

IMPACTUL CAMPULUI ELECTROMAGNETIC AL LINIILOR ELECTRICE AERIENE

1. Introducere – considerente asupra impactului CEM al LEA

Ghidul ICNIRP (International Commission on Nonionizing Radiation Protection) (1998), precizează ca referințe pentru expunerea publică la câmpul electromagnetic de frecvență 50 HZ valorile de 5 kV/cm pentru câmpul electric și 100 μ T pentru câmpul magnetic. Aceste valori au fost preluate și în Recomandarea corespunzătoare a Consiliului Europei (1999). Pe de altă parte, ca regulă generală, valorile câmpului magnetic în punctele accesibile publicului din cadrul culoarului LEA sunt cu mult mai mici decât pragul de 100 μ T, indiferent de tensiunea nominală a liniei. Nu același lucru se poate spune despre nivelul câmpului electric, a cărui intensitate în puncte din vecinătatea liniilor aeriene cu tensiuni nominale superioare valorii de 300 kV poate depăși pragul de 5 kV/m.

Astfel, valorile uzuale ale intensităților câmpurilor electric și magnetic în proximitatea unor structuri tipice ale liniilor de transport sunt cele indicate în Tabelul 1, conform <http://www.emfs.info/>.

Tabelul 1 – Valori uzuale ale intensităților câmpului electric și magnetic în vecinătatea LEA.

Tip stâlp (tensiune nominal)	Categorie valorică	Magnetic Field [μ T]	Electric Field [kV/m]
Stâlpi de oțel – înălțimi mari (275 kV și 400 kV)	Valoare maximă (sub LEA) Valoare medie (sub LEA) Valoare medie (la 25 m de axul LEA)	100 5-10 1-2	11 3-5 0.2-0.5
Stâlpi de oțel – înălțimi medii (132 kV)	Valoare maximă (sub LEA) Valoare medie (sub LEA) Valoare medie (la 25 m de axul LEA)	40 0.5 – 2 0.05-0.2	4 1-2 0.1-0.2
Stâlpi de lemn – înălțimi mici (11 kV și 33 kV)	Valoare maximă (sub LEA) Valoare medie (sub LEA) Valoare medie (la 25 m de axul LEA)	7 0.2-0.5 0.01-0.05	0.7 0.2 0.01-0.02

În prezent, există o preocupare crescândă în ceea ce privește efectele câmpului electromagnetic din vecinătatea liniilor electrice de IT și FIT asupra organismelor vii și în special asupra omului. Aceste preocupări au la bază ipoteza conform căreia expunerea la câmp electromagnetic de frecvență extrem de scăzută (și în special la câmpul magnetic de 50 Hz creat de liniile electrice aeriene) poate cauza efecte nedorite asupra sănătății, mai cu seamă un risc crescut de producere a leucemiei la copii, așa cum sugerau concluziile unui studiu epidemiologic ce datează încă din anul 1979. În principiu, dacă asemenea probleme de sănătate există, se consideră că la originea lor s-ar afla câmpul magnetic și nu cele electric, deoarece acesta din urmă este „ecranat” în mare parte de corpul uman. Un alt motiv al acestor preocupări este legat de aspectele specifice compatibilității electromagnetice, sub forma interferențelor cu dispozitivele electronice.

Deși nu există o confirmare clară a acestor supoziții și nici mecanisme care să explice asocierea statistică identificată între expunerea la câmpul magnetic de frecvențe foarte joase și leucemia la copii, precum și datorită imposibilității confirmării acestor mecanisme pe baza unor studii in vivo sau in vitro, Agenția Internațională pentru Cercetări în domeniul Cancerului, care face parte din Organizația Mondială a Sănătății (OMS), a clasificat în anul 2002 câmpul magnetic de frecvență foarte joasă printre agenții fizici „posibili carcinogenici”. În acest context, unele țări au adoptat politici bazate pe principii preventive, stabilind limite mult mai reduse pentru intensitatea câmpului magnetic, decât cele recomandate de ICNIRP.

De regulă, măsurătorile pentru câmpul electric sau magnetic se fac în anumite secțiuni ale culoarului liniei electrice, după cum este ilustrat în Fig. 1. Rezultatele măsurătorilor efectuate pentru trei categorii de linii (în funcție de tensiunea nominală) sunt indicate în Fig. 2, unde se indică valorile medii și maxime pentru intensitatea câmpului electric sub linia monitorizată pe durata întregii campanii de măsurători, conform Hoeffelman (2004). Pe de altă parte, în tabelul atașat sunt indicate valorile limită ale aceleași mărimi, în funcție de caracteristicile zonei pe care o traversează linia. Pentru câmpul magnetic, în Tabelul 2 se indică valoarea medie, abaterea standard și limitele de încredere pentru un coeficient 0.95 pentru pozițiile 1, 2 3 și 4 din Fig. 1, pentru o linie de 380 kV.

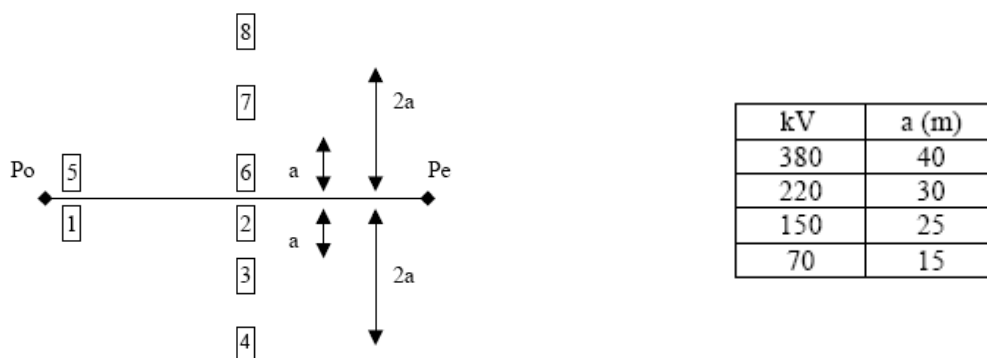
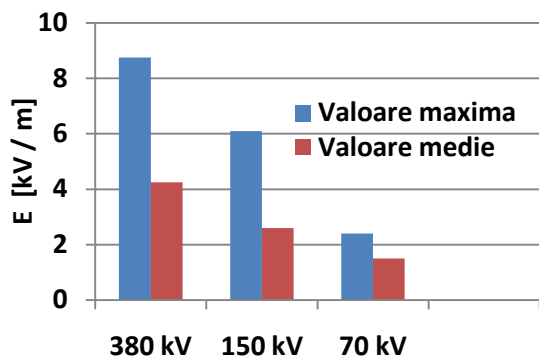


Fig. 1 – Puncte de măsură ale câmpului electrice / magnetic într-o deschidere, între stâlpii P_o și P_e . Valorile distanțelor laterale „a” sunt indicate în funcție de tensiunea nominală a liniei.



