehnice de nivel mediu.

Sursele de bandă moderată pot fi construite folosind un oscilator - linie de transmisie, de impedanță mică, o antenă cu impedanță mare și o sursă de tensiune continuă înaltă, dar de putere mică. Oscilatorul este format dintr-o linie de transmisie cu o lungime $\lambda/4$, unde λ este lungimea de undă a radiației sursei și un eclator de scurtcircuitare. O reprezentare schematică este prezentată în figura 4.

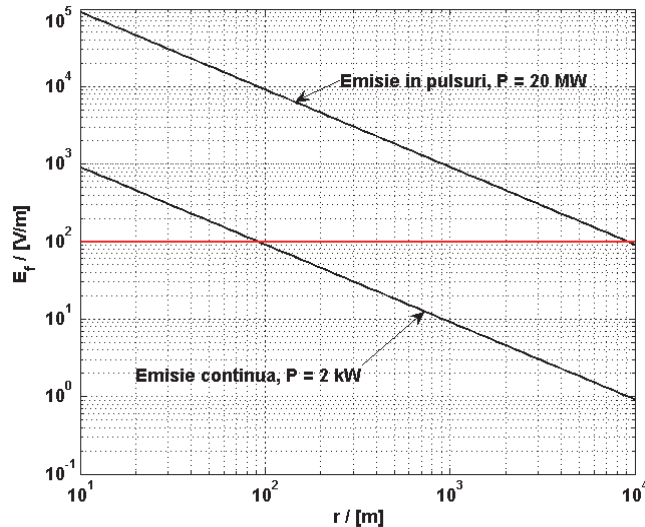


Fig. 3. Variația intensității câmpului electric E_f produs de o sursă de emisie de bandă îngustă ($f = 1 \text{ GHz}$; $A = 10 \text{ m}^2$), în funcție de distanța r față de sursă:
 a – regim permanent, $P = 2 \text{ kW}$; b – regim pulsatoriu, $P = 20 \text{ MW}$.

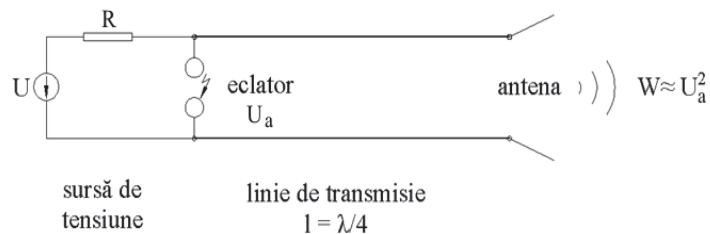
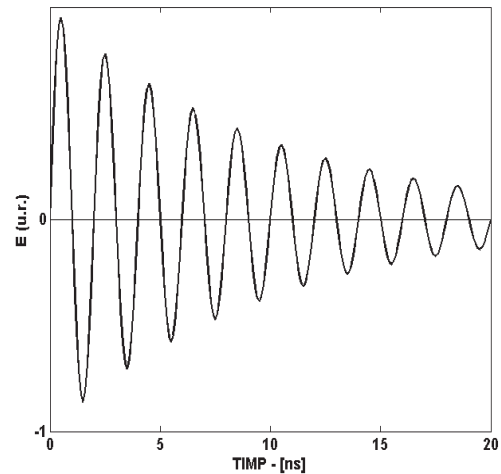


Fig. 4. Reprezentare schematică a unei surse de emisie de bandă moderată.

Funcționarea sursei se desfășoară în două etape. În prima etapă, capacitatea C a liniei de transmisie se încarcă treptat, până la o tensiune $U_a \leq U$ (U_a – tensiunea de amorsare a eclatorului; U – tensiunea continuă de alimentare) și în linie se acumulează o cantitate de energie $W = C \cdot U_a^2 / 2$, care ulterior este radiată, parțial, de sursă. A doua etapă debutează cu amorsarea eclatorului, ceea ce declanșează un proces

tranzitoriu în care unde de tensiune și de curent se propagă pe linia de transmisie, cu reflexii repetate la extremitățile acesteia și se amortizează în timp. În felul acesta, antena este alimentată cu o tensiune oscilantă amortizată și radiația sa are o aceeași formă de undă (fig. 5).

Fig. 5. Formă de undă a unei radiații de bandă moderată ($l = 10$ cm; $f = 50$ MHz).



