

STIMULARE MAGNETICĂ NEURONALĂ - CERCETĂRI PRIVIND ÎMBUNĂTĂȚIREA PERFORMANȚELOR ECHIPAMENTULUI ELECTRIC ȘI A EFICIENȚEI CLINICE ÎN DIAGNOSTIC ȘI TRATAMENT

COD PROIECT: ID_1078

DIRECTOR: PROF. DR. ING. RADU V. CIUPA

CONTRACTOR: UNIVERSITATEA TEHNICA DIN
CLUJ-NAPOCA

Echipa de cercetare:

Prof. dr. ing. Dan RAFIROIU

As. drd. ing. Mihaela CRETU

Conf. dr. ing. Laura DARABANT

As. drd. ing. Anca NICU

Cercet. dr. ing. Catalin CURTA

Detaliere buget program

An	Cheltuieli de personal		Regie		Mobilități		Achiziții	
	Planificat	Realizat	Planificat	Realizat	Planificat	Realizat	Planificat	Realizat
2007	45.000	45.000	11.250	11.250	8.750	7.470	10.000	11.280
2008	125.000	125.000	45.000	45.000	55.000	34.542,65	75.000	95.457,35
2009	98.280	98.280	11.500	11.500	37.020	41.694,8	17.000	12.325,2

Echipamente achiziționate în cadrul acestui contract:

- Imprimanta laser monocrom HP 1022n
- 2 buc Monitoare LCD
- 1 buc Notebook HP 6710b
- Magstim Standard Rapid 2
- 1 buc Notebook Dell Latitude 830
- Sistem de deplasare liniara pe 2 axe + soft-ul aferent

Indicatori de performanță

An	Număr de articole acceptate spre publicare în reviste indexate ISI		Număr de articole acceptate spre publicare în reviste indexate în baze de date internaționale		Număr cereri de brevete nationale depuse		Număr cereri de brevete internationale depuse	
	Planificat	Realizat	Planificat	Realizat	Planificat	Realizat	Planificat	Realizat
2007	0	0	1	1 [°]	0	0	0	0
2008	0	1*	3	3 [°]	0	0	0	0
2009	2	2**	2	5*	1	1	0	0

* - Romanian Journal of Information Science and Technology, Vol. 10,nr. 4, pg. 361-379

** - Revue Roumaine des Sciences Techniques, Serie Electrotechnique et Energetique, nr. 3, 2009

- IEEE Transactions on Magnetics, nr. 3, 2009, pg. 1690-1693

[°] - Baza de date IEEE Explore (toate articolele putand fi gasite dupa IEEE Catalogue number si ID-ul propriu)

* - ISI Proceedings (Springer Verlag)

Implicarea tinerilor cercetători în activitățile de cercetare – analiză științifică

An	Număr tineri cercetători / Număr total cercetători	din care doctoranzi cu frecvență	Număr articole științifice având ca prim autor un tânăr cercetător	Număr articole indexate având ca prim autor un tânăr cercetător
2007 (3 luni)	3 / 6	3	2 din 5	0 din 1
2008	3 / 6	3	5 din 12	1 din 4
2009	3 / 6	1	4 din 8	3 din 7

Implicarea tinerilor cercetători în activitățile de cercetare – analiză științifică

Nume	Funcție	Titlul tezei de doctorat	Stadiul atins în elaborarea tezei
Anca Iulia NICU	asistent (doctorand fără frecvență)	Contribuții la studiul privind influența câmpului electromagnetic asupra organismelor vii	-realizare experimente - redactare text
Mihaela PLEȘA	asistent (doctorand fără frecvență)	Contribuții la studiul teoretic și experimental al stimulării magnetice funcționale	-realizare măsurători - redactare text
Cătălin CURTA	cercetător	Cercetări privind stimularea magnetică transcraniană	- Teză finalizată și susținută public în iunie 2009

Implicarea tinerilor cercetători în activitățile de cercetare – analiză științifică

Efortul desăvârșirii tezelor de doctorat ale doctoranzilor implicați în proiect este bine susținut de activitatea asumată pentru realizarea acestuia. Ea însă nu se va opri, în nici un caz, o dată cu predarea acestor teze. Implicarea în domeniul stimulării magnetice se vrea a fi continuată pe termen lung, urmărindu-se implementarea acestei tehnici și în centrele medicale din țară.

Implicarea tinerilor cercetători în activitățile de cercetare – analiză financiară

An financiar	Cheltuieli de personal		
	Prevăzute	Realizate	din care tineri cercetători
2007	45.000 lei	45.000 lei	14.000 lei (31,12% din total 2007)
2008	125.000 lei	125.000 lei	37.000 lei (29,6% din total 2008)
2009	98.280 lei	98.280 lei	40.780 lei (41,5% din total 2009)

Dificultăți administrative întâmpinate în derularea proiectului

- Procesul de realizare a unei achiziții publice în sistemul bugetar durează foarte mult, încetinind activitatea de cercetare
- Stabilirea, pentru anul financiar 2009, a termenului de predare a fazei în 15 septembrie, în condițiile menținerii obiectivelor programate a fi desfășurate pe parcursul întregului an, implică accelerarea muncii de cercetare și a procesului de executare a bugetului, fapt care ar putea prejudicia calitatea rezultatelor științifice obținute

Dificultăți științifice întâmpinate în derularea proiectului

- Timpul relativ lung de așteptare pentru publicarea unui articol științific într-o revistă cotate ISI

2007

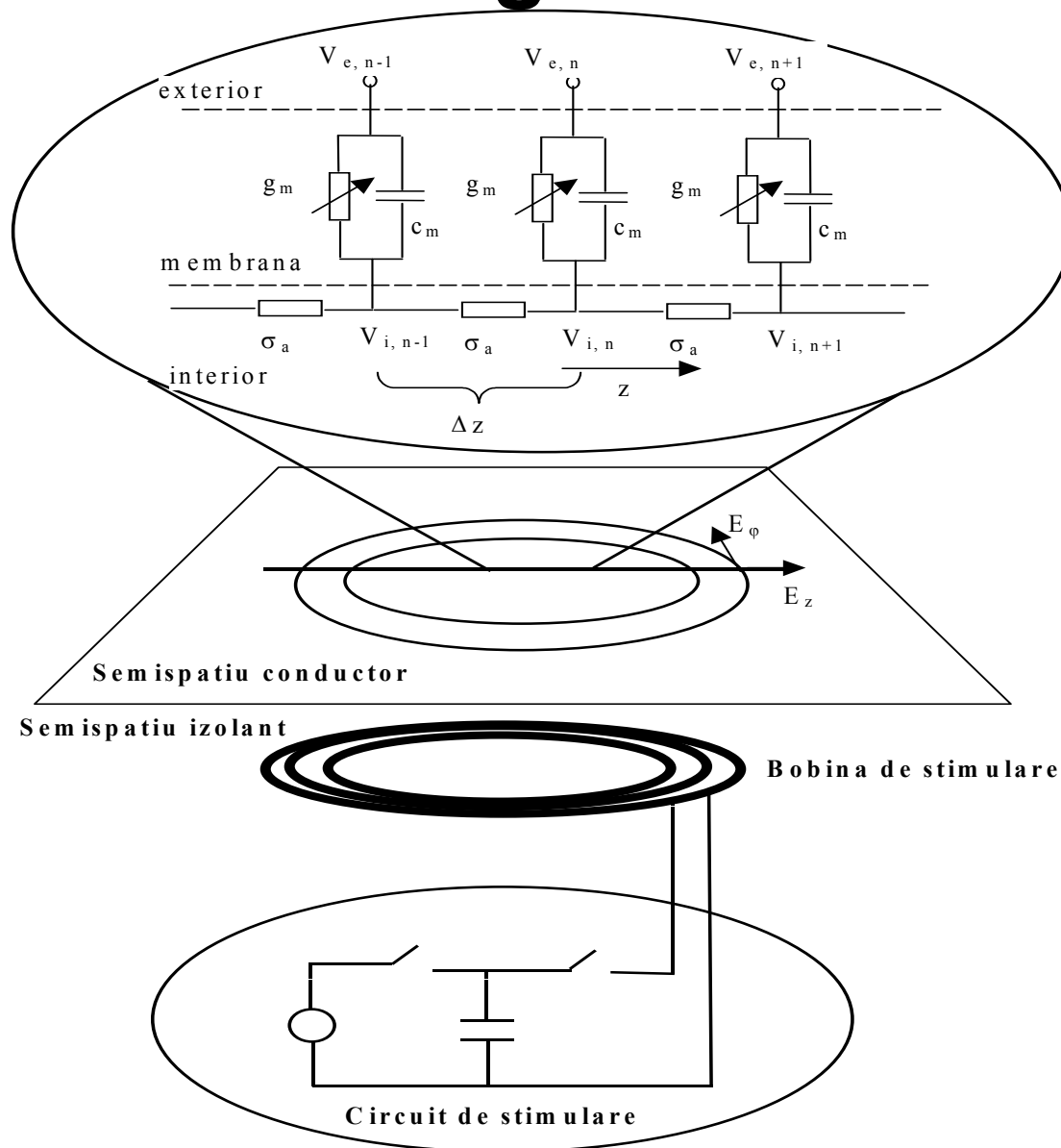
Obiectiv:

Analiza problemei de câmp electromagnetic asociată stimulării magnetice pentru zone ale sistemului nervos central și periferic

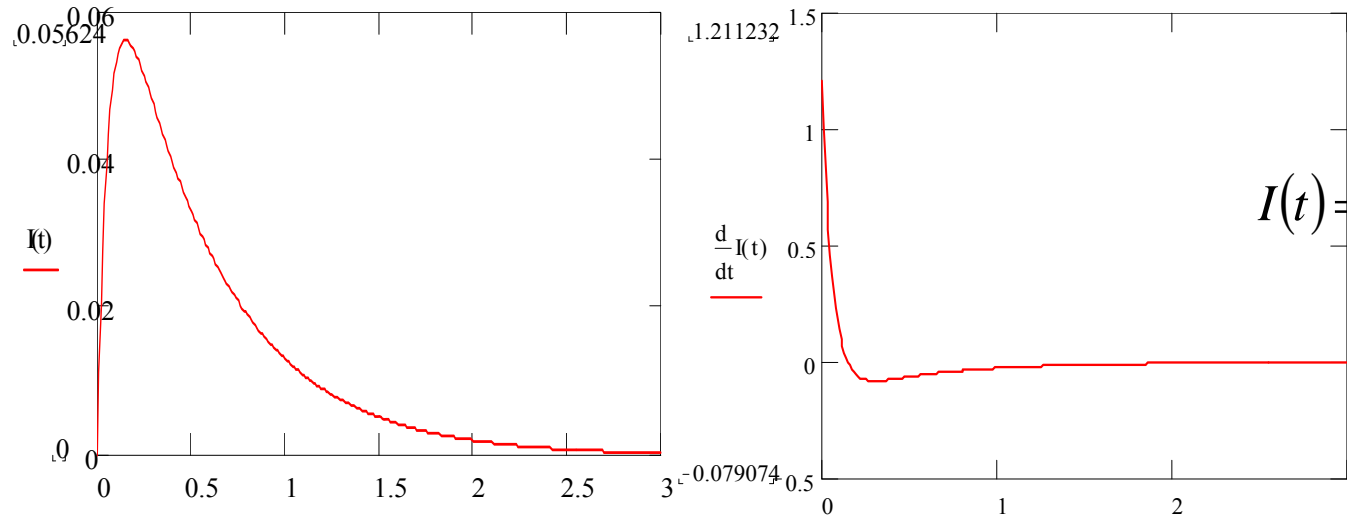
Activități asociate:

1. Formularea modelului fizic (sintetizarea datelor necesare);
2. Studiul sensibilității soluției problemei de câmp electromagnetic în funcție de caracteristicile domeniului de calcul (neomogenități, variația proprietăților fizice).

Mecanismul stimulării pe cale magnetică

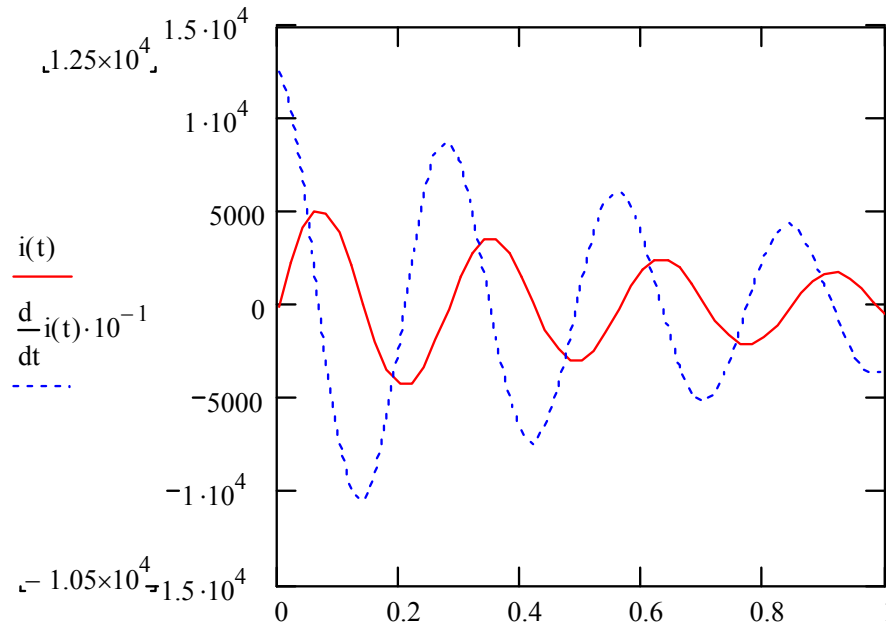


Rezolvarea regimului tranzitoriu al circuitului de stimulare



$$I(t) = U_0 C \omega' e^{-\delta t} \left(\left(\frac{\delta}{\omega'} \right)^2 - 1 \right) \text{sh}(\omega' t)$$