Limitele câmpului electric	
Poziție	Câmp [kV/m]
Zone locuite	5
Traversări de drumuri	7
Altele	10

Fig. 2 – Valori medii și maxime ale câmpului electric sub liniile electrice aeriene de diverse tensiuni nominale și valori limită recomandate în diferite zone traversate de linii, conform Hoeffelman (2004).

Tabelul 2 – Date statistice pentru câmpul magnetic în lungul liniei din Fig. 1, conform Hoeffelman (2004).

Poziția	Câmpul magnetic (μT) – limite de încredere		
	Valoare medie	Abatere standard	Limite pentru coeficientul de încredere 95%
1	[1.4 – 2.1]	[1.3 – 1.9]	[4.2 – 6.0]
2	[2.1 – 3.2]	[1.9 – 2.7]	[6.2 – 9.0]
3	[0.8 – 1.3]	[0.8 – 1.2]	[2.4 – 3.7]
4	[0.3 – 0.7]	[0.3 – 0.7]	[1.0 – 2.2]

2. Tehnici de atenuare a câmpului magnetic al LEA

Calea cea mai directă și evidentă de reducere a nivelului câmpului magnetic în vecinătatea unei linii electrice constă în reducerea curentului ce străbate conductoarele acelei linii. Astfel, câmpul magnetic al unei linii aeriene poate fi redus prin creșterea tensiunii nominale, astfel încât pentru o putere transmisă dată, curentul se va micșora. Deși o asemenea soluție este fezabilă din punct de vedere tehnic, ea nu este folosită în practică în scopul reducerii nivelului câmpului magnetic deoarece presupune costuri mult prea mari. Soluțiile ce vor fi prezentate în continuare intră în categoria celor care presupun costuri mici și un impact minim asupra condițiilor de exploatare. Aceste tehnici sunt folosite în prezent pe scară largă pentru atenuarea nivelului câmpului magnetic de foarte joasă frecvență în instalațiile electrice. Deși aspectele ce vor fi menționate în continuare sunt valabile pentru toate liniile electrice (aeriene sau în cablu), în cele ce urmează ne vor referi strict la cazul LEA.

În funcție de caracteristicile elementelor de atenuare folosite, CIGRE (2009) împarte aceste tehnici în trei grupe:

- Managementul sistemului de conductoare;
- Compensarea și
- Ecranarea.

2.1. Managementul sistemului de conductoare

Tehnicile folosite în cadrul acestui grup nu utilizează nici un element extern de atenuare a câmpului magnetic. În schimb, grupează conductoarele liniilor electrice de așa manieră încât să asigure reducerea globală a câmpului magnetic.

2.1.1. Dispunerea conductoarelor și compactizarea liniei

Câmpul magnetic creat în jurul conductoarelor LEA poate fi modificat prin schimbarea poziției relative a conductoarelor. Astfel, în Fig. 3 se indică liniile de câmp magnetic din secțiunea transversală a unei LEA trifazate. Cazul din Fig. 3.a corespunde unui coronament uzual al stâlpilor, de tip portal, în timp ce cazul din Fig. 3.b corespunde unui coronament simetric, având conductoarele dispuse în vârfurile unui triunghi echilateral. Se observă că în cel de al doilea caz liniile de câmp se concentrează mai bine în jurul conductoarelor, iar intensitatea câmpului magnetic scade mai repede decât în cazul din Fig. 3.a, pe măsura îndepărtării de conductoarele liniei.

O reducere suplimentară a câmpului magnetic se poate obține prin reducerea distanțelor dintre conductoarele liniei (compactizare), așa cum este ilustrat în Fig. 4.a și b, pentru situația în care se procedează la înjumătățirea distanțelor în raport cu cazul din Fig. 3.

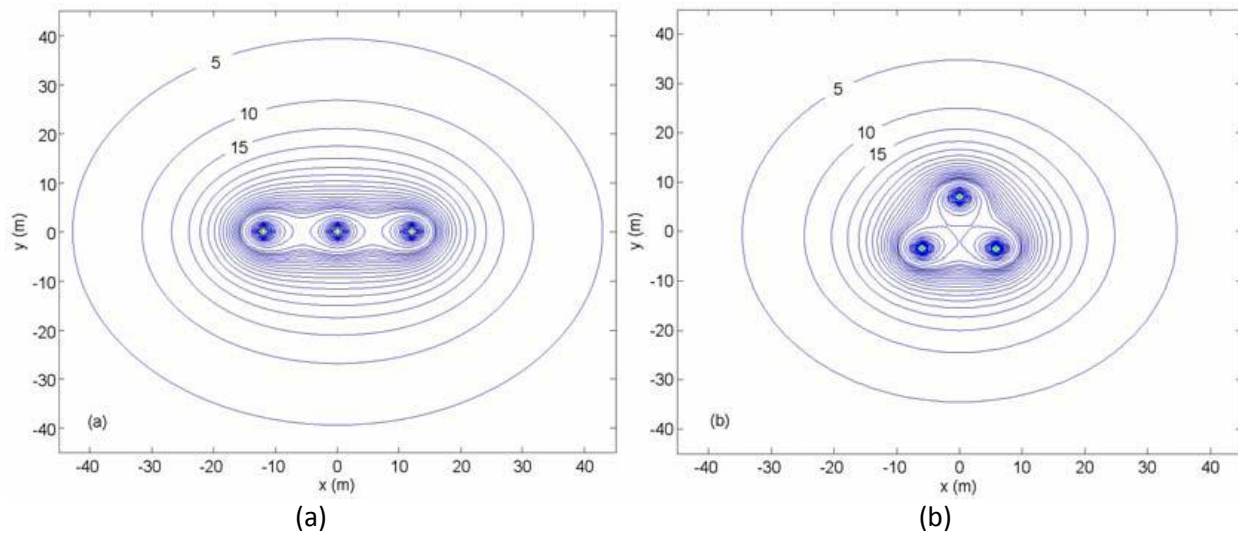


Fig. 3 – Liniile de câmp magnetic (în μT) în jurul conductoarelor LEA pentru un coronament orizontal (a) sau în triunghi echilateral (b). Distanța între faze – 12 m. Intensitatea curentului – 2 kA, conform CIGRE (2009).