Obținerea unei energii radiate cât mai mari, de la o sursă cu dimensiuni cât mai mici se poate realiza prin introducerea liniei de transmisie, eclatorului și sursei de tensiune continuă înaltă într-un mediu electroizolant cu o rigiditate dielectrică mare (ulei electroizolant, hexafluorură de sulf etc.). Se estimează că se pot obține astfel surse de emisie cu tensiuni continue (de încărcare) de până la câteva sute de kilovolți, cu frecvențe ale radiației de ordinul a 500 kHz, respectiv lungimi ale liniei de transmisie de numai cca. 10 cm, dacă componentele menționate sunt conținute într-un mediu de ulei electroizolant, [2, 3].

Sursele de bandă largă sau de bandă foarte largă sunt sisteme radiante în impulsuri compuse – în principal – din o sursă de pulsuri de tensiune foarte rapide, o linie de transmisie TEM și o antenă horn (fig. 6).

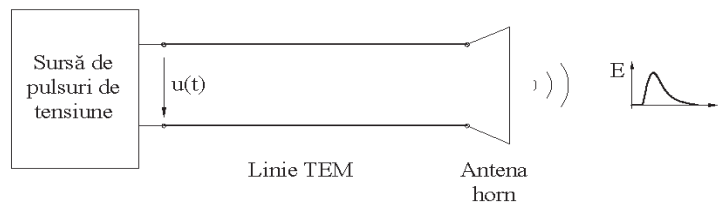


Fig. 6. Reprezentare schematică a unei surse de emisie de bandă largă sau foarte largă.

Pulsul de tensiune poate fi: o semialternanță sau o alternanță a unei tensiuni sinusoidale cu frecvența de ordinul a 1 GHz; un impuls cu timp de creștere de ordinul a 100 ps și o durată (la semi-amplitudine) de ordinul a 4...20 ns [2, 3].

Banda de frecvență a câmpului radiat este cuprinsă între cca. 100 MHz (f_l) și câțiva GHz (f_h), caracteristică surselor de bandă foarte largă. Prin reducerea dimensiunilor antenei sub valorile optime, ceea ce facilitează disimularea sursei și/sau prin mărirea timpului de creștere al impulsului, ceea ce reduce dificultățile tehnice de realizare, banda de frecvență se îngustează până la caracteristicile surselor de bandă largă. Sursele pot lucra în regim de radiație singulară sau în regim de radiație repetată, cu frecvențe de repetiție de 200 Hz...1 kHz, [3].

Construirea unor sisteme radiante de bandă foarte largă, mobile și de dimensiuni relativ mici (posibil a fi disimulate), cu componente din comerț, capabile să producă pulsuri de câmp electric cu valori de vârf de cca. 500 V/m, la o distanță de 100 m este considerată a fi posibilă [2].

2.2. Surse de emisii conduse

O primă categorie de posibile surse de emisii conduse o constituie generatoarele de pulsuri de tensiune și de curent, singulare sau repetate, similare celor folosite în laboratoarele de CEM pentru

încercări de imunitate la tensiuni de șoc, trenuri de impulsuri sau unde sinusoidale puternic amortizate. Astfel se surse de IEMI, capabile să producă pulsuri de tensiune cu valori de vârf de până la cca. 10 kV se pot realiza relativ ușor, din componente disponibile în comerț și pot fi disimulate într-o valiză de dimensiuni medii [3]. Alimentarea sursei poate fi asigurată de o baterie de acumulate sau chiar de instalația electrică a clădirii vizate. Injectarea impulsurilor de tensiune / curent, în instalația electrică sau în liniile de comunicație ale clădirii se poate face în puncte de acces la acestea (prize, tablouri de distribuție etc.), din interiorul clădirii sau – mai dificil – în exteriorul și în imediata vecinătate a clădirii, de exemplu, în postul de transformare care alimentează clădirea.

Pentru producerea de IEMI prin intermediul instalației electrice de alimentare a unei clădiri se consideră că „eficiența” maximă se obține prin injectarea de pulsuri de tensiune cu o durată la semi-amplitudine mai mare decât cca. 0,3 μ s, deoarece atenuarea acestora, prin propagare de-a lungul circuitelor instalației este neglijabilă, [3, 8]. Totodată trebuie avut în vedere faptul că pulsuri de tensiune cu valori de vârf de peste 1 kV pot duce la defectarea surselor de alimentare din calculatoarele personale [3].