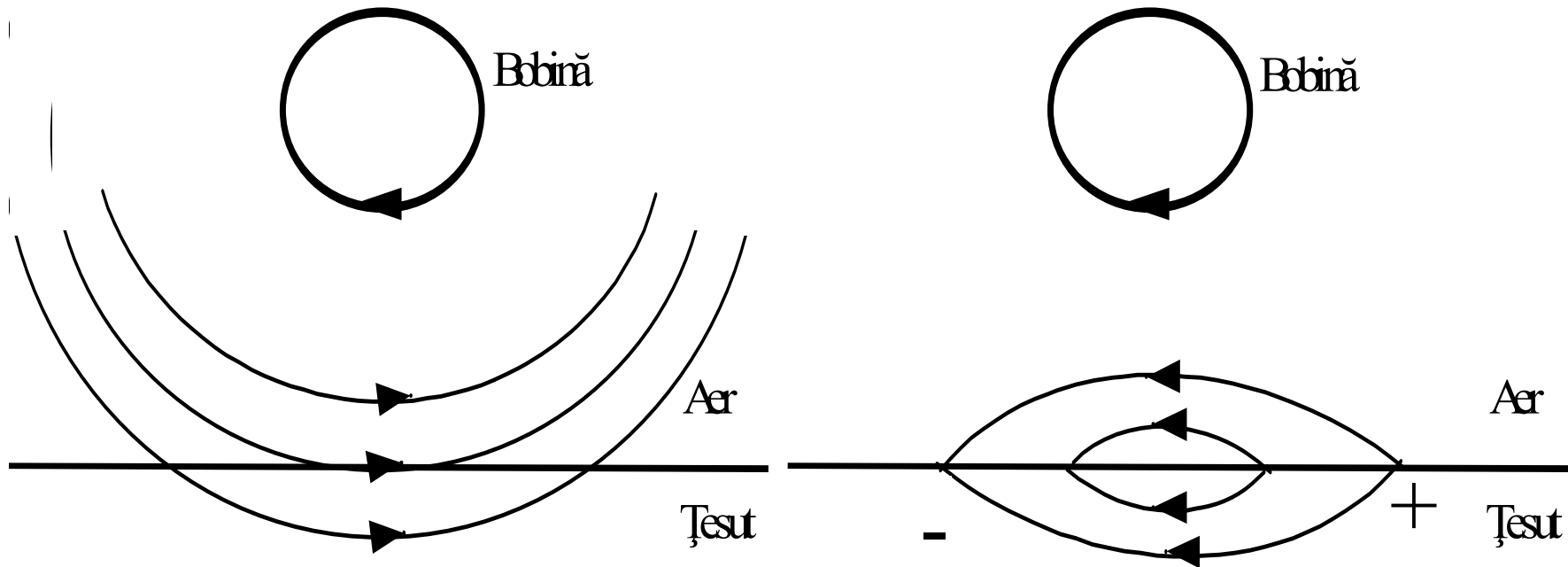
Regim aperiodic



Regim oscilant

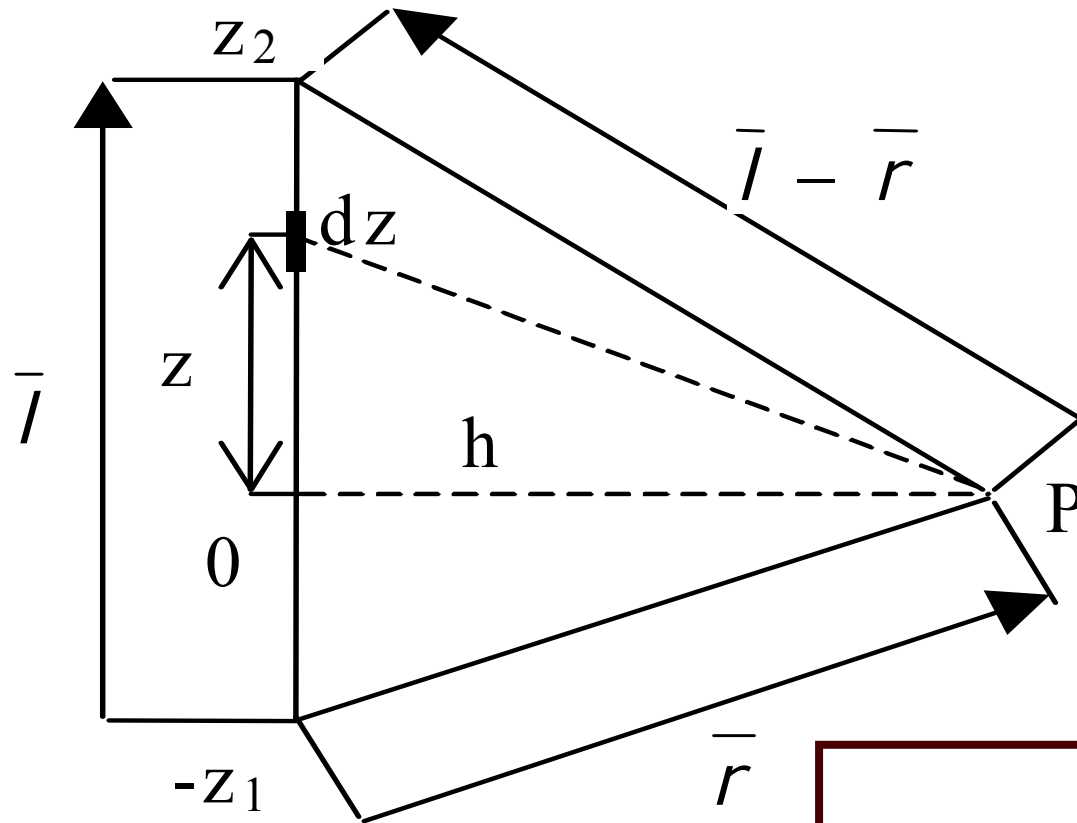
$$I(t) = U_0 C \omega' e^{-\delta t} \left(\left(\frac{\delta}{\omega'} \right)^2 + 1 \right) \sin(\omega' t)$$

Descrierea fizică a efectului pe care suprafața de separație aer-țesut o are asupra câmpului electric



$$\vec{E} = -\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} - \text{grad}V$$

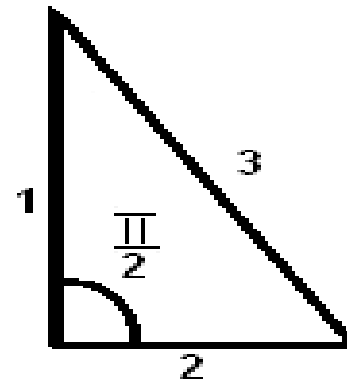
Calculul potențialului magnetic vector produs de un segment conductor



$$\vec{A} = \frac{\mu_0 I(t)}{4\pi} \cdot \frac{\vec{l}}{l} \cdot \ln \frac{|\vec{l} - \vec{r}| + l - \frac{\vec{l} \cdot \vec{r}}{l}}{r - \frac{\vec{l} \cdot \vec{r}}{l}}$$

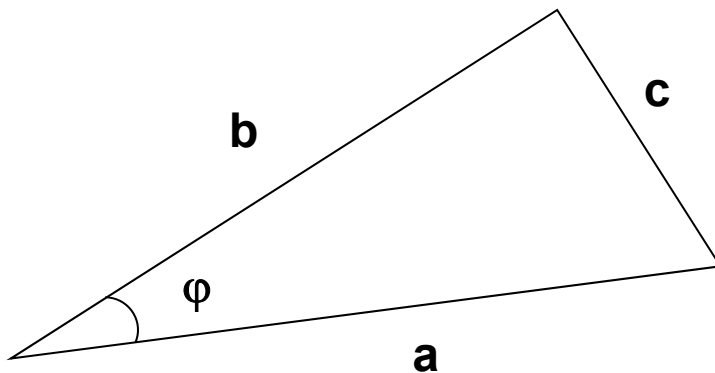
Determinarea inductivității unor bobine de forme atipice

$$L = \sum_{k=1}^n L_k + \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n M_{ki}, \quad \text{cu } (i \neq k)$$



Inductivitatea proprie a conductorului rectiliniu scurt

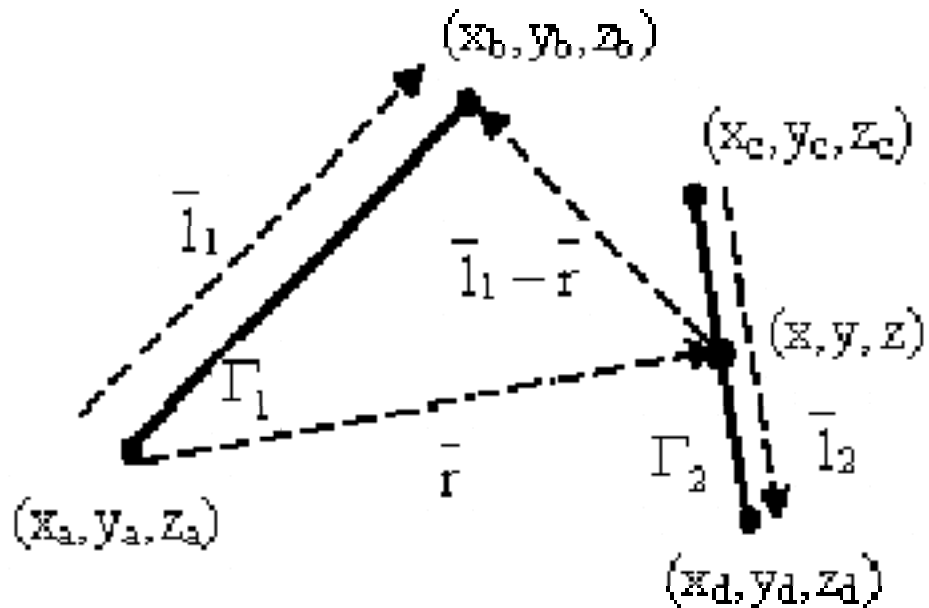
$$L = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left(\ln \frac{2l}{r} - \frac{3}{4} + \frac{128}{45\pi} \frac{r}{l} - \frac{r^2}{4l^2} \right)$$



Inductivitatea mutuală dintre două conductoare rectilinii convergente

$$M = \frac{\mu_0}{4\pi} \cos \varphi \left[a \ln \frac{a+b+c}{c+a-b} + b \ln \frac{a+b+c}{c+b-a} \right]$$

Determinarea inductivității mutuale între două segmente conductoare oarecare în spațiu



$$\Phi_{21} = \int_{S_{\Gamma_2}} \bar{B}_{21} \bar{d}s = \int_{\Gamma_2} \bar{A}_{21} \bar{d}l_2$$

$$L_{21} = \frac{\mu}{4\pi} \oint_{\Gamma_1} \oint_{\Gamma_2} \frac{\bar{d}l_1 \bar{d}l_2}{r_{12}}$$

$$L_{21} = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \oint_{\Gamma_2} \frac{\bar{l}_1}{l_1} \cdot \bar{d}l_2 \ln \frac{|\bar{l}_1 - \bar{r}| + l_1 - \frac{\bar{l}_1 \cdot \bar{r}}{l_1}}{r - \frac{\bar{l}_1 \cdot \bar{r}}{l_1}}$$

Determinarea câmpului electric indus în țesut prin stimulare magnetică

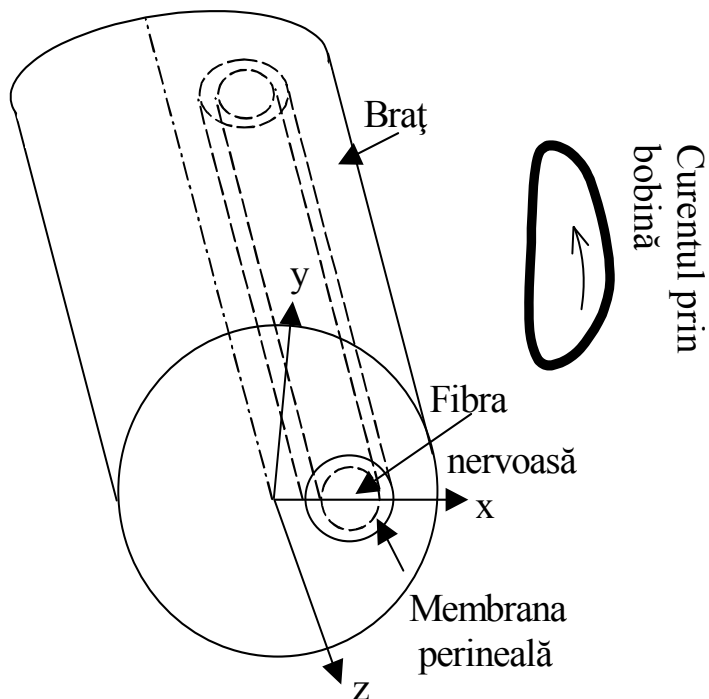
Condiția de frontieră la interfața aer-țesut: $\bar{n} \cdot \bar{E}_V = -\bar{n} \cdot \bar{E}_A$

● **Suprafața plană**

$$\rho_S = -2 \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0 \cdot \bar{n} \cdot \bar{E}_A$$

● **Suprafața cilindrică sau sferică**

$$\Delta V = 0$$



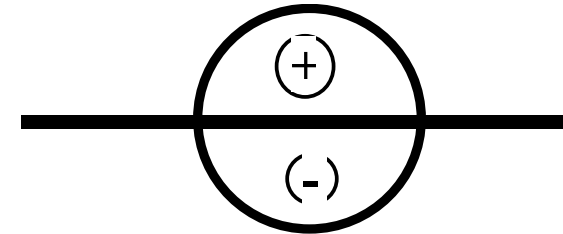
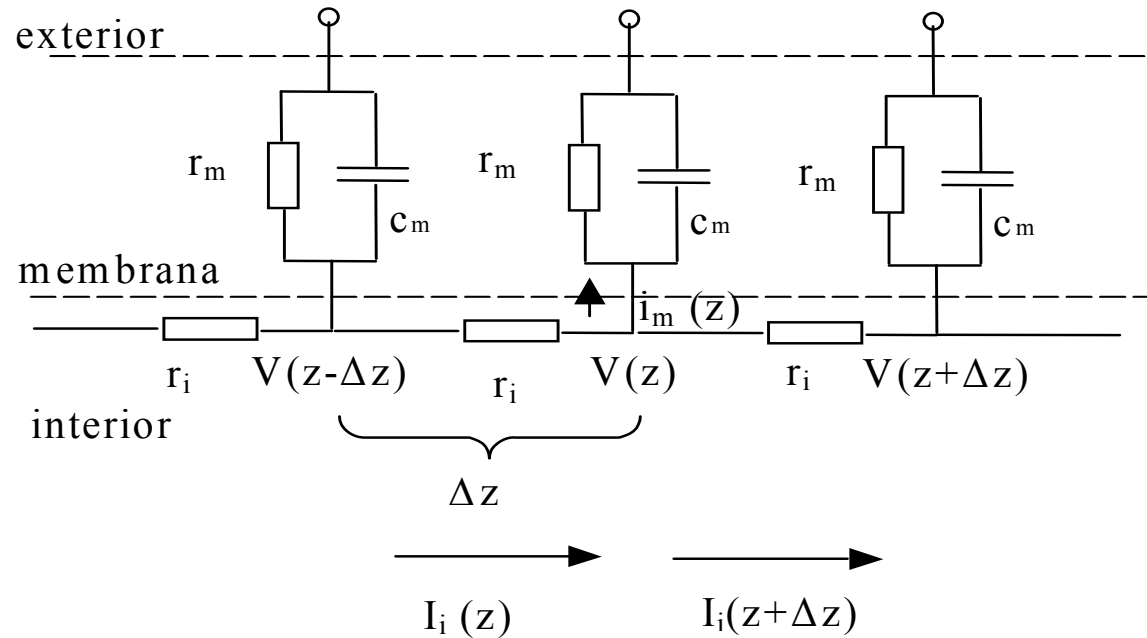
Continuitatea componentei tangențiale a câmpului electric la suprafețele de separație

$$V^{(i)} = V^{(i+1)}$$

Continuitatea componentei normale a densității de curent la suprafețele de separație