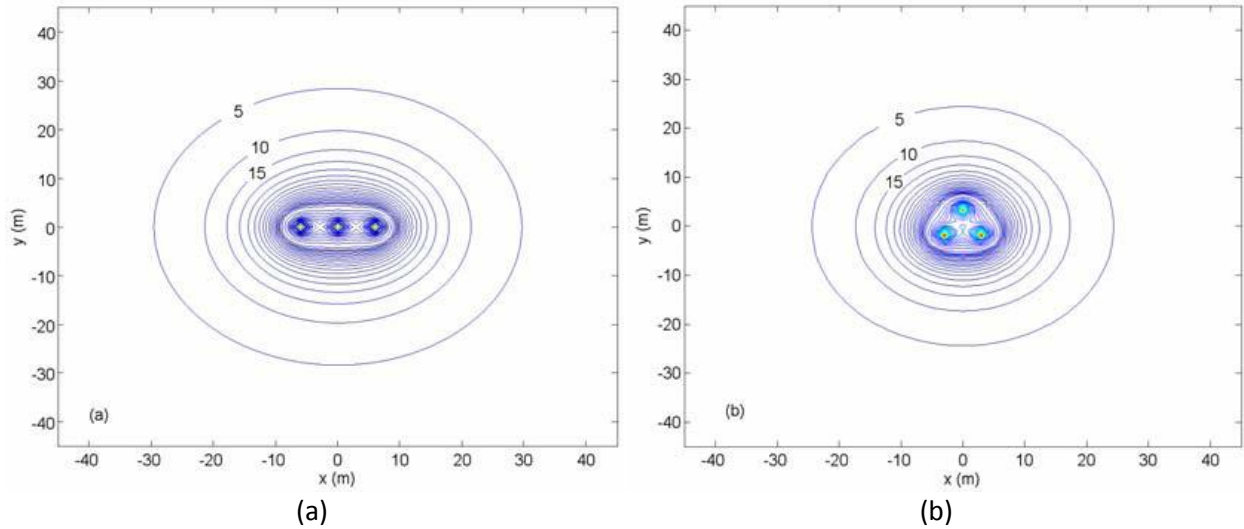


Fig. 4 – Liniile de câmp magnetic (în μT) în jurul conductoarelor LEA pentru un coronament orizontal (a) sau în triunghi echilateral (b), compactizat. Distanța între faze – 6 m. Intensitatea curentului – 2 kA, conform CIGRE (2009).

2.1.2. Divizarea fazelor

Principiul acestei tehnici este ilustrat mai întâi pentru cazul unei configurații monofazate simple, formată din două conductoare (Fig. 5.a), care este transformată într-un sistem monofazat cu patru conductoare, câte două pentru fiecare fază (Fig. 5.b). Acest procedeu este denumit *divizarea fazelor*. Dacă cele patru conductoare sunt dispuse în ordinea din Fig. 5.b, se obține o configurație cu nivel atenuat al câmpului magnetic, pentru care intensitatea câmpului magnetic scade cu inversa puterii a III-a a distanței la conductoare.

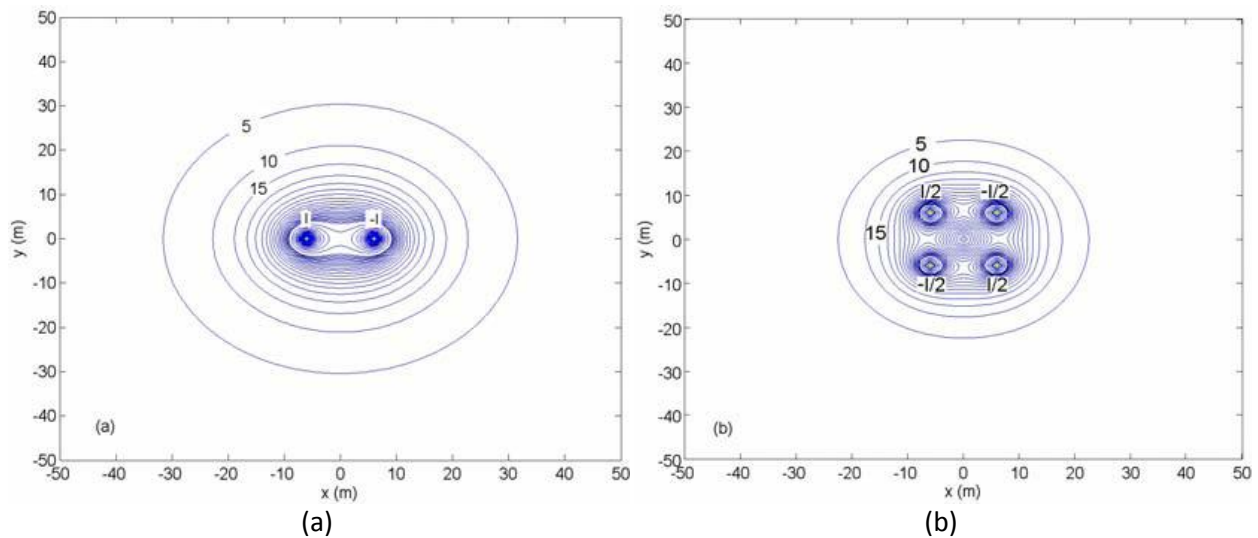


Fig. 5 – Liniile de câmp magnetic (în μT) generat de un sistem monofazat cu două conductoare (a) și un sistem monofazat cu patru conductoare (b). Distanța între faze – 12 m. Intensitatea curentului – 1 kA, conform CIGRE (2009).

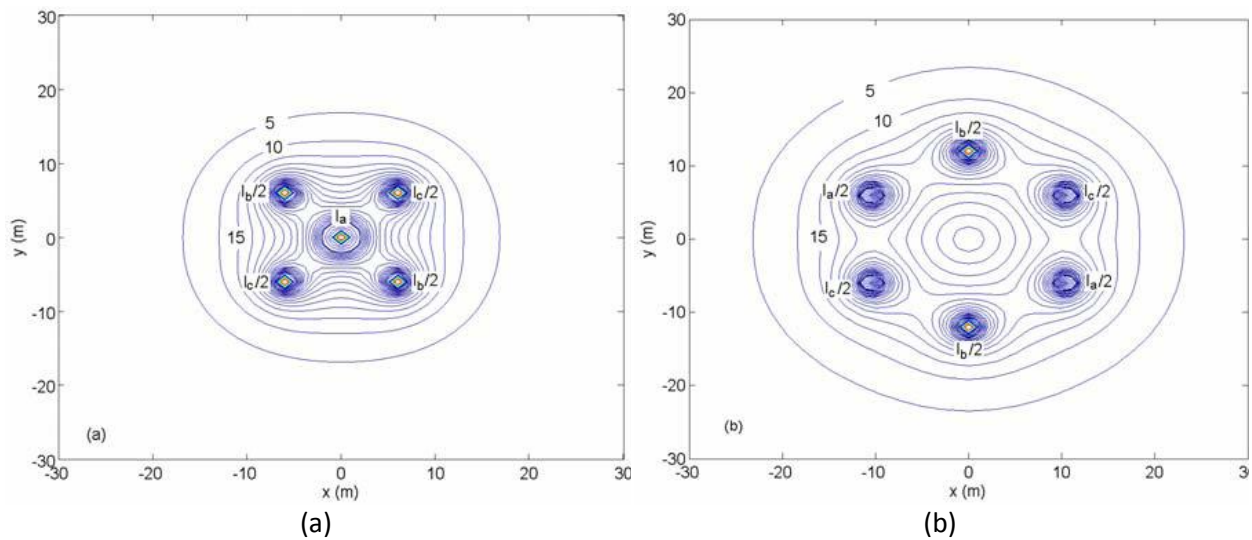


Fig. 5 – Linii de câmp magnetic (în μT) generat de un sistem trifazat cu divizarea a două faze (a) și cu divizarea a trei faze (b). Distanța între faze – 12 m. Intensitatea curentului – 1 kA, conform CIGRE (2009).