Producerea de IEMI prin intermediul liniilor de comunicații ale clădirii este facilitată de:

- atenuările, neglijabile, pe care le introduc astfel de linii, chiar și la frecvențe foarte mari, de până la cca. 1 GHz;
- susceptibilitatea, mult mai mare, a porturilor de semnal / comunicații ale echipamentelor de factură electronică, comparativ cu cea a porturilor de alimentare ale acestora.

În acest sens, se consideră că trenuri de impulsuri de tensiune rapide, cu frecvențe de repetiție cuprinse între câteva sute și un milion de impulsuri pe secundă și cu valori de vârf de peste doar 500 V pot provoca degradări ale funcționării echipamentelor de factură electronică, [3].

O altă categorie de surse de IEMI este cea a surselor de curent sinusoidal, cu frecvența de 50... 1000 Hz și intensități de ordinul zecilor de amperi. Injectarea unor astfel de curenți în instalația de legare la pământ a clădirii vizate se poate face în orice loc accesibil al acesteia, prin cuplaj inductiv, de exemplu folosind un dispozitiv tip „clește de curent”. Circulația curentului injectat prin masele echipamentelor electronice poate produce degradări ale funcționării acestora, [3]. Astfel de surse pot fi realizate în construcții de dimensiuni relativ mici, portabile, cu alimentare de la o baterie de acumulate.

3. TRASEE DE CUPLAJ

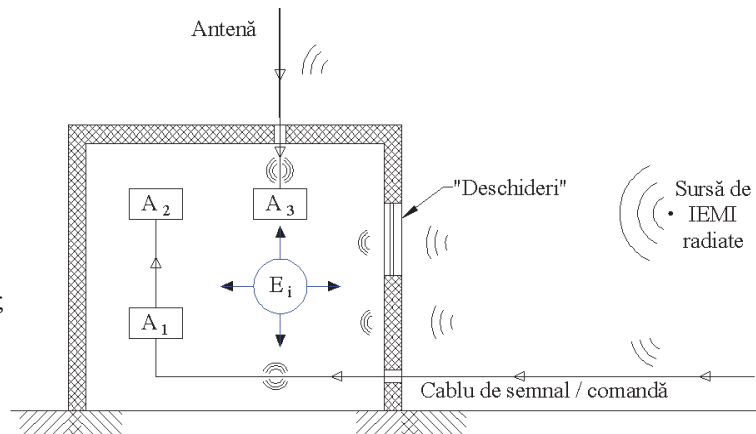
În cazul emisiilor conduse principalele trasee de cuplaj dintre sursele de emisie și echipamentele sistemelor dintr-o clădire sunt relativ bine determinate, fiind materializate de instalația electrică sau de rețelele de semnal ale clădirii.

În cazul emisiilor radiate, transmiterea acestora, de la sursă până la echipamentele dintr-o clădire/incintă se produce, de regulă, prin mai multe trasee de cuplaj, neomogene.

O ilustrare a acestora este prezentată în figura 7, din care se pot remarca următoarele cuplaje posibile:

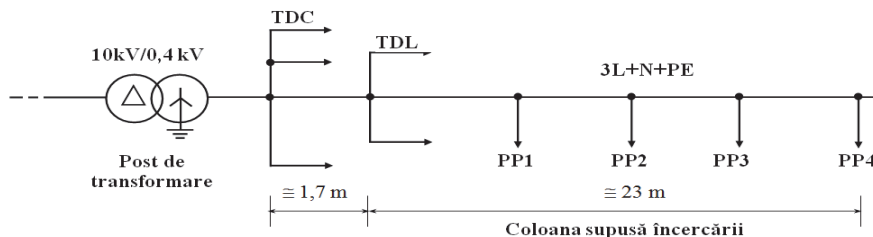
- câmpul electromagnetic radiat de sursa de emisie se propagă prin aer până la peretele exterior al clădirii, se transmite prin acesta și acționează în mod direct la porturile carcasă ale echipamentelor; în același timp, câmpul produs în interiorul clădirii induce tensiuni și curenți perturbatori în cablurile instalațiilor interioare și în conexiunile de legare la pământ ale echipamentelor;
- câmpul radiat de sursă induce tensiuni și curenți perturbatori în porțiunile „din teren” ale cablurilor care interconectează sistemele din clădire cu exteriorul acesteia, perturbațiile induse transmițându-se mai departe, prin conducție, la porturile de linie ale echipamentelor din clădire;
- câmpul radiat de sursa de emisie induce tensiuni perturbatoare în eventualele antene de telecomunicații și acestea se transmit, prin conducție, la porturile de antenă ale echipamentelor.