$$(\sigma_i \bar{E}^i - \sigma_{i+1} \bar{E}^{i+1}) \cdot \bar{n} = 0$$

Stabilirea funcției de activare pentru fibra nervoasă nemielinizată



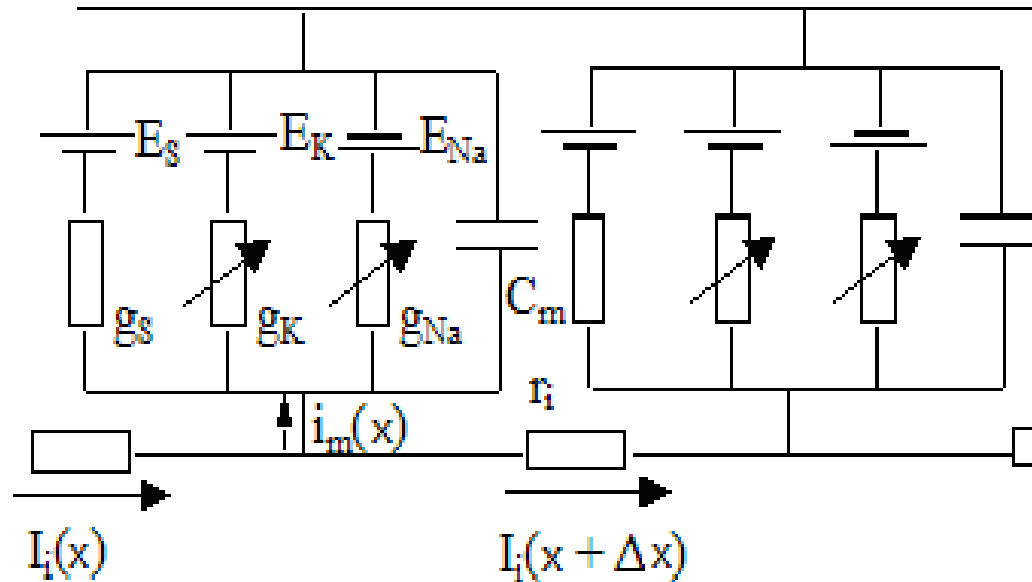
$$\tau \frac{\partial V}{\partial t} + V - \lambda^2 \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = - \underbrace{\lambda^2 \frac{\partial E_z}{\partial z}}_{=f(z)}$$

$$f_m(z) = -\lambda^2 \frac{\partial E_z}{\partial z} + 2aE_{\perp}$$

$$\frac{dV}{dt} + \frac{I_{ionic}}{C_{m_arie} \pi d \Delta z} + \frac{d}{4\rho_a C_{m_arie} \Delta z} \frac{dV}{dz} = \frac{d}{4\rho_a C_{m_arie} \Delta x} E_z$$

Modelul Hodgkin – Huxley

$$\frac{a}{2R_i} \frac{\partial^2 V_m}{\partial x^2} - \left(g_{Na} m^3 h (V_m - E_{Na}) + g_K n^4 (V_m - E_K) + g_S (V_m - E_S) \right) = C_m \frac{\partial V_m}{\partial t} + \frac{a}{2R_i} \frac{\partial E_x}{\partial x}(x, t)$$



V_m – potențial transmembrantar

E_x – componenta axială a câmpului electric indus

a – raza fibrei

g_{Na} , g_K , g_S – valorile maxime ale conductanțelor de sodiu, potasiu și de scăpări ale membranei, pe unitatea de suprafață

E_{Na} , E_K , E_S - potențialele Nerst de sodiu, potasiu și de scăpări

m , n , h , - parametrii de activare (dezactivare)

α , β – parametrii dependenți de potențialul transmembrantar

2008

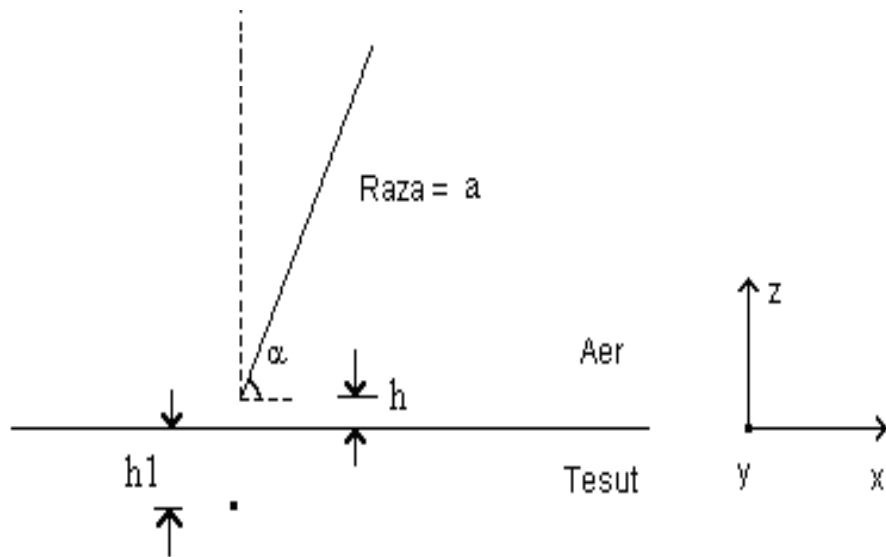
Obiective:

1. Crearea modelelor analitice si numerice pentru calculul câmpului electric indus in țesut.
2. Proiectarea aplicatorului (bobina inductoare a stimulatorului).
3. Optimizarea constructiva si funcționala a aplicatorului.

Activități asociate:

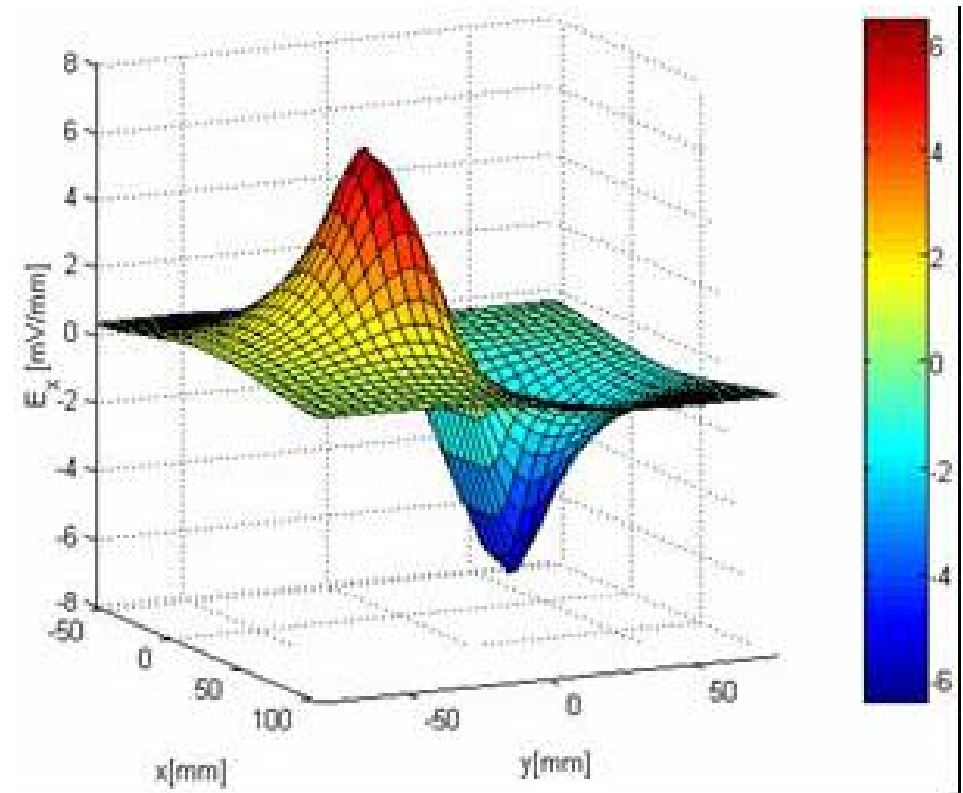
1. Elaborarea unor modele matematice simplificate (semispațiu, sfera, cilindru) si soluționarea problemei de câmp electromagnetic a stimulării
2. Îmbunătățirea modelului creat prin considerarea neomogenităților țesutului uman
3. Elaborarea unor modele numerice pentru structuri complexe, realiste.
4. Stabilirea unor configurații geometrice ale aplicatoarelor, realizabile tehnologic. Evaluarea performanțelor acestora după criterii de eficiența (ex., repartiția spațiala a stimulului in țesutul expus determinata prin modelare numerica).
5. Stabilirea parametrilor constructivi in vederea reducerii energiei magnetice disipate de bobina
6. Calculul parametrilor de circuit electric ai bobinelor de stimulare.
7. Estimarea efectelor secundare (stimularea sau inhibarea zonelor adiacente zonei ținta, încălzirea superficiala, etc.)

Bobina plasată deasupra unei suprafețe plane

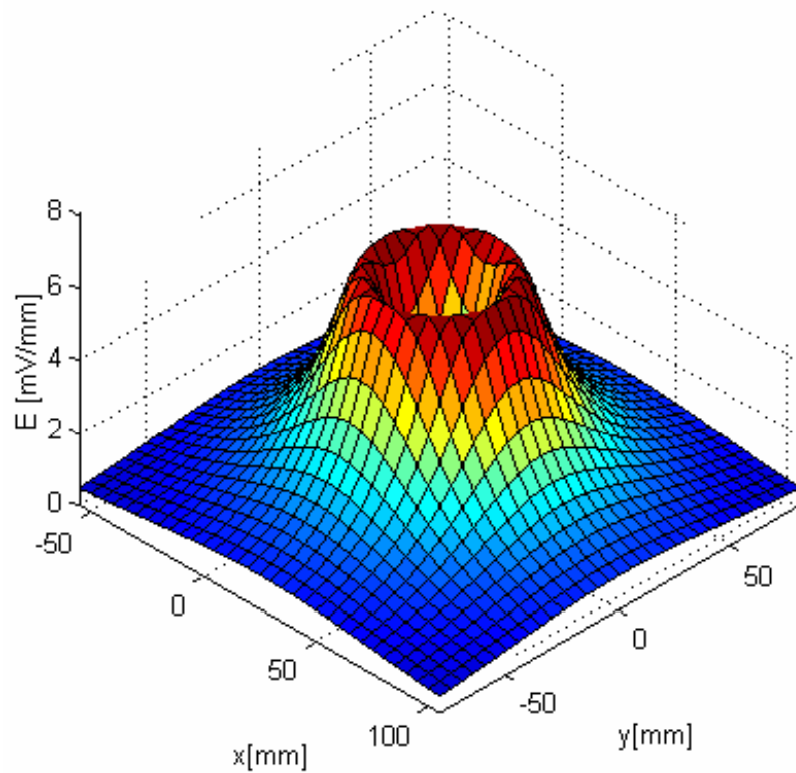


raza $a=25$ [mm]
numărul de spire $N = 30$
 $h = 5$ [mm]
 $h1 = 5$ [mm]
 $\alpha = 0^\circ$