În cazul sistemelor trifazate, reducerea nivelului câmpului magnetic se poate obține aplicând principiul divizării fazelor pentru două faze sau pentru toate cele trei faze. Totuși, divizarea a două faze asigură o reducere mai importantă a nivelului câmpului magnetic decât divizarea tuturor celor trei faze (Fig. 6).

Atenuarea și mai mult a câmpului magnetic se poate obține dacă principiul divizării fazelor se aplică prin divizarea în trei sau mai multe conductoare. În acest caz intensitatea câmpului magnetic scade cu inversa puterii a IV-a a distanței la conductoare (Fig. 6).

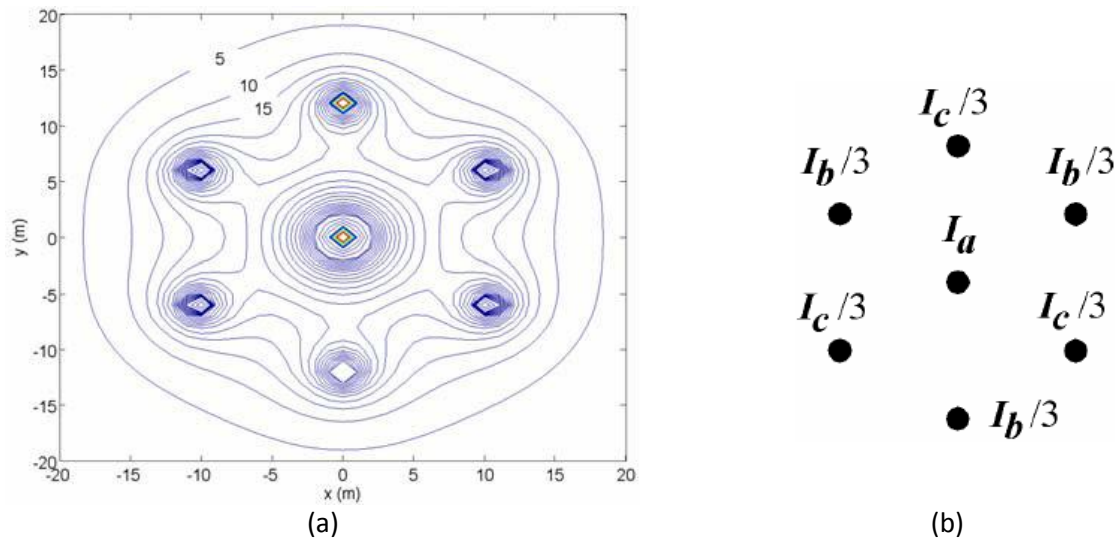


Fig. 6 – Linii de câmp magnetic (în μT) generat de un sistem trifazat (a) cu divizarea fazelor conform configurației (b). Distanța între faze – 12 m. Intensitatea curentului – 1 kA, conform CIGRE (2009).

2.1.3. Rearanjarea fazelor

Principiul acestei tehnici de atenuare a câmpului magnetic este similar celui folosit pentru divizarea fazelor, care asigură reducerea intensității câmpului magnetic cel puțin cu inversa puterii a III-a a distanței la conductoare. Diferențele se referă la unele aspecte de natură practică. Astfel, în cazul tehnicii de divizarea a fazelor, două sau mai multe faze sunt divizate folosind două sau trei conductoare. Pe de altă parte, în cazul tehnicii de rearanjare a fazelor există deja o configurație cu mai multe circuite (adică fazele sunt deja divizate) și se realizează doar o rearanjare corespunzătoare a conductoarelor.

De exemplu, în Fig. 7 se indică două soluții de dispunere a conductoarelor în cadrul coronamentului unei linii trifazate dublu circuit. Deosebirea dintre cele două aranjamente constă în permutarea a două faze (a și c) în cadrul unui din cele două circuite. În Fig. 8 sunt prezentate liniile de câmp magnetic pentru ambele configurații

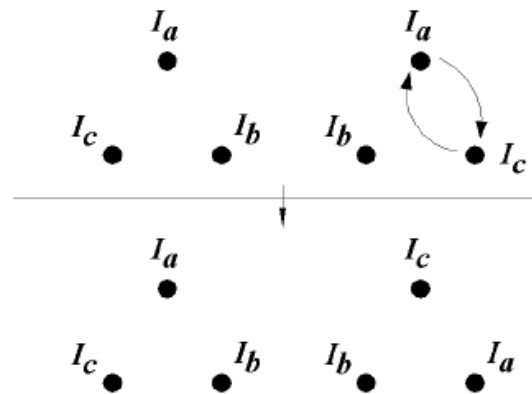


Fig. 7 – Soluții de dispunere a conductoarelor unei linii trifazate dublu-circuit.

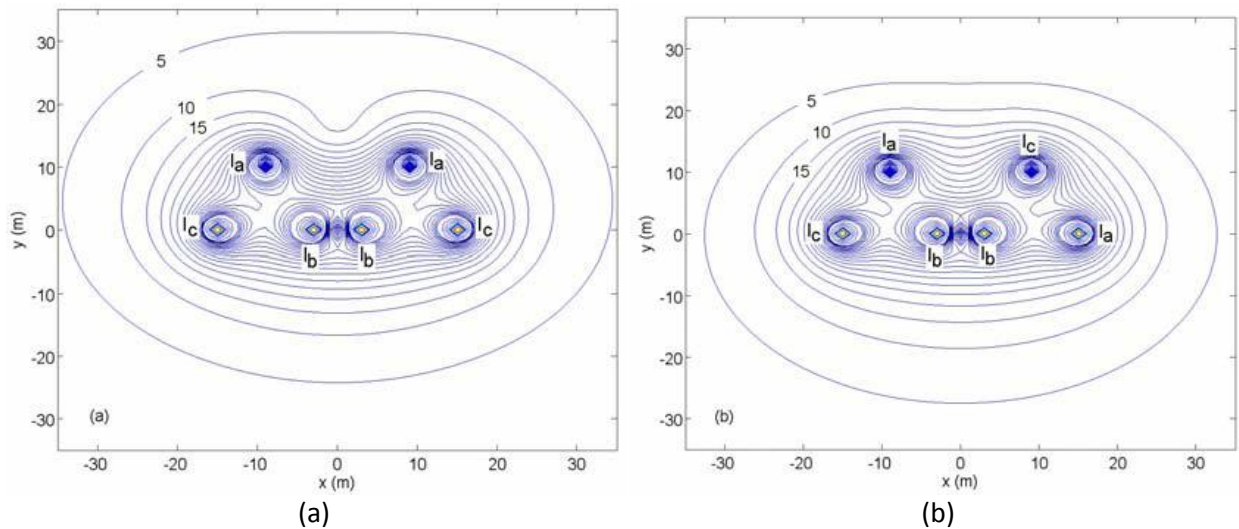


Fig. 8 – Liniile de câmp magnetic (în μT) generat de cele două configurații ale unei linii dublu-circuit din Fig. 7. Distanța între faze – 12 m. Intensitatea curentului – 1 kA, conform CIGRE (2009).