Fig. 7. Ilustrare a traseelor de cuplaj dintre o sursă de emisii radiate și echipamentele sistemelor amplasate într-o clădire:
 $A_1 \dots A_3$ – aparate electrice / electronice;
 E_i – câmpul electric perturbator din interiorul clădirii.



4. EXPERIMENT PRIVIND PRODUCEREA DE IEMI PRIN INSTALAȚIA ELECTRICĂ A CLĂDIRII

În scopul evaluării posibilităților producerii de IEMI prin injectarea de impulsuri de tensiune/curent în instalația electrică de alimentare a unei clădiri s-a folosit instalația laboratorului de CEM al Facultății de energetică din Universitatea Politehnică din București, constând din patru tablouri cu prize monofazate, alimentate de la tabloul de distribuție al laboratorului, aflat în imediata vecinătate a postului de transformare 10/0,4 kV al clădirii (fig. 8). Deși lungimea instalației laboratorului este relativ mică (cca. 23 m) și topologia sa este simplă, fără ramificații, rezultatele experimentului pot fi extinse, cel puțin sub aspect calitativ, la instalațiile mai lungi și mai complexe, specifice clădirilor publice mari.



SCHEMA INSTALAȚIEI DE ÎNCERCARE
TDC – Tabloul de distribuție principal (al clădirii)
TDL – Tabloul de distribuție al laboratorului
PP – Panouri cu prize

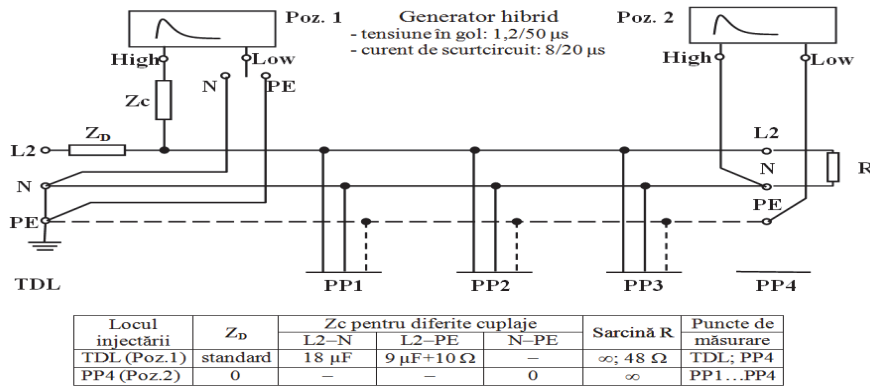
Fig. 8. Schema experimentelor cu unde de șoc standardizate:
TDC – tabloul de distribuție principal; TDL – tabloul de distribuție al laboratorului;
PP – panouri cu prize.

Tensiunile aplicate au fost:

- undă de șoc standardizată 1,2 / 50 μ s, impulsuri singulare;
- tren de impulsuri standardizat (75 impulsuri 5 / 50 ns, durata trenului de 15 ms).

Pentru producerea acestora s-au utilizat generatoare ale laboratorului folosite în mod curent pentru încercări de imunitate.

Experimentele s-au desfășurat în conformitate cu schema din figura 9, în cazul injectării de unde de șoc, respectiv cu schema din figura 10, în cazul experimentelor cu trenuri de impulsuri.



SCHEMA EXPERIMENTELOR CU TENSIUNI DE SOC

Z_c – Rețea de cuplare; Z_D – Rețea de decuplare
 TDL – Tabloul de distribuție al laboratorului;
 PP – Panouri cu prize

Fig. 9. Schema experimentelor cu trenuri de impulsuri standardizate:
 Z_c – rețea de cuplare; Z_D – rețea de decuplare; TDL – tablou de distribuție;
 PP – panou cu prize.