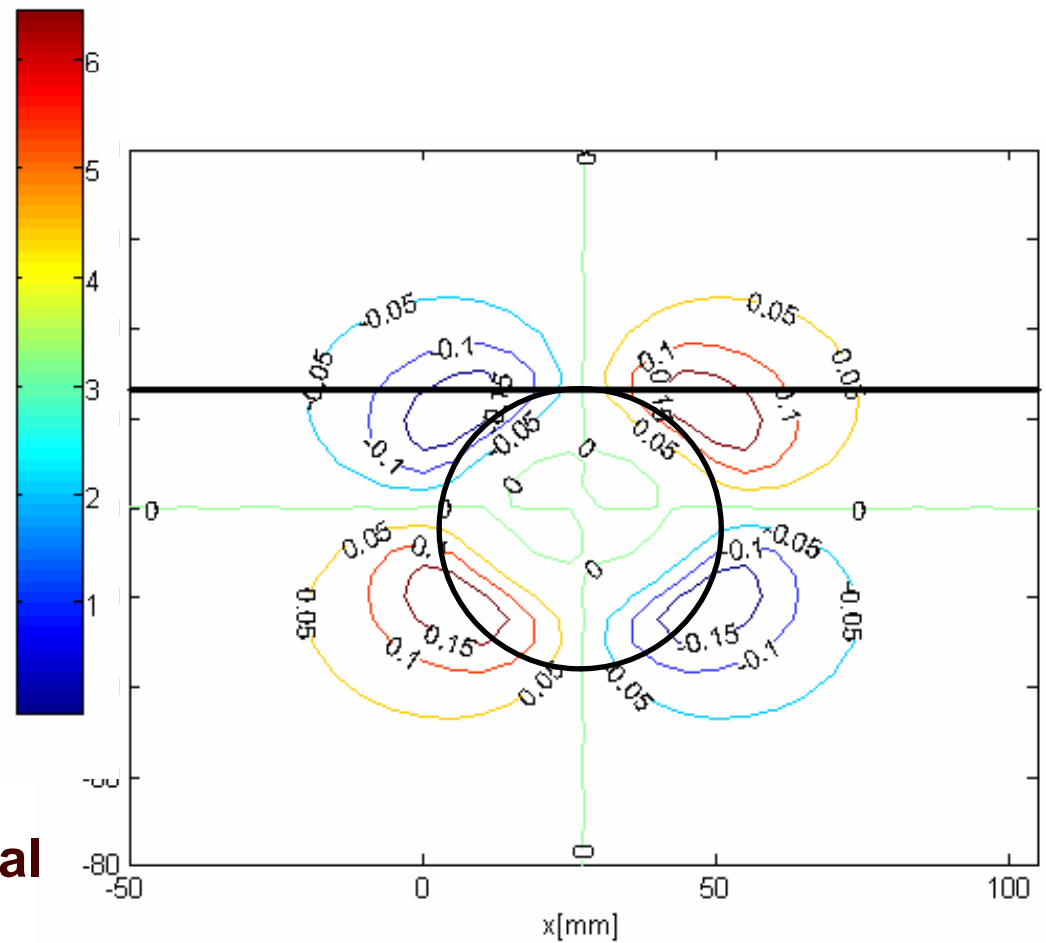
$$dI/dt = 1 [A / \mu s]$$



Bobina plasată deasupra unei suprafețe plane

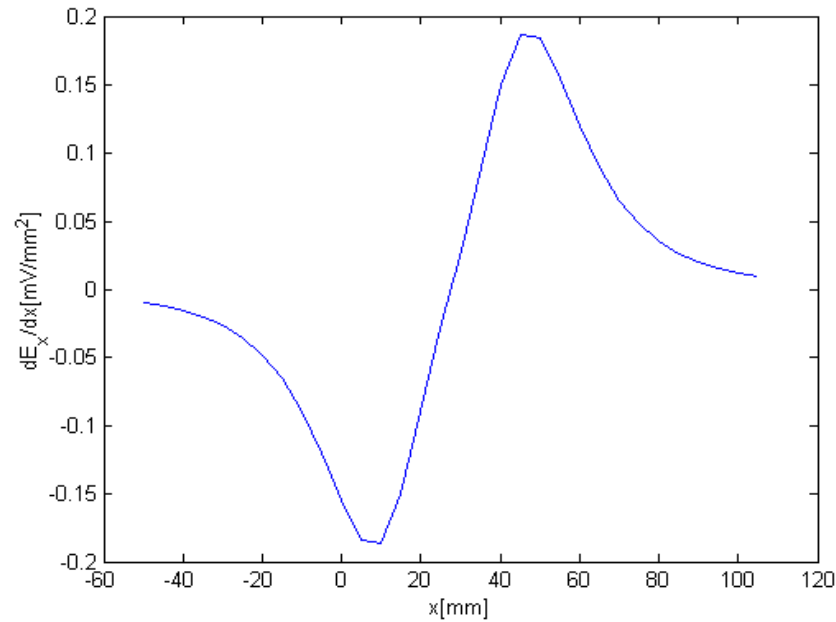


Distribuția câmpului electric total indus în țesut

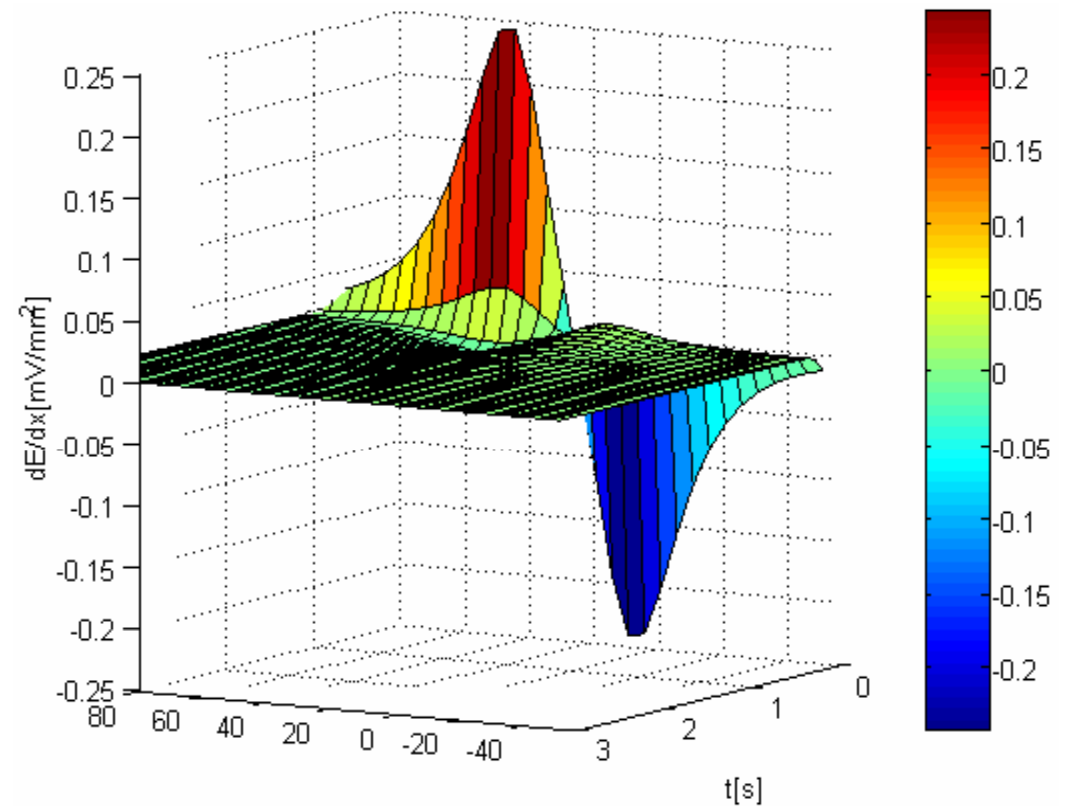


Funcția de activare pentru o fibră nervoasă infinit lungă $\frac{\partial E}{\partial x}$

Bobina plasată deasupra unei suprafețe plane

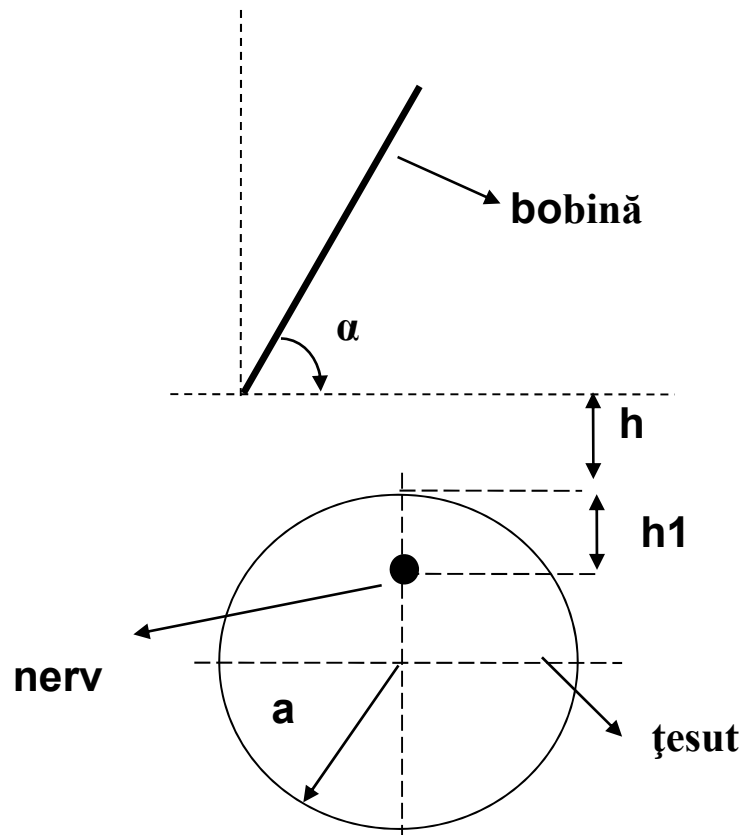


Funcția de activare reprezentată de-a lungul fibrei nervoase



Reprezentarea spațio-temporală a funcției de activare

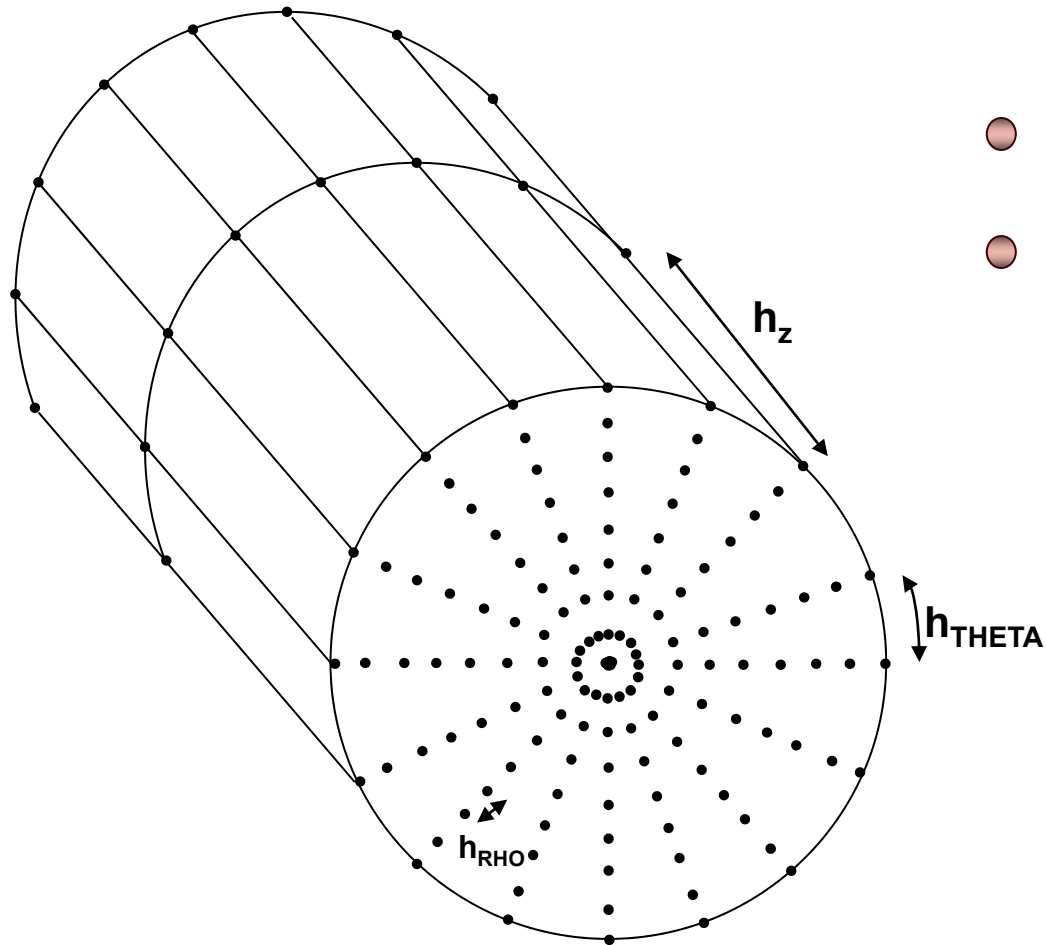
Bobina plasată deasupra unei suprafețe închise cilindrice



$$\frac{\partial V}{\partial n} = \vec{n} \cdot \vec{E}_A$$

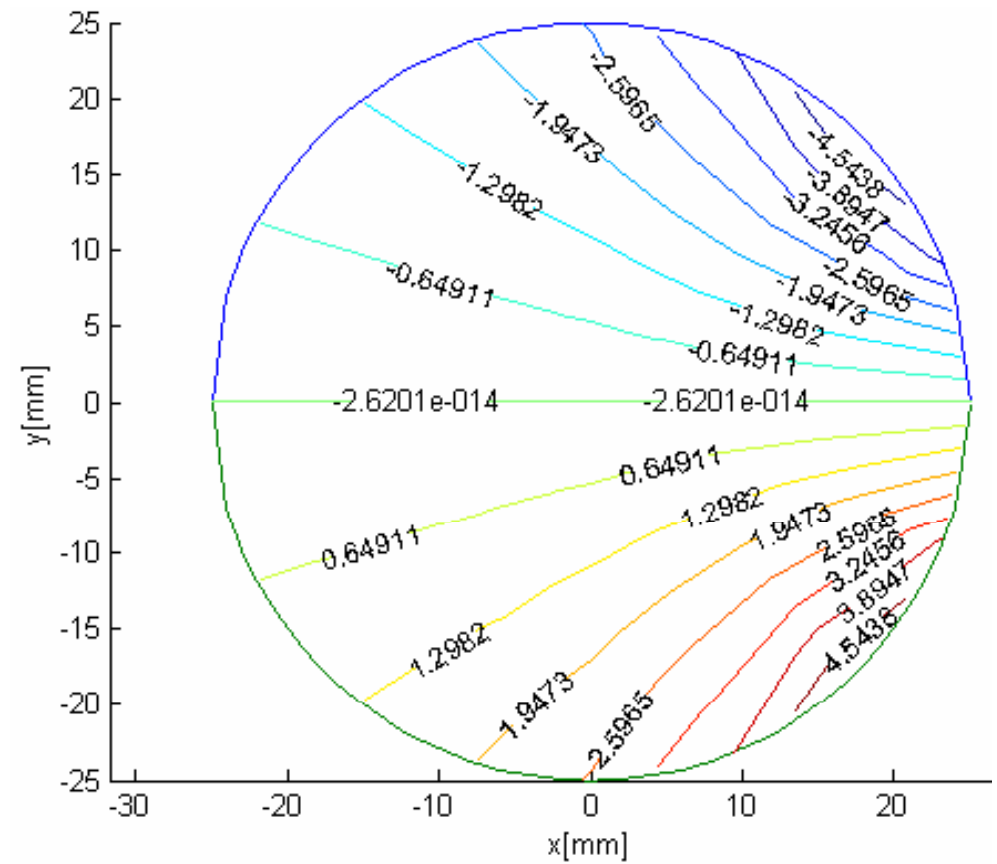
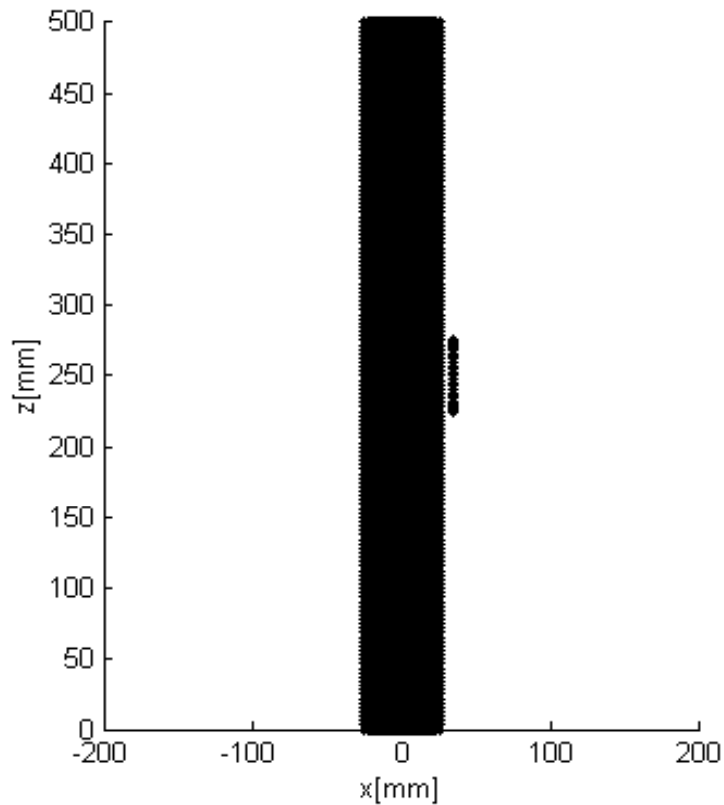
$$\nabla^2 V = \Delta V = \frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2}$$