2.2. Compensarea

Această tehnică de management al sistemelor de conductoare are la bază amplasarea pe linie a unui sistem suplimentar de conductoare de compensare, care formează o buclă. Parametrii acestei bucle sunt selectați în scopul obținerii gradului dorit de atenuare a câmpului magnetic.

Această metodă constă în generarea unui curent extern sistemului de conductoare monitorizat, care să creeze un câmp magnetic care să compenseze parțial câmpul sursă. Astfel, în conformitate cu legea inducției magnetice, fluxul magnetic creat de sistemul-sursă induce în bucla creată de conductorul de compensare un curent al cărui flux magnetic se opune și compensează câmpul magnetic al sistemului-sursă.

Un exemplu simplu al unui sistem de compensare este cel din Fig. 9. Sistemul-sursă este format din cele două conductoare străbătute de curentul $I_s = 2 \text{ kA}$. Bucla de compensare este formată de alte două conductoare, scurtcircuitate la ambele capete. În absența buclei de compensare, distribuția câmpului magnetic în secțiune transversală a liniei are forma din Fig. 10.a. În prezența buclei de compensare, datorită prezenței fluxului magnetic de reacție, distribuția câmpului magnetic va avea o formă de tipul celei din Fig. 10.b. Efectul prezenței buclei de compensare constă în reducerea pe ansamblu a intensității câmpului magnetic, care este mai importantă sub bucla de compensare.

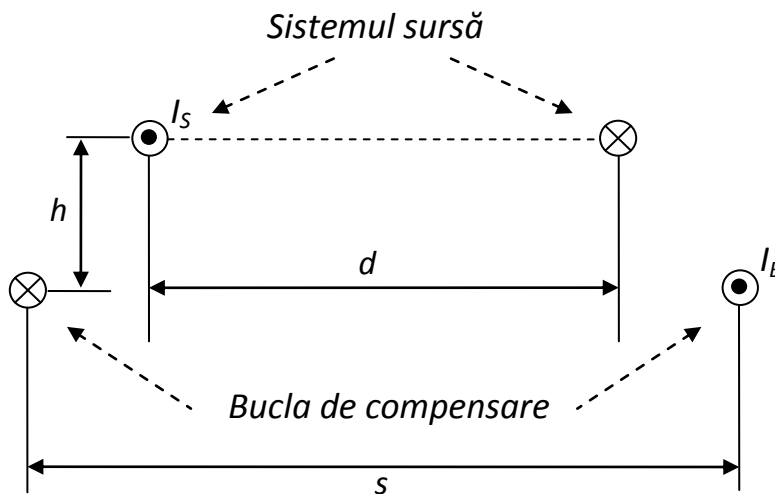


Fig. 9 – Exemplu al unui sistem simplu de compensare.

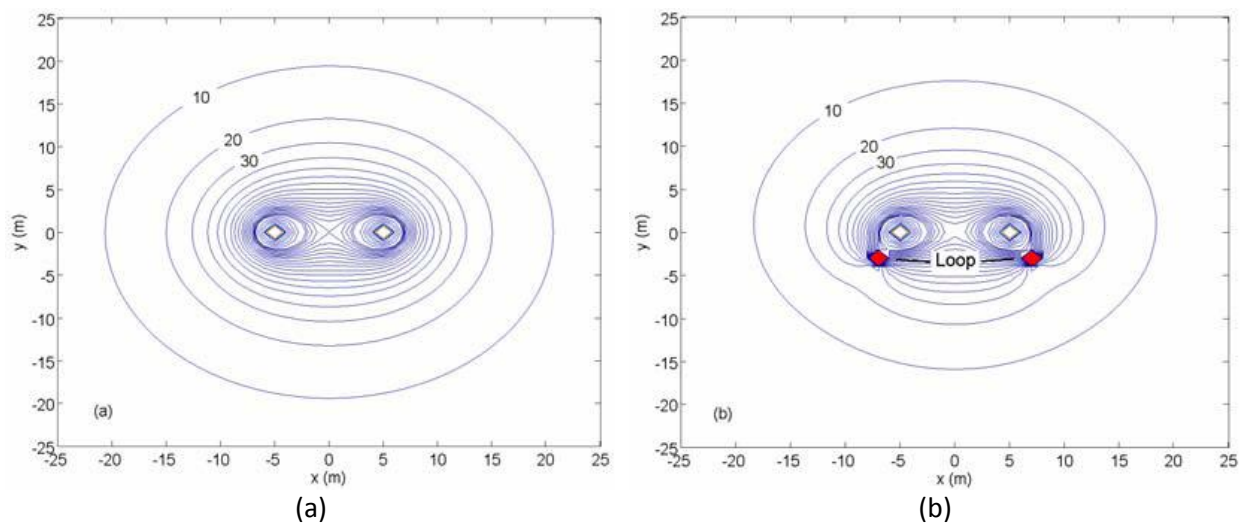


Fig. 10 – Liniile de câmp magnetic (în μT) pentru configurația din Fig. 9, în absența (a) și în prezența buclei de compensare (b), conform CIGRE (2009).

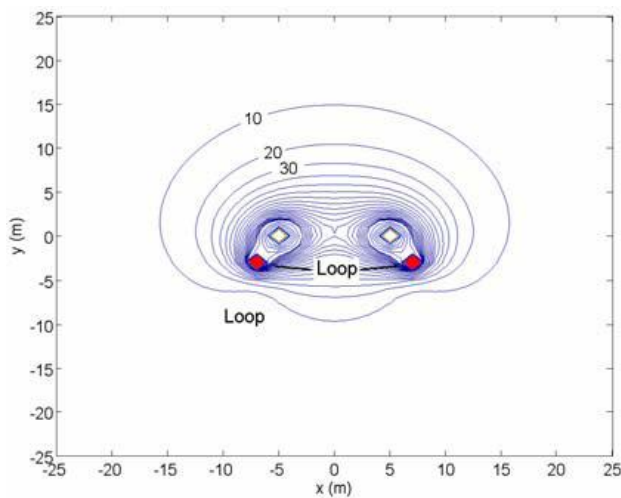


Fig. 11 – Liniile de câmp magnetic (în μT) pentru configurația din Fig. 9, în prezența buclei de compensare conectată în serie cu un condensator, conform CIGRE (2009).