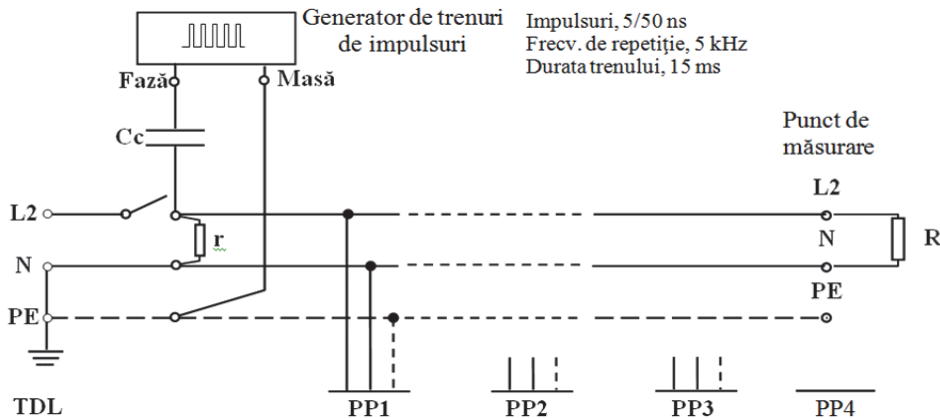


Fig. 10. Schema experimentelor cu trenuri de impulsuri:

TDL – tabloul de distribuție al laboratorului; PP – panouri cu prize; C_c – condensator de cuplaj (33 nF);
 R – sarcină rezistivă (∞ , 48 Ω); r – rezistor (2,8 Ω) pentru simularea impedanței rețelei de alimentare (amonte).

Principalele concluzii desprinse din aceste experimente au fost:

- tensiuni de impuls relativ lente, cum este unda de șoc 1,2 / 50 μ s, aplicate simetric (L-N) sau nesimetric (L-PE) se transmit, practic neatenuate și nedeformate, în toată instalația și independent de mărimea sarcinii R conectată la instalație;
- transmiterea impulsurilor mult mai rapide (5/50 μ s), cum sunt cele din trenurile de impulsuri standardizate, în lungul instalației este caracterizată de atenuări relativ mari ale valorii de vârf, de 0,7...0,9 dB/m (în funcție de mărimea sarcinii R), ca și de modificări ale formei de undă și de o creștere substanțială a duratei perturbației, efecte datorate fenomenelor de propagare cu reflexii succesive;
- injectarea unor tensiuni de tipul undelor de șoc, cuplate N-PE, la o priză oarecare a instalației, departe de tabloul de distribuție este modul cel mai simplu, din punct de vedere tehnic și totodată discret, prin care se pot produce tensiuni perturbatoare la porturile de alimentare de c.a. ale unui număr mare de aparate; tensiunea injectată este transmisă fără modificări ale formei de undă, dar

cu atenuări mai mari, de cca. 1,6 dB/m (în cazul instalației investigate), ceea ce limitează producerea de interferențe la distanțe „electrice” de ordinul zecilor de metri.

• cea mai „eficientă” modalitate pentru producerea de IEMI prin emisii conduse rămâne injectarea de tensiuni de tipul undă de șoc, între un conductor de fază și conductorul de nul sau cel de legare la pământ de protecție, de la o sursă de tipul „generator hibrid” (IEC 61000-4-5), alimentată de la o baterie de acumuloare; o astfel de sursă, capabilă să producă tensiuni cu valori de vârf de până la cca. 6...8 kV este relativ ușor de realizat, cu cheltuieli relativ modeste și într-o construcție compactă, adecvată disimulării sale.

Detalii privind experimentul efectuat se pot găsi în [8].

5. SUSCEPTIBILITATEA ECHIPAMENTELOR ELECTRONICE ACTUALE

Standardele internaționale actuale recomandă limite de imunitate pentru echipamente amplasate în diferite medii electromagnetice, fără a considera și mediul specific IEMI, radiat și/sau condus. Cum intensitățile unora dintre fenomenele specifice mediului IEMI pot depăși în mod substanțial pe cele corespunzătoare celorlalte medii electromagnetice, pe de o parte și cum alte fenomene din mediul IEMI sunt specifice doar acestuia, pe de altă parte este foarte probabilă manifestarea unei susceptibilități a echipamentelor actuale, instalate în condiții obișnuite, în raport cu fenomene specifice mediului IEMI. În acest sene, este ilustrativ cazul echipamentelor de tehnologia informației, pentru care limitele de imunitate sunt stabilite de standardul *CISPR 24 (2010): Information technology – Immunity characteristics – Limits and methods of measurement*, [10]. În Tabelul 1 sunt prezentate câteva limite de imunitate relevante, prevăzute de acest standard, în paralel cu nivelurile de încercare a imunității la fenomene similare, din mediul IEMI, propuse în proiectul standardului *IEC 61000 -4 -36 (CD, 2013): IEMI immunity test methods for equipment and systems*, [11] și cu o evaluare bazată pe alte studii [2, 3, 8].