Bobina plasată deasupra unei suprafețe închise cilindrice



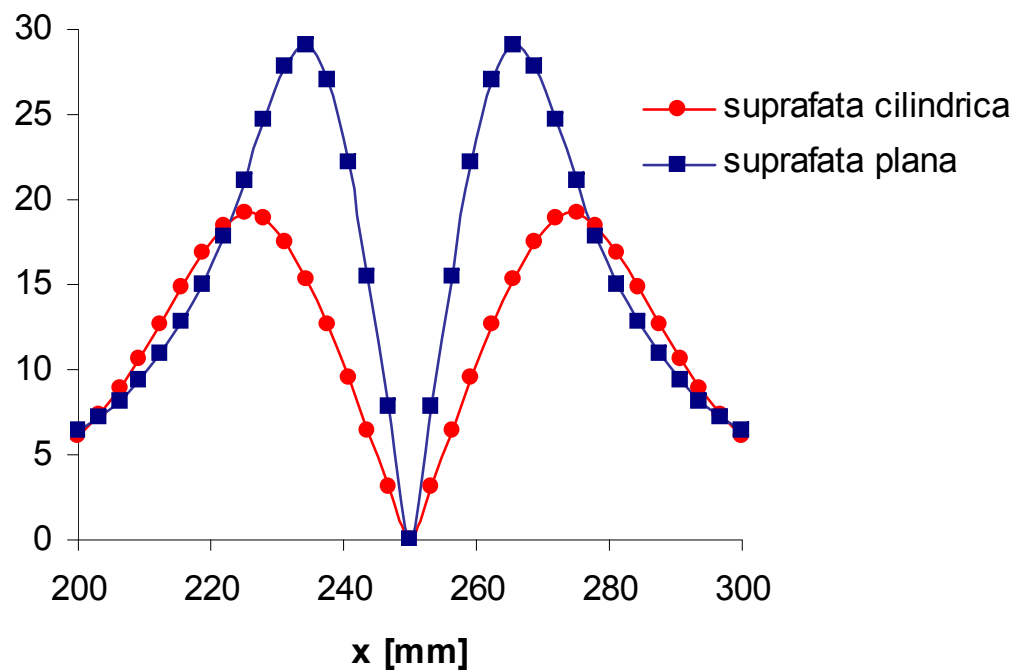
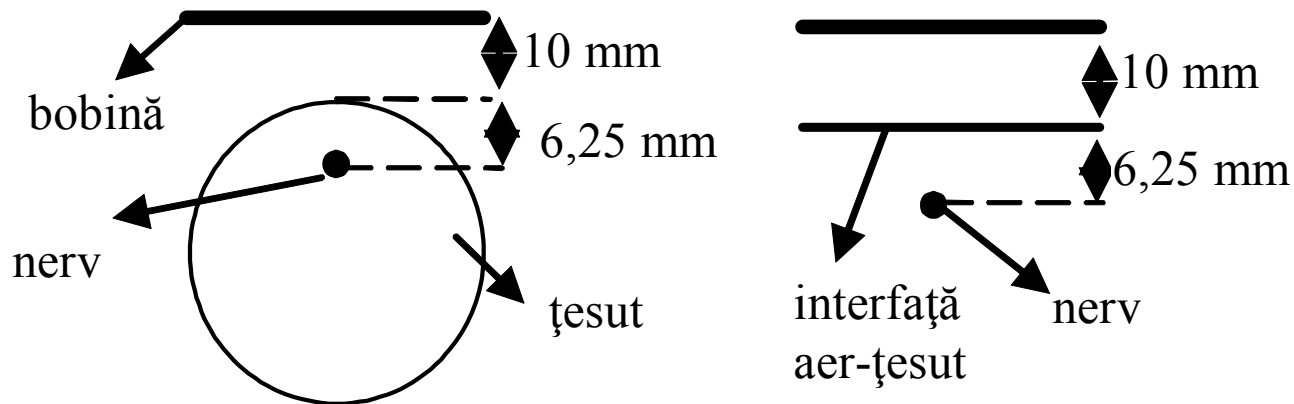
- diferențe finite simetrice
- discretizare cu pași egali

Bobina plasată deasupra unei suprafețe închise cilindrice

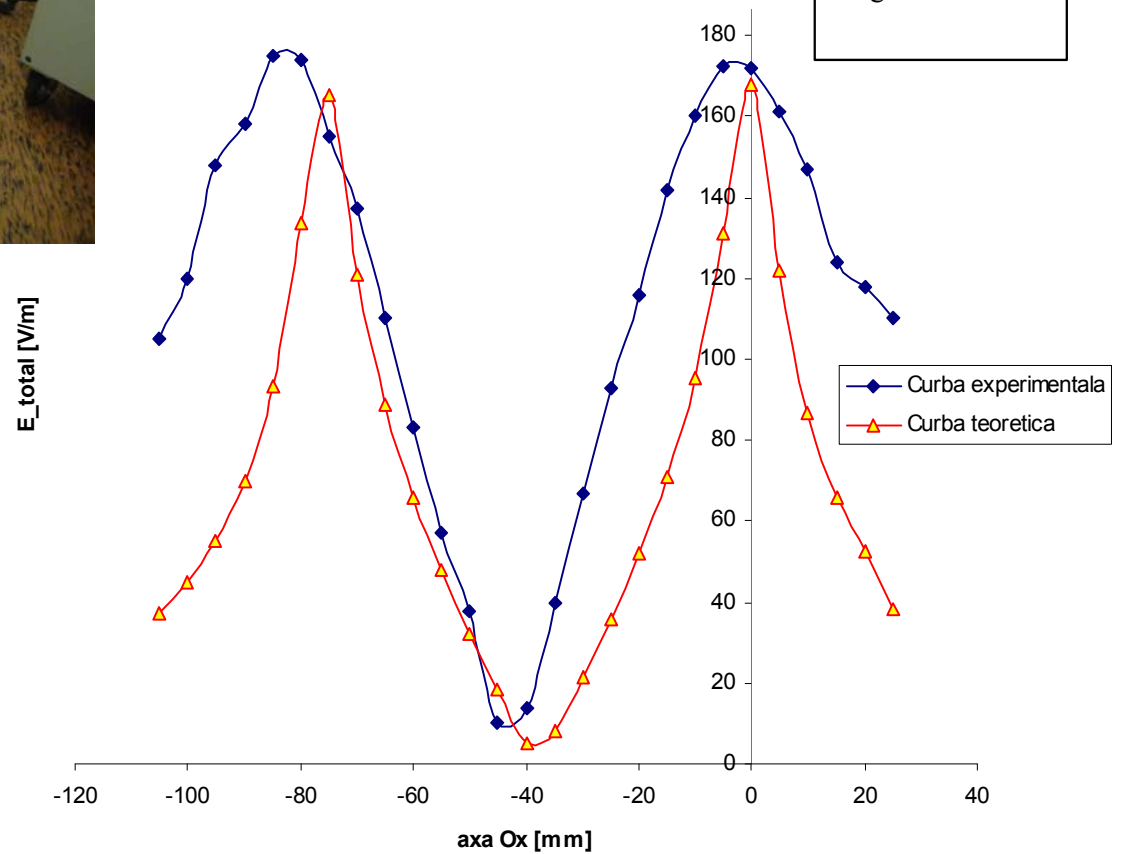
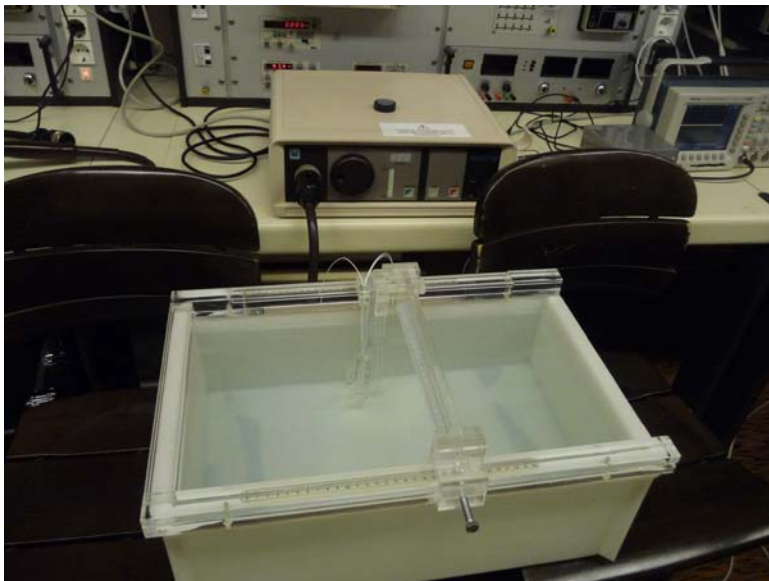
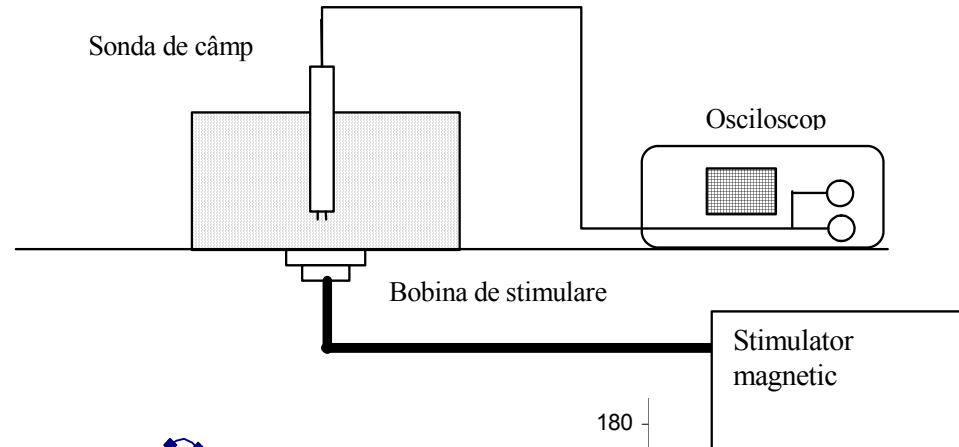


E_z

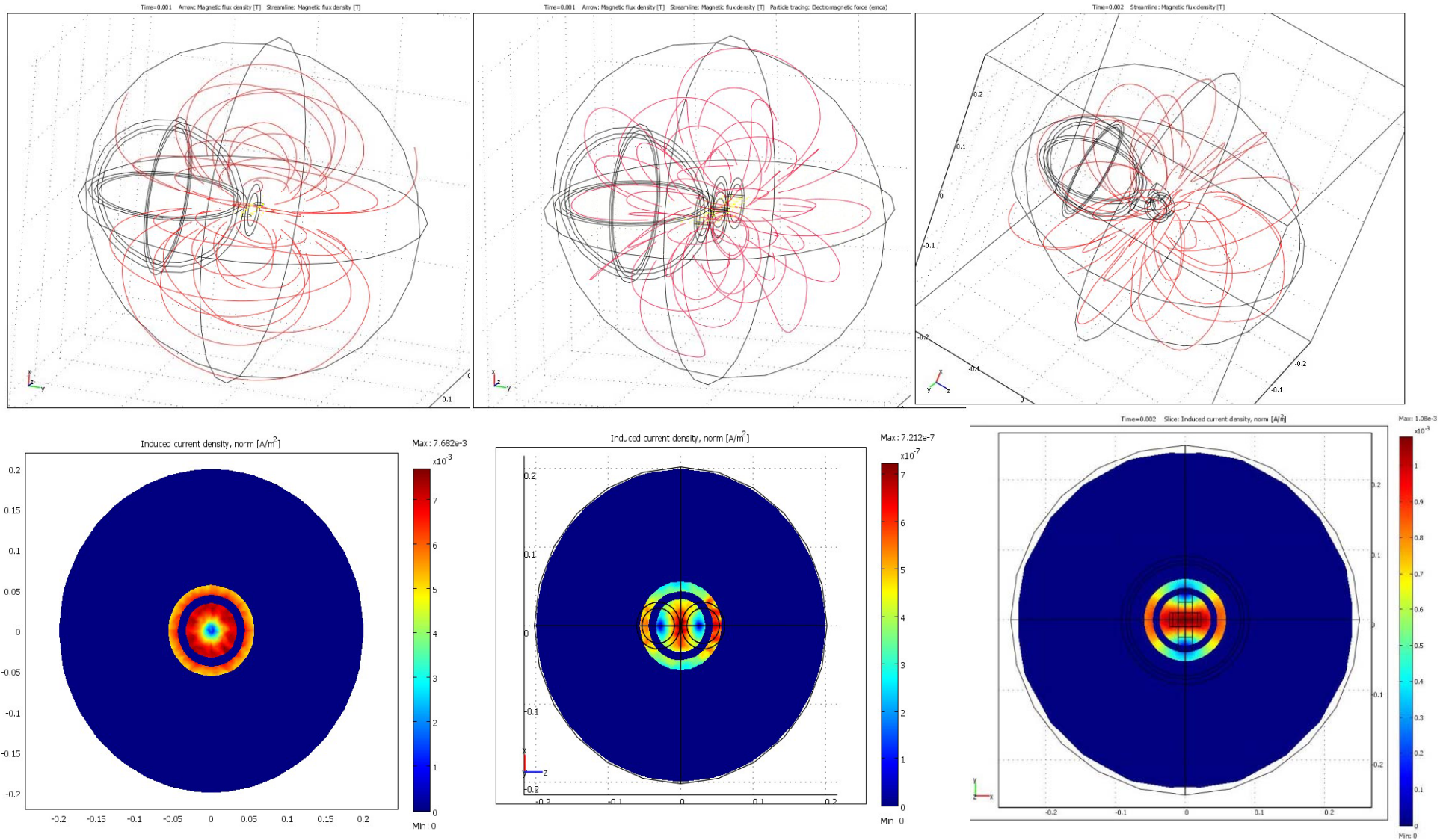
Rezultate comparative pentru câmpul electric indus de-a lungul fibrei nervoase



Validarea experimentală a modelelor teoretice deduse



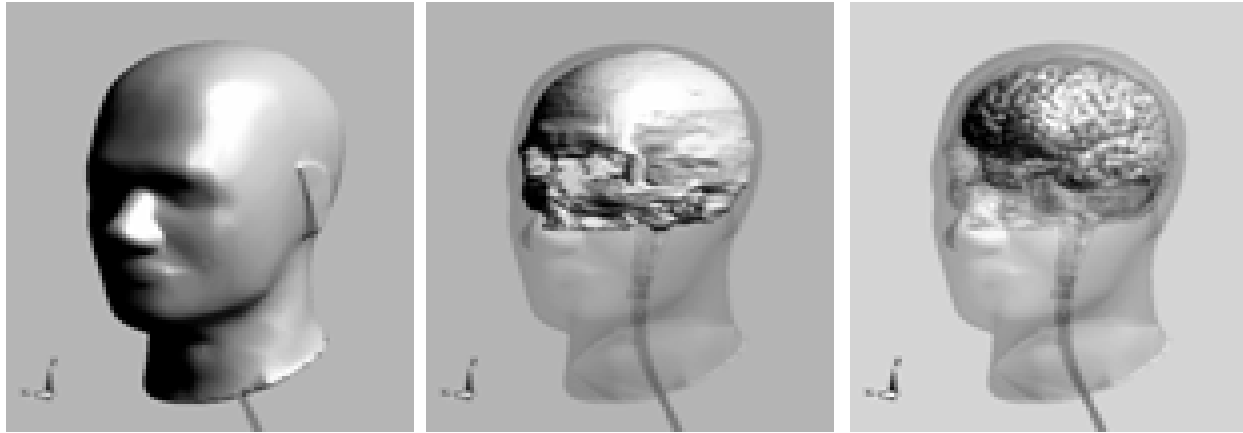
Considerarea neomogenităților țesutului uman



Proprietățile sferelor în modelarea 3D tranzitorie

Țesut	Scalp	Craniu	Creier
Permeabilitate relativă	1	1	1
Conductivitate (S/m)	0,33	0,0042	0,33
Rază sferă (m)	0,092	0,085	0,08

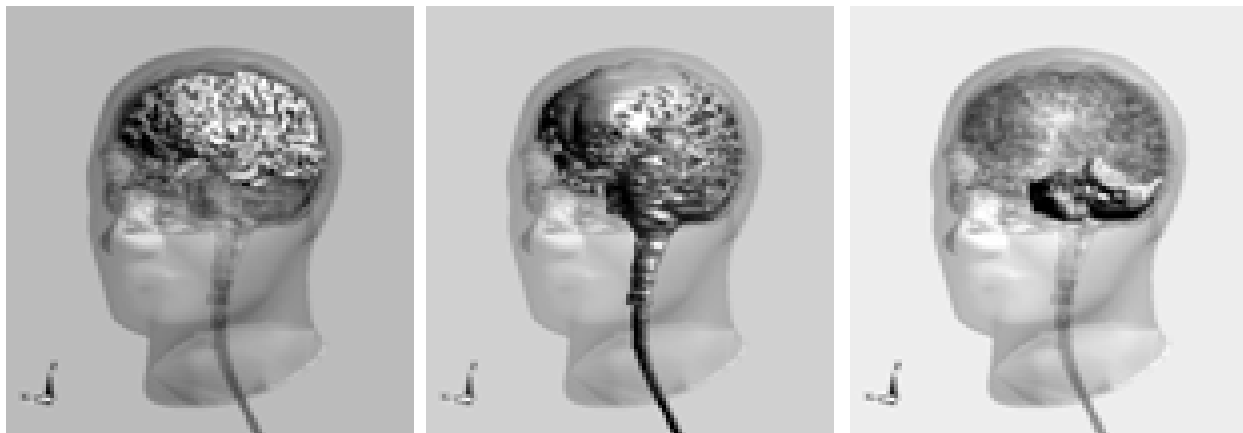
Modelarea unor structuri complexe, realiste



a)

b)

c)



d)

e)