Efectul buclei de compensare poate fi amplificat dacă pe conductoarele acestei bucle se leagă în serie un condensator. Efectul de rezonanță determină creșterea curentului în bucla de reacție și, în consecință, atenuarea câmpului magnetic în mai mare măsură, așa cum se sugerează în Fig. 11.

2.3. Ecranarea

Atenuarea câmpului magnetic prin ecranare folosește o structură, de regulă sub formă de folii, din diverse materiale și cu diverse dimensiuni, care se amplasează între sursa câmpului și zona protejată. Această soluție se aplică în general pentru liniile în cablu.

3. Aplicații

Soluțiile de atenuare a câmpului magnetic folosite mai des în practică sunt: creșterea înălțimii stâlpilor și managementul sistemului de conductoare. Câteva exemple, prin aplicațiile practice ale tehnicilor de atenuare a câmpului magnetic sunt prezentate în continuare.

3.1. Creșterea înălțimii stâlpilor

După cum rezultă din reprezentarea grafică din Fig. 12, această soluție tehnică este avantajoasă atunci când condițiile din teren impun doar o reducere de mică amplitudine a nivelului câmpului magnetic, doar în interiorul culoarului liniei și aceasta deoarece în afara culoarului reducerea câmpului magnetic este cu totul ne semnificativă.

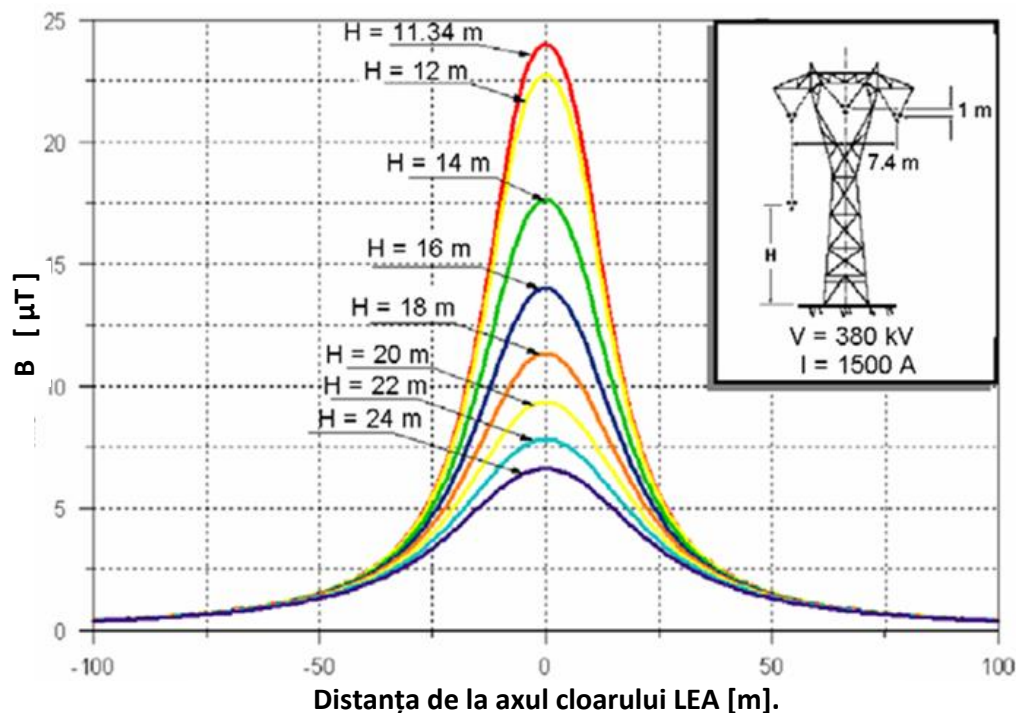


Fig. 12 – Atenuarea câmpului magnetic prin creșterea înălțimii stâlpilor (valori calculate la înălțimea de 1 m deasupra solului), conform CIGRE (2009).

3.2. Divizarea și rearanjarea fazelor

Aceste soluții de atenuare a câmpului magnetic se utilizează cu precădere ca soluții locale, în lungul unui număr redus de deschideri pe traseul liniei. În Fig. 13 se indică efectele transformării unei linii simplu-circuit în linie dublu-circuit (divizarea fazelor) și ale rearanjării fazelor asupra nivelului câmpului magnetic la 1 m deasupra solului, în secțiunea transversală a culoarului unei linii de 132 kV, conform CIGRE (2009).

O altă soluție este cea prezentată în Fig. 14. Această figură ilustrează trecerea LEA simplu-circuit 132 kV Scorzè – Camposampiero (Mirano, Italia) , pe lungimea unei deschideri între doi stâlpi (în apropierea unei școli primare), într-o linie dublu-circuit prin divizarea și rearanjarea fazelor, asigurând pe această cale limitarea câmpului magnetic la valoarea de 0.2 μT , conform Yafang (1998).