Tabelul 1

Echipamente de tehnologia informației – limite de imunitate actuale (CISPR 24) și limite de imunitate propuse pentru mediul IEMI (pr. IEC 61000 – 4 -36)

Tip de solicitare	Port	Limită de imunitate CISPR 24	Nivel de încercare a imunității IEC 61000 – 4 – 36	Nivel maxim posibil
Câmp electromagnetic de frecvență radio	Carcasă	3 V/m; 80 ... 1000 MHz; nemodulat	30 ... 15000 V/m; ^(a) bandă îngustă, f ≥ 1000 MHz	-
Tren de impulsuri; 5/50 ns; mod comun	Alimentare c.a.	1 kV	4 ... 16 kV	-
	Semnal / comunicații	0,5 kV		-
Tensiune de șoc; 1,2/50 μs (8/20 μs); L – N sau L - P	Alimentare c.a.	2 kV	-	6 ... 8 kV ^(b)
<i>Nota a.</i> Pulsuri cu o durată de 0,01 ... 0,5 μs și o frecvență de repetiție de 1 ... 100 cicluri/s; durată totală de 1 ... 10 s. Niveluri în funcție de gradul de expunere al echipamentului la surse IEMI de nivel tehnologic mediu.				
<i>Nota b.</i> Limitat de tensiunea de străpungere a izolației instalației electrice.				

Compararea valorilor actualelor limite de imunitate, care nu iau în considerare și mediul electromagnetic IEMI, cu valorile propuse în baza evaluării intensităților posibile ale fenomenelor electromagnetice specifice mediului IEMI evidențiază o reală susceptibilitate a echipamentelor actuale, în cazul în care acestea nu sunt sau nu pot fi protejate într-un mod corespunzător.

6. PREOCUPĂRI ALE ORGANIZAȚIILOR TEHNICE INTERNAȚIONALE PRIVIND INTERFERENȚELE ELECTROMAGNETICE INTENȚIONATE

Prima organizație care a abordat problema IEMI a fost URSI (International Radio Scientific Union) care, prin adoptarea „Resolution of Criminal Activities using Electromagnetic Tools”, din 1999 a recunoscut existența fenomenului, a semnalat pericolele și consecințele posibile și a recomandat comunității CEM să ia în considerare posibilele amenințări cu IEMI și să acționeze pentru limitarea efectelor acestora.

IEC (International Electrotechnical Commission), ca organizație mondială de standardizare în domeniu introduce subiectul IEMI, în preocupările sale, încă de la începutul anilor 2000, alocându-l Comitetului Tehnic 77(CT77) – Compatibilitate electromagnetică, elaborarea propriu-zisă de publicații (standarde, rapoarte și specificații tehnice) revenindu-i Subcomitetului 77C- „High Power Transient Phenomena”, cu experiență în medii asemănătoare mediului IEMI, cum sunt cele produse de trăsnete, impulsul electromagnetic nuclear ș.a. Publicațiile produse de acest subcomitet tratează problema IEMI fie în contextul, mai larg, al fenomenelor electromagnetice de putere mare („high power electromagnetics – HPEM”), fie în mod separat și au abordat – până în prezent – următoarele aspecte:

- efectele asupra sistemelor tehnice civile – *IEC 61000-1-5 (2004) : General – High power electromagnetic (HPEM) effects on civil systems.*;
- mediul electromagnetic specific – *IEC 61000- 2-13 (2005): Environment- High Power electromagnetic (HPEM) environments – Radiated and conducted*;
- evaluarea susceptibilității sistemelor electrice și electronice și metode de protejare a acestora – *IEC 61000-5-9 (2009): Installation and mitigation guidelines –System level susceptibility assessments for HEMP and HPEM*;
- metode și instalații de încercare pentru stabilirea imunității – *IEC 61000-4-35 (2009):Testing and measuring techniques – HPEM simulator compendium* și *IEC 61000-4-36 (CD 2013) – Testing and measuring techniques – IEMI immunity test methods for equipment and systems.*

Tot SC 77 C are în vedere problema impactului fenomenelor electromagnetice de mare putere, inclusiv IEMI asupra viitoarelor rețele electrice inteligente, [9].