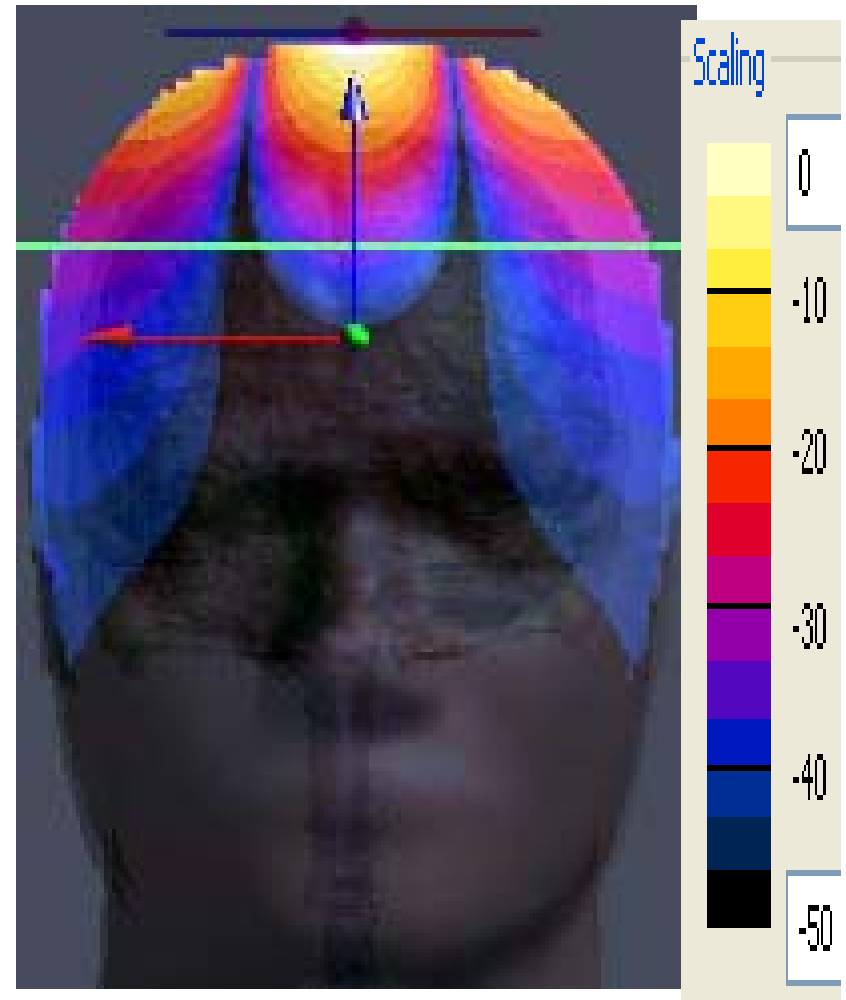
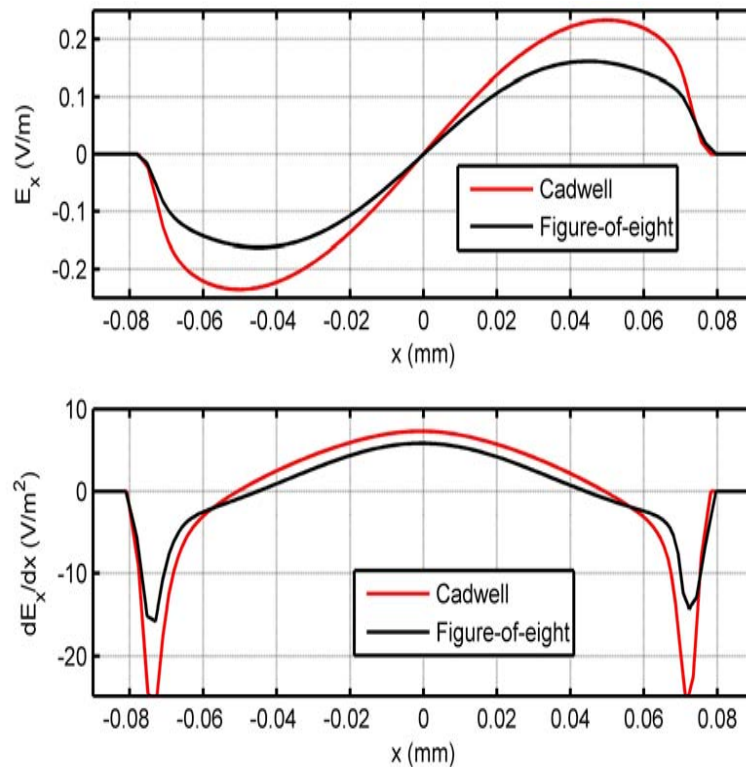
f)

Modelul geometric cap-și-creier: a) scalp, b) craniu, c) materie cenușie,
d) materie albă, e) FCS, f) cerebelul

Conductivitățile și permitivitățile țesuturilor biologice folosite în modelarea capului

Tipul țesutului	σ [S/m]	ϵ_r	REF.
Scalp	0.35	4e3	[9,19,17,19]
Craniu	0.0132	5.2e5	[9,16,17,19]
Materie cenușie	0.33	5e7	[9,17,18,19]
Materie albă	0.2	3e7	[16,17,18]
CSF	1.54	11e3	[9,16,17]
Cerebel	Irelevant pentru model		

Distribuția componentei E_x a câmpului electric indus și funcția de activare de-a lungul liniei de extragere paralelă cu axa Ox , la 30 mm de la suprafața creierului



Distribuția câmpului electric total în planul “coronal” a modelului omogen al capului, indus de bobina având forma cifrei 8

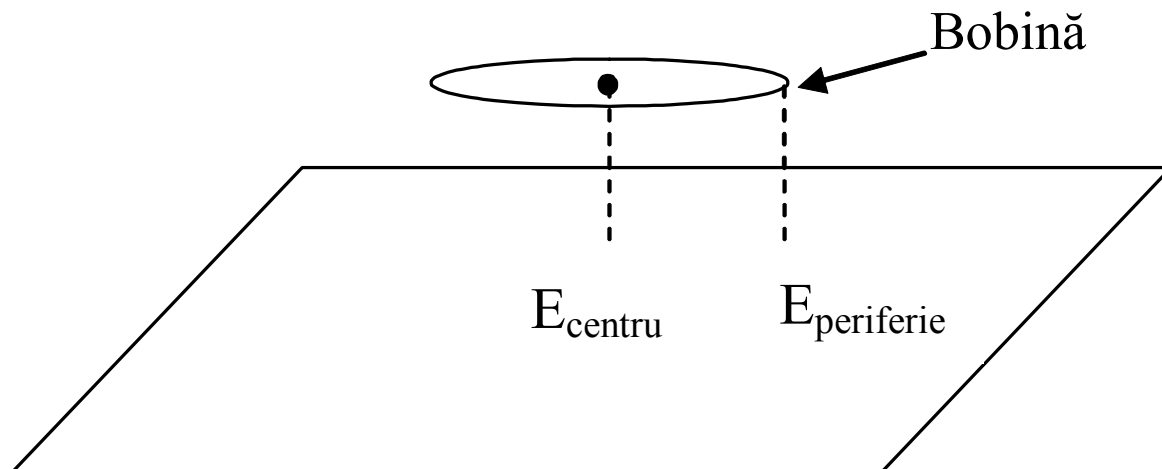
PROIECTAREA OPTIMALĂ A BOBINELOR UTILIZATE ÎN STIMULAREA MAGNETICĂ

Criterii de optimizare a rezultatelor stimulării

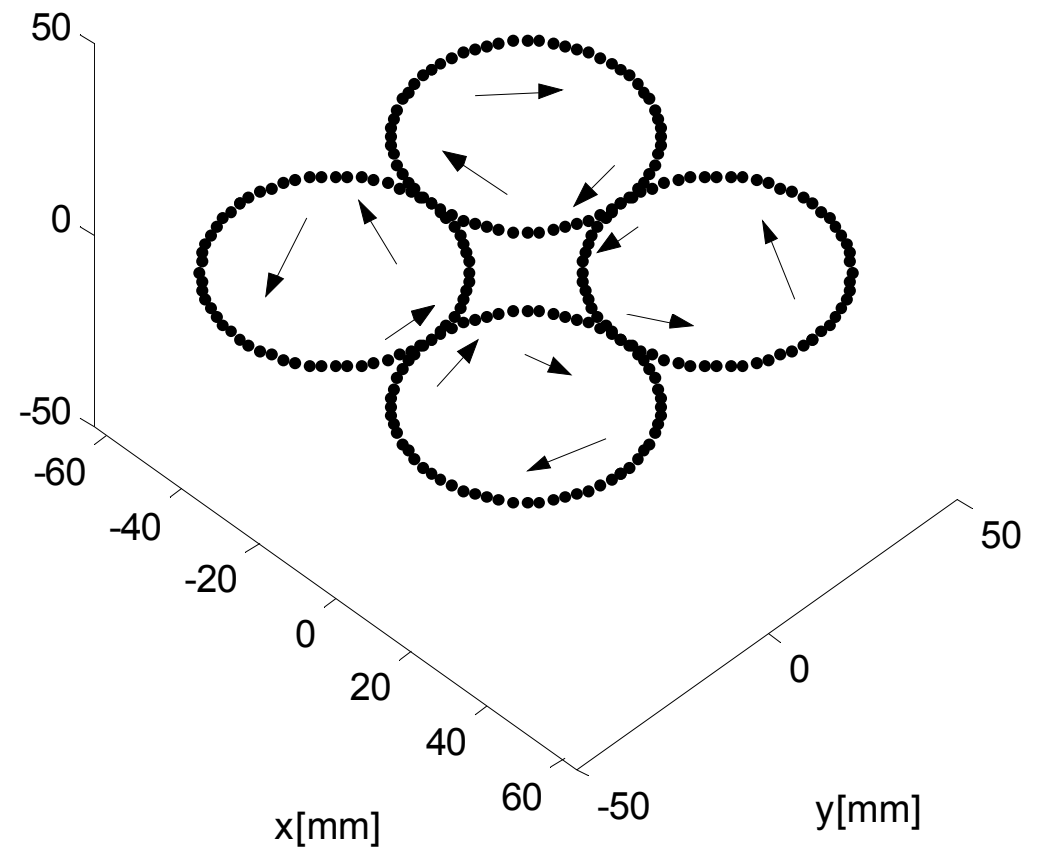
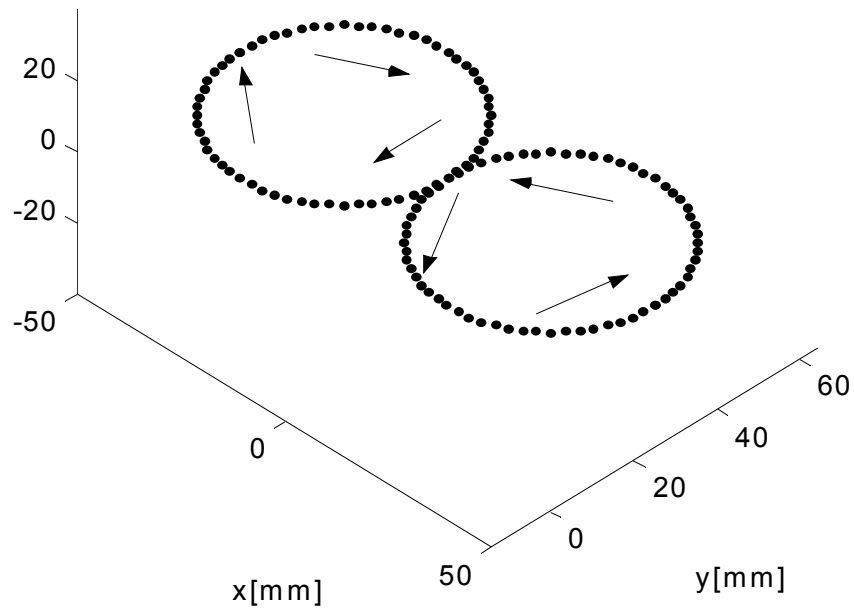
$$\text{Criteriu Focalizare 1: } \frac{\left| \frac{\partial E_z}{\partial z} \right|_{\text{negativ}}}{\frac{\partial E_z}{\partial z} \text{ pozitiv}} \rightarrow \text{maxim}$$

$$\text{Criteriu Focalizare 2: Aria } \frac{E_{indus}}{E_{maxim}} \geq \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow \text{minima}$$

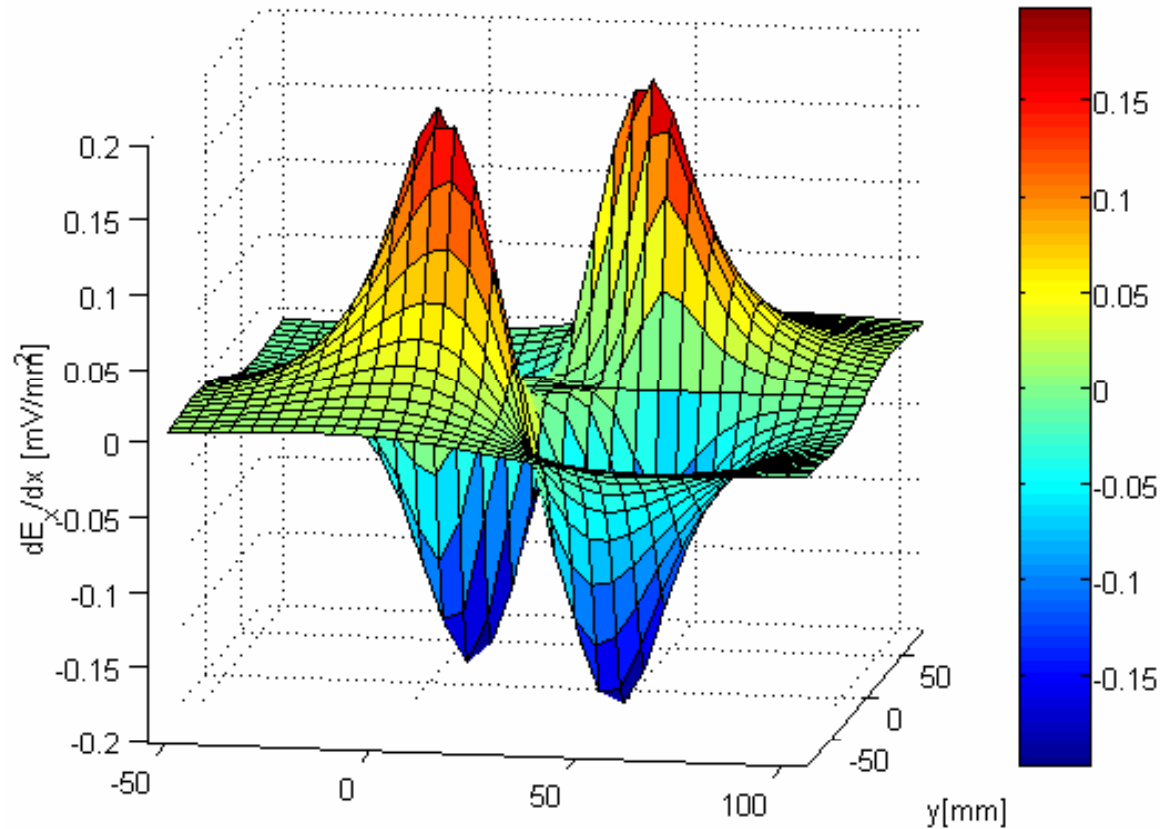
$$\text{Criteriu Focalizare 3: } \frac{E_{centru}}{E_{periferie}} \rightarrow \text{maxim}$$