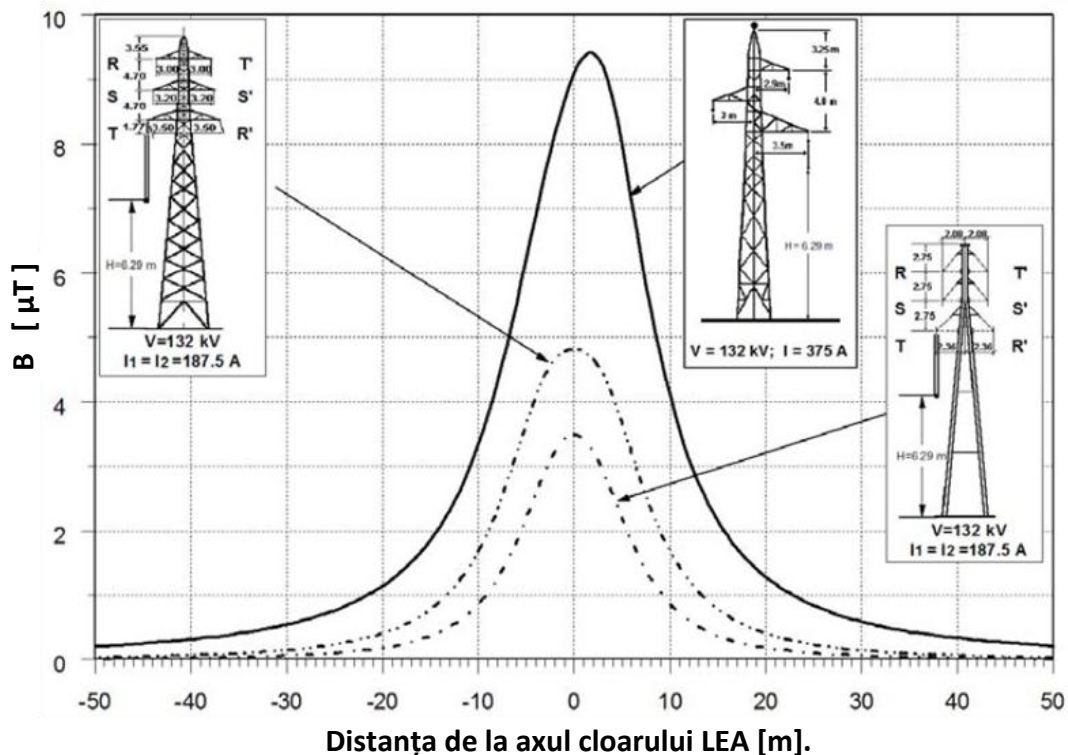


Fig. 13 – Comparație între nivelul câmpului magnetic în secțiunea transversală a unei linii de 132 kV simplu circuit și a două soluții de divizare a fazelor, cu transformarea în linii dublu-circuit, conform CIGRE (2009).

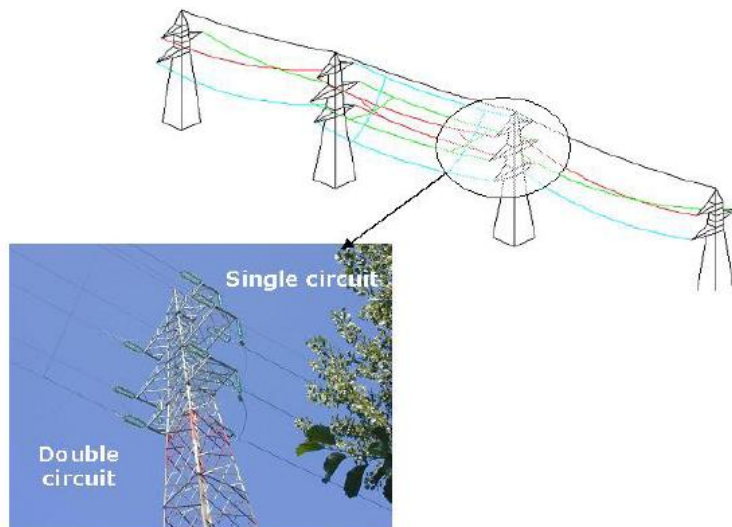


Fig. 14 – Trecerea unei linii simplu-circuit 132 kV la structura dublu-circuit prin divizarea fazelor.

Un alt exemplu se referă la cazul unei LEA 220 kV din care trece prin apropierea unei clădiri de birouri și determină o valoare a câmpului magnetic în interiorul clădiri între 1 și 4 μT . Prin rearanjarea fazelor celor două circuite (trecerea de la fazarea “abc / abc”, la fazarea “abc / cba”), conform reprezentării din Fig. 15 din CIGRE (2009), s-a asigurat reducerea interferențelor aparaturii TV până la un nivel acceptabil, pentru condiții normale de funcționare, cu ambele circuite în funcțiune. În cazul în care unul din circuite este deconectat în scopul unor lucrări de mentenanță, aceste interferențe se vor resimți, însă pentru scurtă durată (Fig. 16).

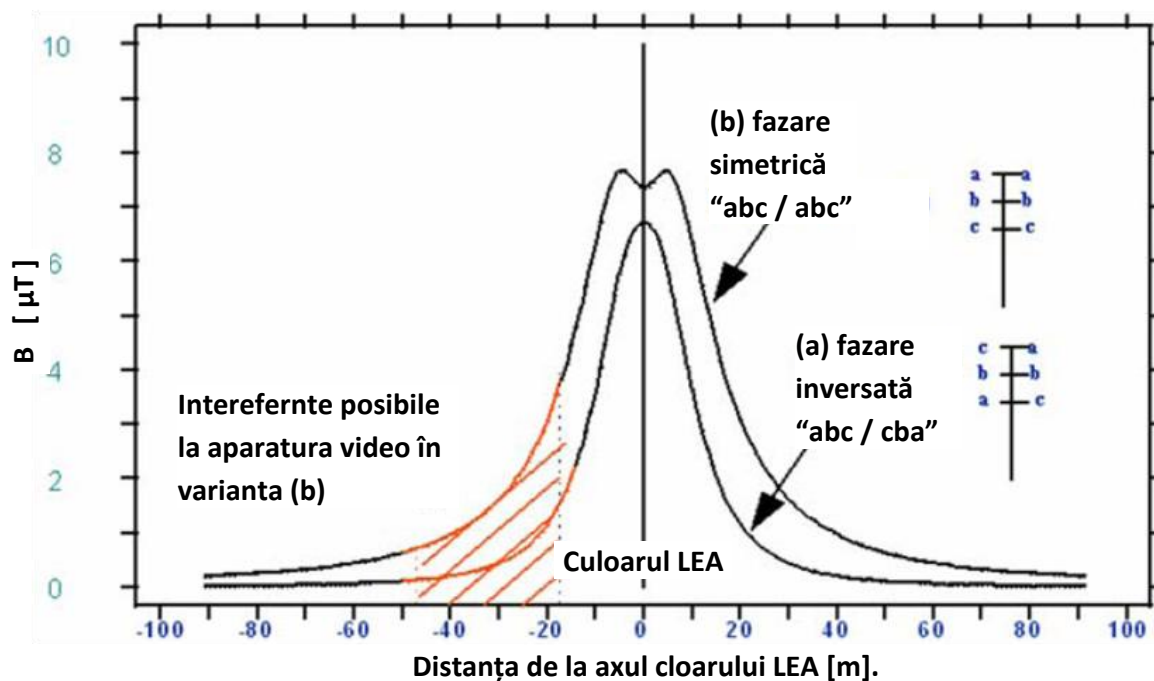


Fig. 15 – Distribuția câmpului magnetic în secțiunea transversală a unei LEA 220 kV (intensitatea curentului 0.5 kA), conform CIGRE (2009).