CIGRE (International Council on Large Electric Systems) are în curs de elaborare broșura tehnică „Protection of the high voltage power network control electronics against intentional electromagnetic interferences (IEMI)”, [4], ca particularizare a problemei IEMI pentru stațiile electrice, iar ITU (International Telecommunications Union) a abordat protecția contra IEMI a instalațiilor din domeniul său în cadrul standardului *ITU-T, K.78 (2009): High-power Electromagnetic Pulse Immunity Guide for Telecommunication Centers*. Preocupări privind IEMI are și IEEE – EMC Society, care pregătește standardul *IEEE 1642: Recommended Practice for Protecting Public Accessible Computer Systems from Intentional EMI*.

Totodată, organizații tehnice / științifice și societăți comerciale din multe țări, printre care SUA, Marea Britanie, Franța, Suedia, Rusia, Elveția derulează de mai mulți ani cercetări în domeniul IEMI și au dezvoltat instalații de încercare specifice.

7. CONCLUZII

Interferențele electromagnetice intenționate (IEMI) reprezintă un real factor de risc pentru funcționarea normală, în parametrii prevăzuți, a sistemelor electrice / electronice de semnal mic, de care societatea modernă este dependentă din ce în ce mai mult. Ignorarea factorului de risc reprezentat de IEMI poate afecta dezvoltarea normală a societății, în special dacă sunt afectate sisteme care asigură funcționalități importante. Reducerea riscului producerii de IEMI este posibilă printr-o

abordare dedicată, de preferință încă din faza de proiectare a sistemului. Adoptarea de măsuri ulterioare instalării sistemului implică – de regulă – cheltuieli mai mari, iar rezultatele pot fi mai modeste.

BIBLIOGRAFIE

- [1] IEC/ TR 61000-1-5 (2004), „Electromagnetic compatibility – Part 1-5: General – High power electromagnetic (HPEM) effects on civil systems”.
- [2] D.V. Giri, F.M. Tesche, „Classification of Intentional Electromagnetic Environments (IEME)”, *IEEE Trans. on EMC*, vol. 46, pp. 322 – 328, Aug. 2004.
- [3] IEC 61000-2-13 (2005), „Electromagnetic compatibility – Part 2-13: Environment - High power electromagnetic (HPEM) environments – Radiated and conducted.
- [4] W.A. Radasky, „Approach for the Protection of HV Power Grid Network Control Electronics from Intentional Electromagnetic Interferences (IEMI)”, *CIGRE SC 4 2009 Coll., Kushiro (Japan), Rep. S1-8*.
- [5] IEEE P 1642, „Recommended Practice for Protecting Public Accessible Computer Systems from Intentional EMI”, *IEEE – EMC Society, TC-5, Draft, Aug. 2009*.
- [6] W.A. Radasky a.o., „Introduction to the Special Issue on High – Power Electro-Magnetics (HPEM) and Intentional Electromagnetic Interferences (IEMI)”, *IEEE Trans. on EMC*, vol. 46, pp. 314 – 321, Aug. 2004.
- [7] IEC/TR 61000-5-6 (2002), „Electromagnetic compatibility – Part 5-6: Installation and mitigation guidelines – Mitigation of external EM influences”.
- [8] S. Coatu, D.C. Rucinski a.o., „Intentional Electromagnetic Conducted Emissions-Threats for Public and Commercial Buildings. Part 1 – Surge Type Emissions; Part 2 – Burst Type Emissions”, *Proc. of the 6-th Intern. Conf. on Electrical and Power Engineering – EPE 2010, Iași (Romania), Oct. 2010*, pp. 99 – 105.
- [9] W.A. Radasky, „SC 77C – EMC: High Power Transient Phenomena and Smart Grid Implications”, *1906-2006 – The Electric Century Symp., Seattle (USA), Oct. 2010*.
- [10] CISPR 24 (2010), „Information technology equipment – Immunity characteristics – Limits and methods of measurement.
- [11] pr. IEC 61000-4-36 (CD, 2013), „IEMI immunity test methods for equipment and systems.