Bobine proiectate în vederea focalizării derivatei axiale a câmpului electric indus în țesut



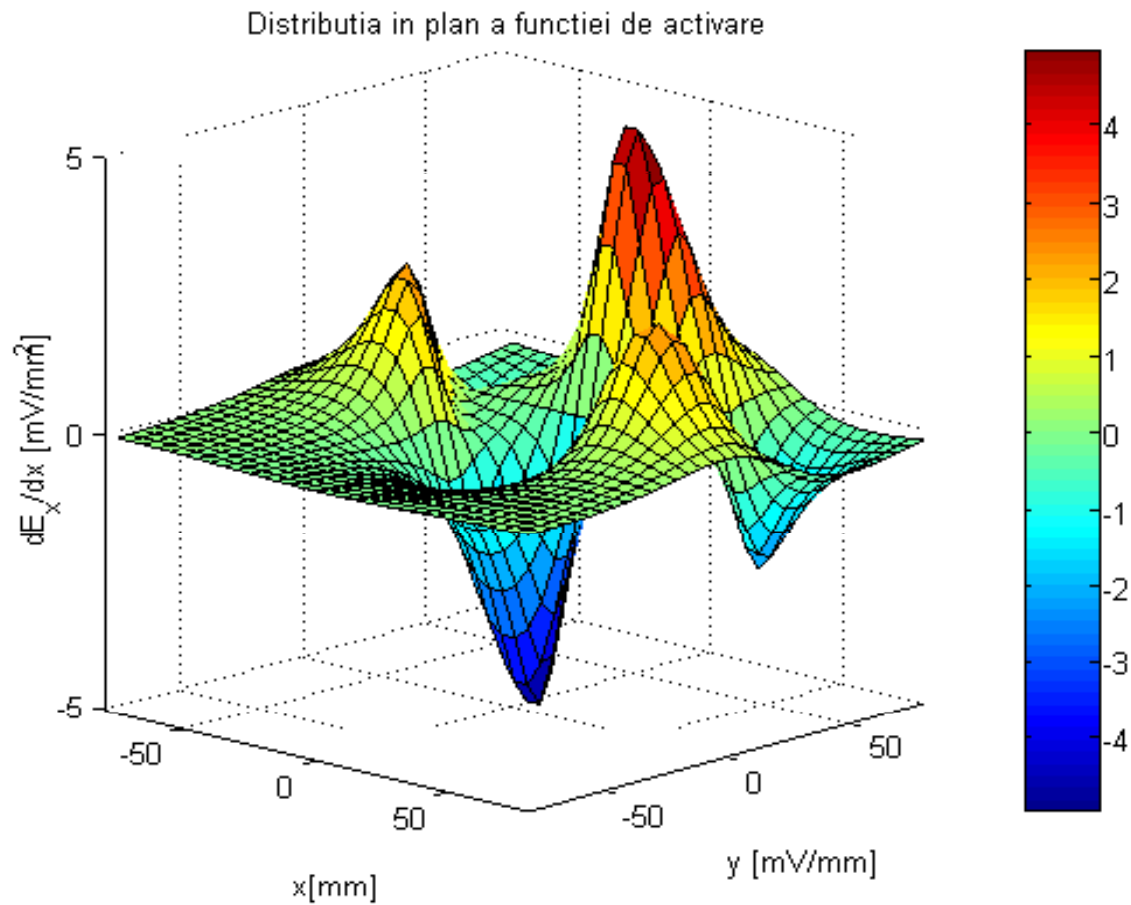
Bobine proiectate în vederea focalizării derivatei axiale a câmpului electric indus în țesut



Bobina circulară

$$\frac{\left| \frac{\partial E_x}{\partial x}_{negativ} \right|}{\frac{\partial E_x}{\partial x}_{pozitiv}} = 1$$

Bobine proiectate în vederea focalizării derivatei axiale a câmpului electric indus în țesut

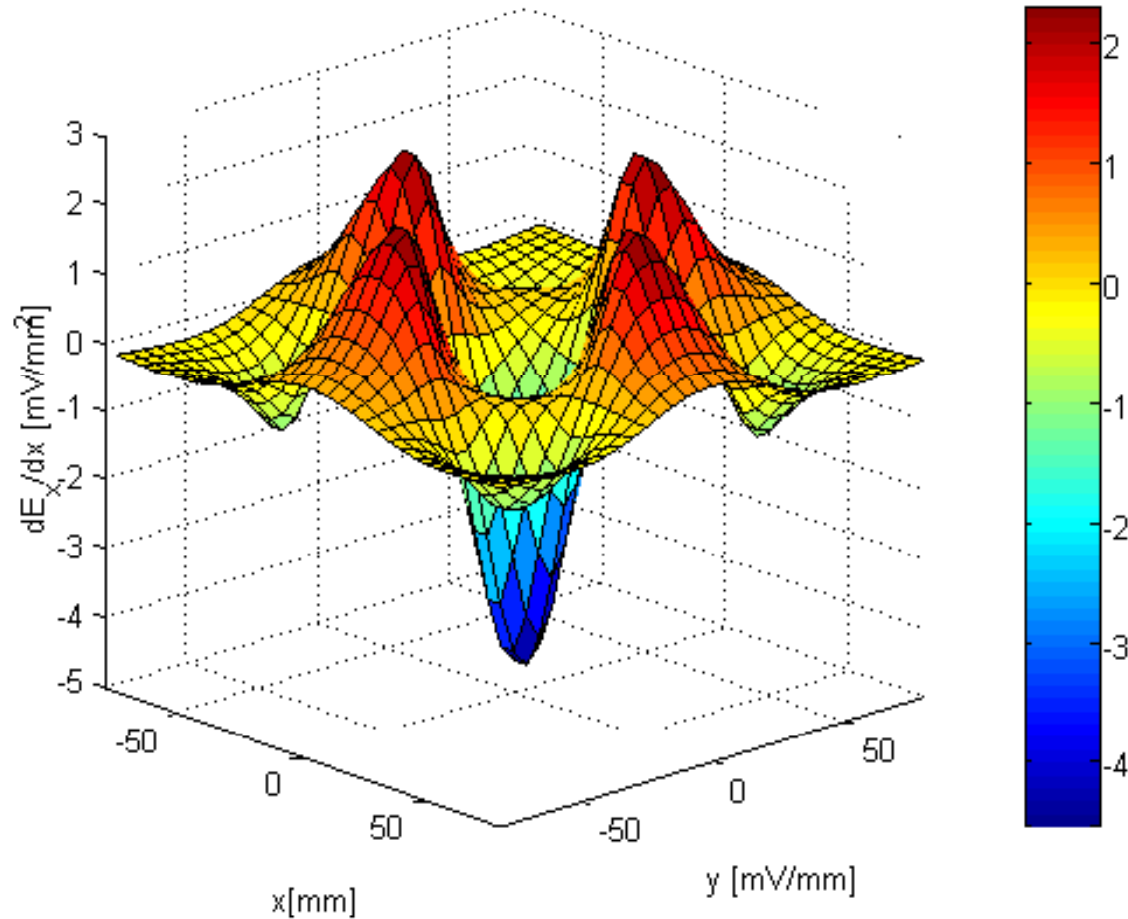


**Bobina având
forma cifrei 8**

$$\frac{\left| \frac{\partial E_x}{\partial x}_{negativ} \right|}{\frac{\partial E_x}{\partial x}_{pozitiv}} = 1.917$$

Bobine proiectate în vederea focalizării derivatei axiale a câmpului electric indus în țesut

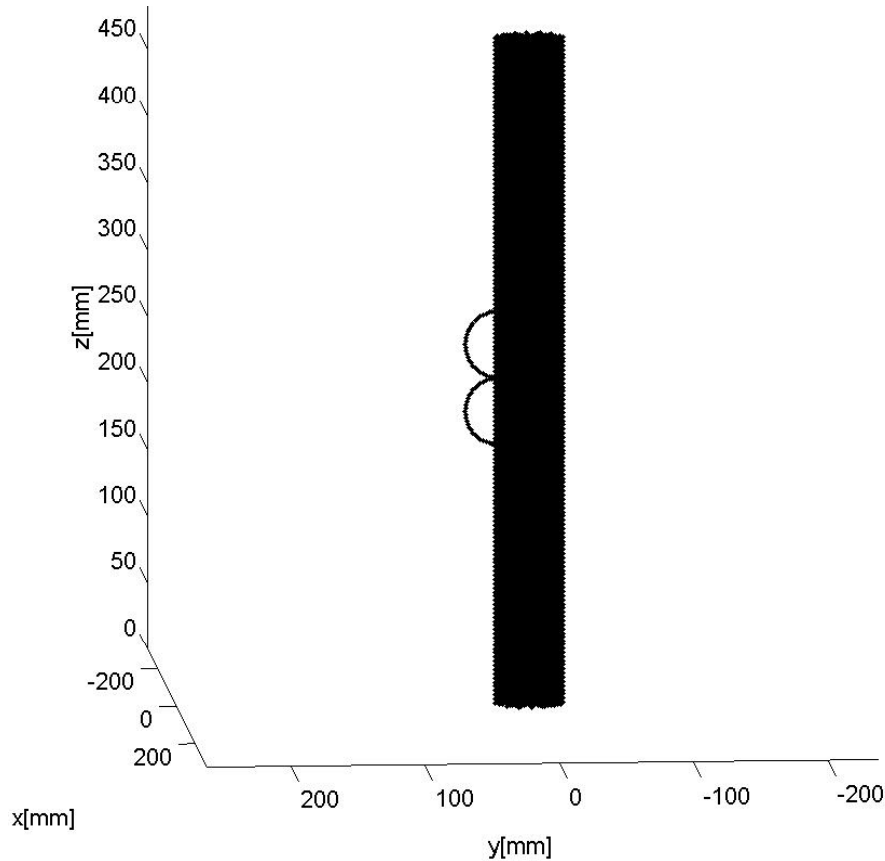
Distributia functiei de activare



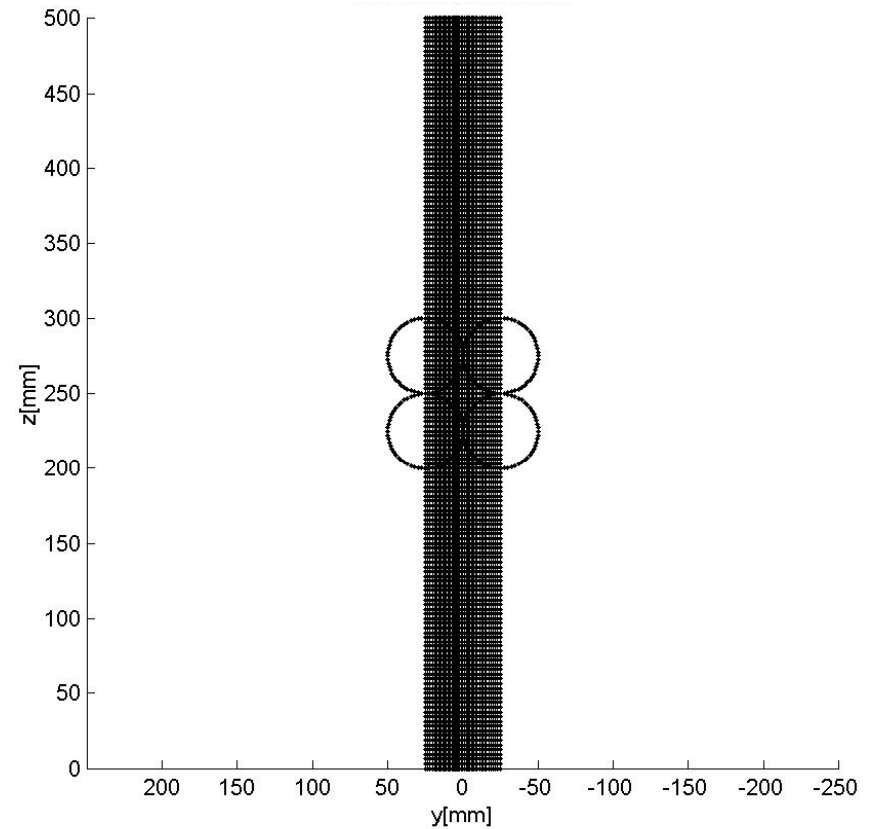
Bobina având forma unui trifoil cu patru foi

$$\frac{\left| \frac{\partial E_x}{\partial x}_{negativ} \right|}{\frac{\partial E_x}{\partial x}_{pozitiv}} = 2$$

Bobine proiectate în vederea focalizării derivatei axiale a câmpului electric indus în țesut