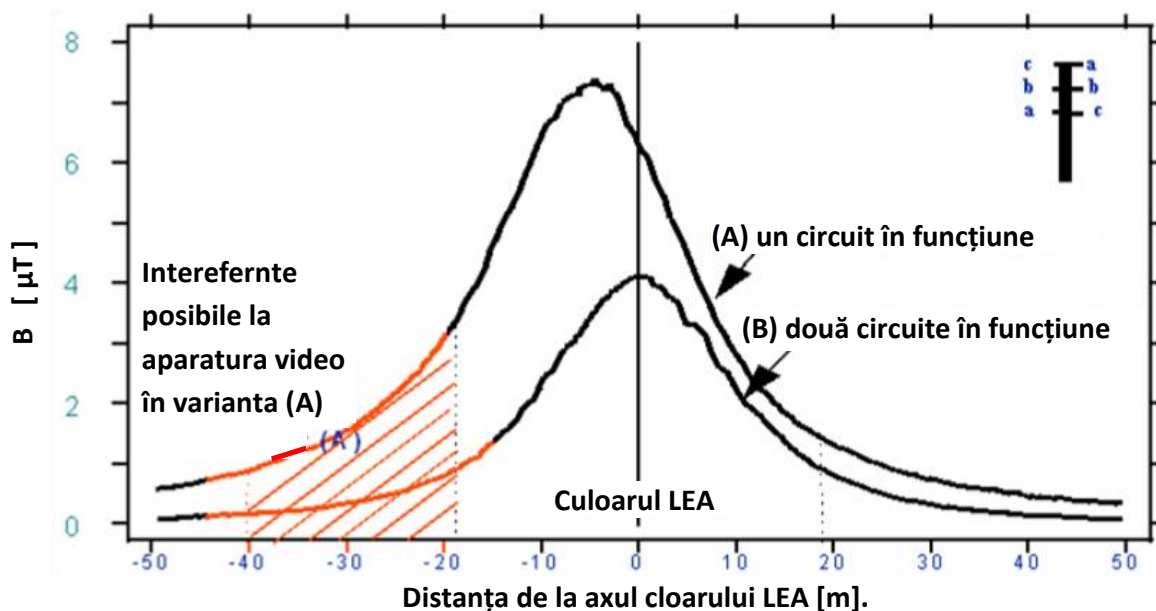


Fig. 16 – Distribuția câmpului magnetic în secțiunea transversală a unei LEA 220 kV dublu circuit cu fazarea „abc / cba”, în ipoteza funcționării ambelor circuite sau a unuia singur (intensitatea curentului echivalent 0.76 kA), conform CIGRE (2009).

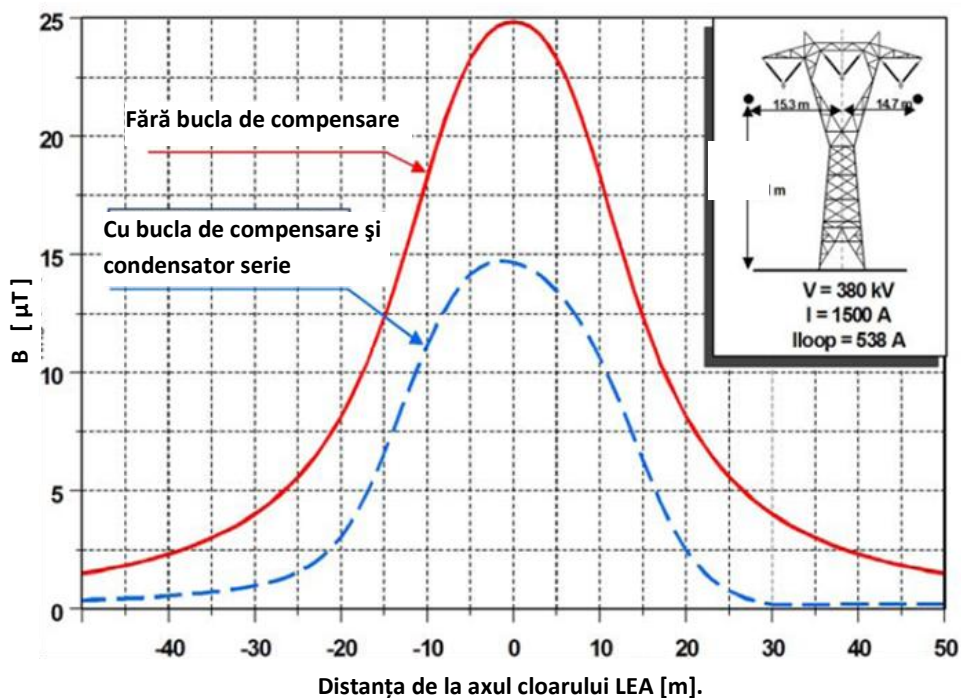


Fig. 17 – Comparație între nivelul câmpului magnetic în secțiunea transversală a unei linii de 380 kV simplu circuit, înainte și după instalarea circuitului de compensare, conform CIGRE (2009).

3.3. Atenuarea câmpului magnetic prin compensare

În scopul atenuării câmpului magnetic în vecinătatea unei LEA se poate utiliza o buclă conductoare la un potențial egal sau apropiat de cel al pământului. Impedanța acestei bucle poate fi redusă, în scopul creșterii curentului prin conductorul de compensare cu ajutorul unor condensatoare conectate în serie.

În Fig. 17 se indică rezultatele unor calcule efectuate în cazul unei linii simplu-circuit de 380 kV, cu dispunerea conductoarelor în același plan orizontal. Prin aplicarea soluției de compensare, pe axul culoarului liniei se obține o reducere a nivelului câmpului magnetic de ordinul 1.7. Conform CIGRE (2009), acest tip de linie se pretează cel mai bine la aplicarea acestei soluții de atenuare, deoarece presupune cele mai mici costuri pentru instalarea circuitului de compensare.

Bibliografie

Barnes F. S., Some Engineering Models for Interactions of Electric and Magnetic Fields with Biological Systems, *Bioelectromagnetics Supplement 1*, 67-85 (1992).

Bennett W.R., *Electromagnetic Fields and Power Lines*, *Science and Medicine* 1, 68-77 (July/August 1995).

CIGRE report, Mitigation techniques of power-frequency magnetic fields originated from electric power systems, Working group C4.204, February 2009.

European Commission: Council Recommendation of 12.07.99 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0Hz - 300GHz) (*Official journal of the European Communities*, 30.7.99, L199/59-70).

Hoeffelman J., Decat G., Lilien J.L., Delaigle A., Govaerts B., Assessment of the electric and magnetic field levels in the vicinity of the HV overhead power lines in Belgium, *CIGRE Session 2004*, C3-202.

International Commission on Non – Ionizing Radiation Protection (ICNIRP): Guidelines for limiting exposure to time - varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz) (*Health Physics* 74, 1998, 494-522).

Moore T., *Utility Workers and EMF Health Risks*, *EPRI Journal* 20, 6-17 (March/April 1995).

Randa J., et al., *Catalogue of Electromagnetic Environment Measurements, 30-300 Hz*, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility* 37, No. 1, 26-33 (February 1995).

Web address: <http://www.emfs.info/>, accesare la 04.04.2009.

Yafang L., Yichao Y., Hui ren W., Xuehai G., Kaixian Z., Chun D., Dongsheng G., Study of 500 kV compact transmission technology, *CIGRE* 1998, paper 22/33/36-11.