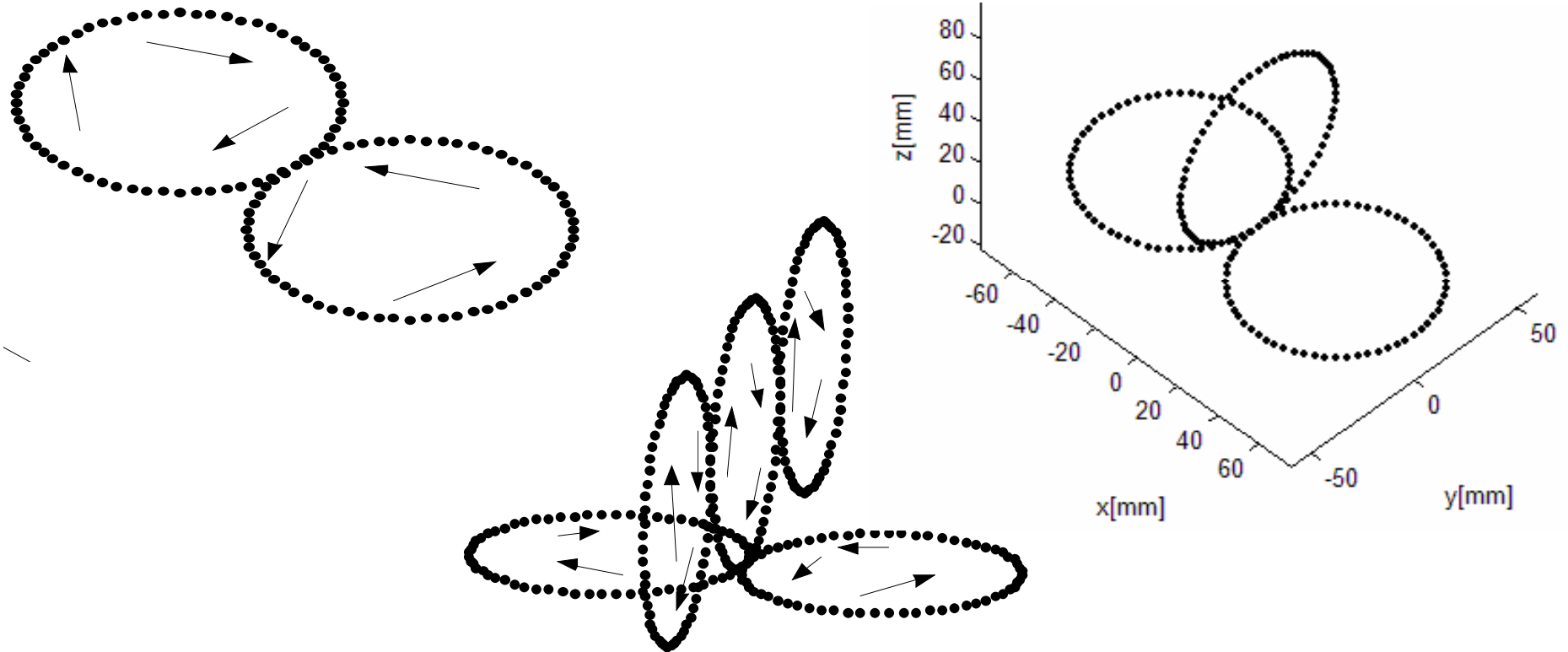
$$\frac{\left| \frac{\partial E_z}{\partial z} \text{ negativ} \right|}{\frac{\partial E_z}{\partial z} \text{ pozitiv}} = 2,18.$$



$$\frac{\left| \frac{\partial E_z}{\partial z} \text{ negativ} \right|}{\frac{\partial E_z}{\partial z} \text{ pozitiv}} = 2,36.$$

Bobine proiectate în vederea focalizării câmpului electric indus în țesutul uman

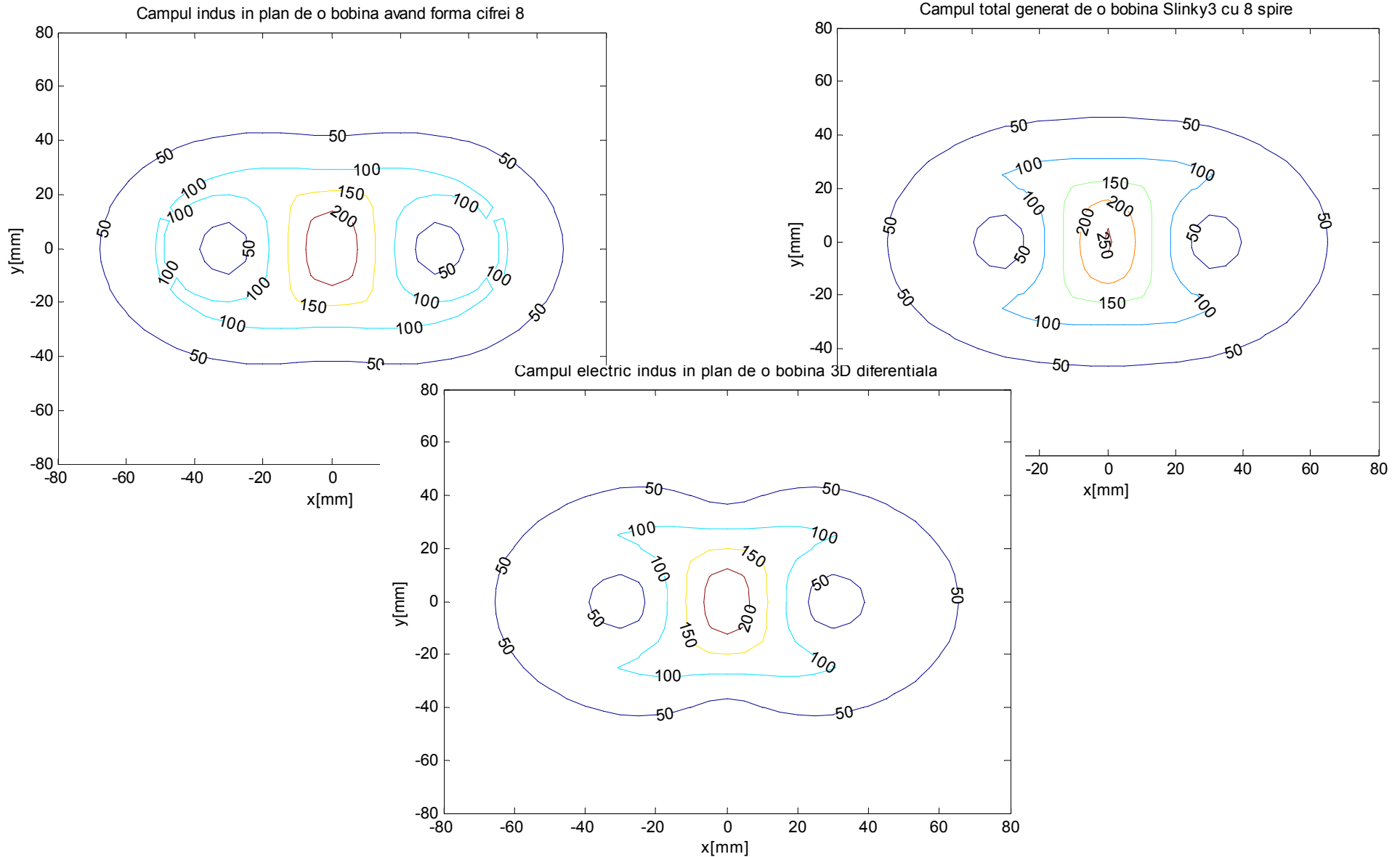
- Minimizarea ariei suprafeței în care se produce activarea fibrei nervoase -



Forma bobinei	Bobina având forma cifrei 8 (Slinky_2)	Slinky_3	3-D diferențială
Inductivitate	2.8 [μH]	2.5 [μH]	1.7 [μH]

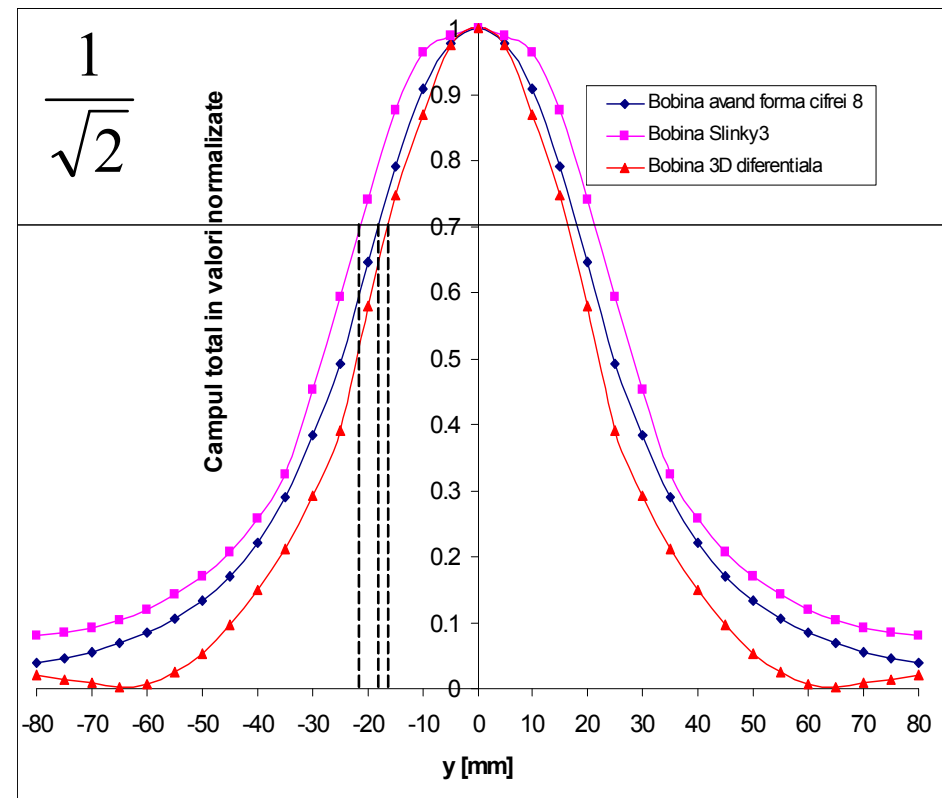
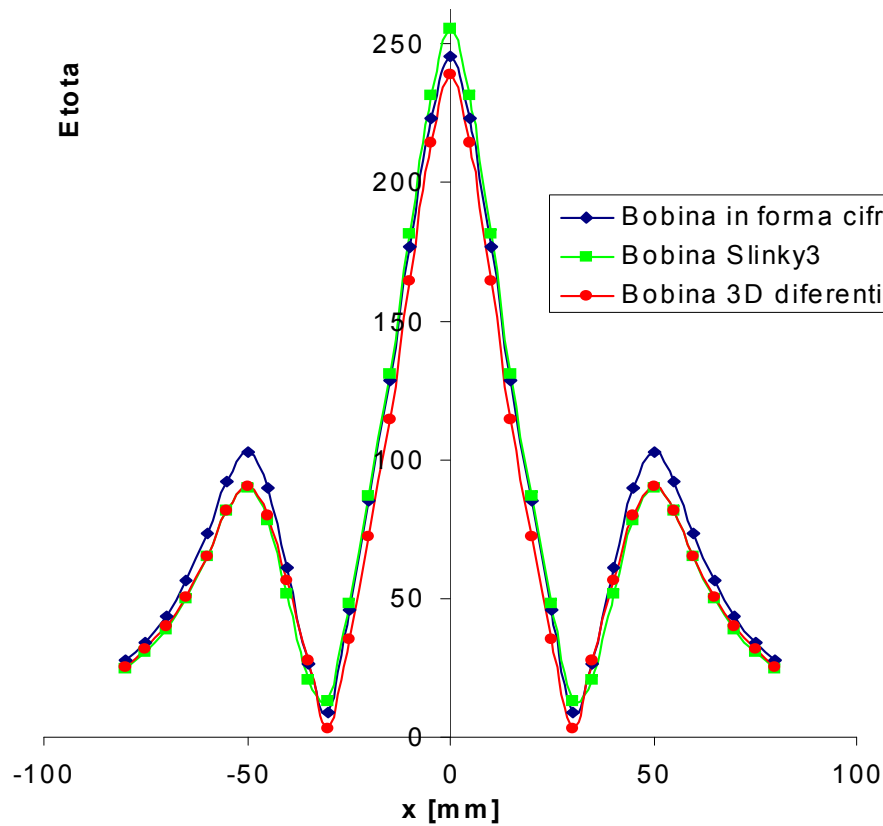
Bobine proiectate în vederea focalizării câmpului electric indus în țesutul uman

- Minimizarea ariei suprafeței în care se produce activarea fibrei nervoase -



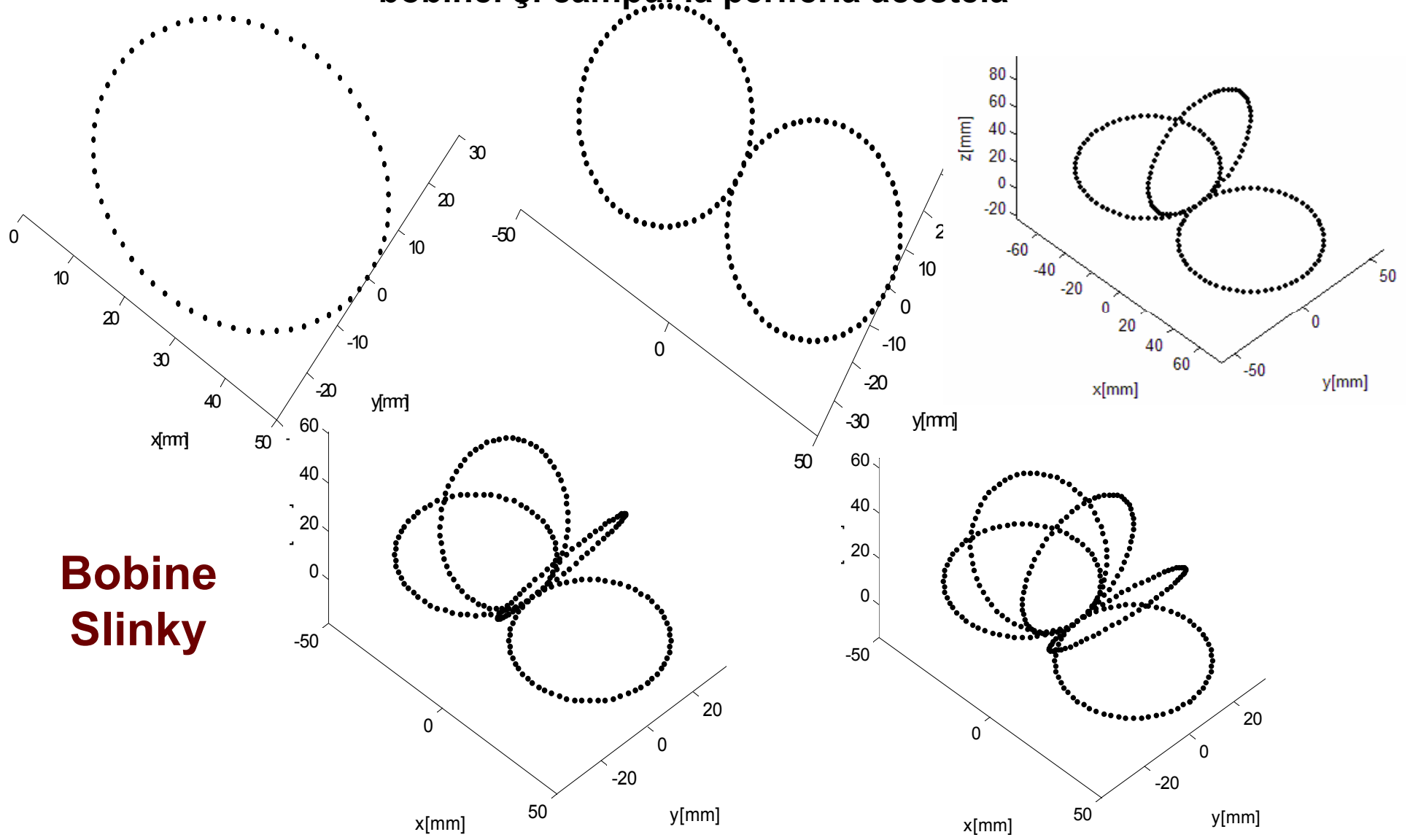
Bobine proiectate în vederea focalizării câmpului electric indus în țesutul uman

- Minimizarea ariei suprafeței în care se produce activarea fibrei nervoase -



Bobine proiectate în vederea focalizării câmpului electric indus în țesutul uman

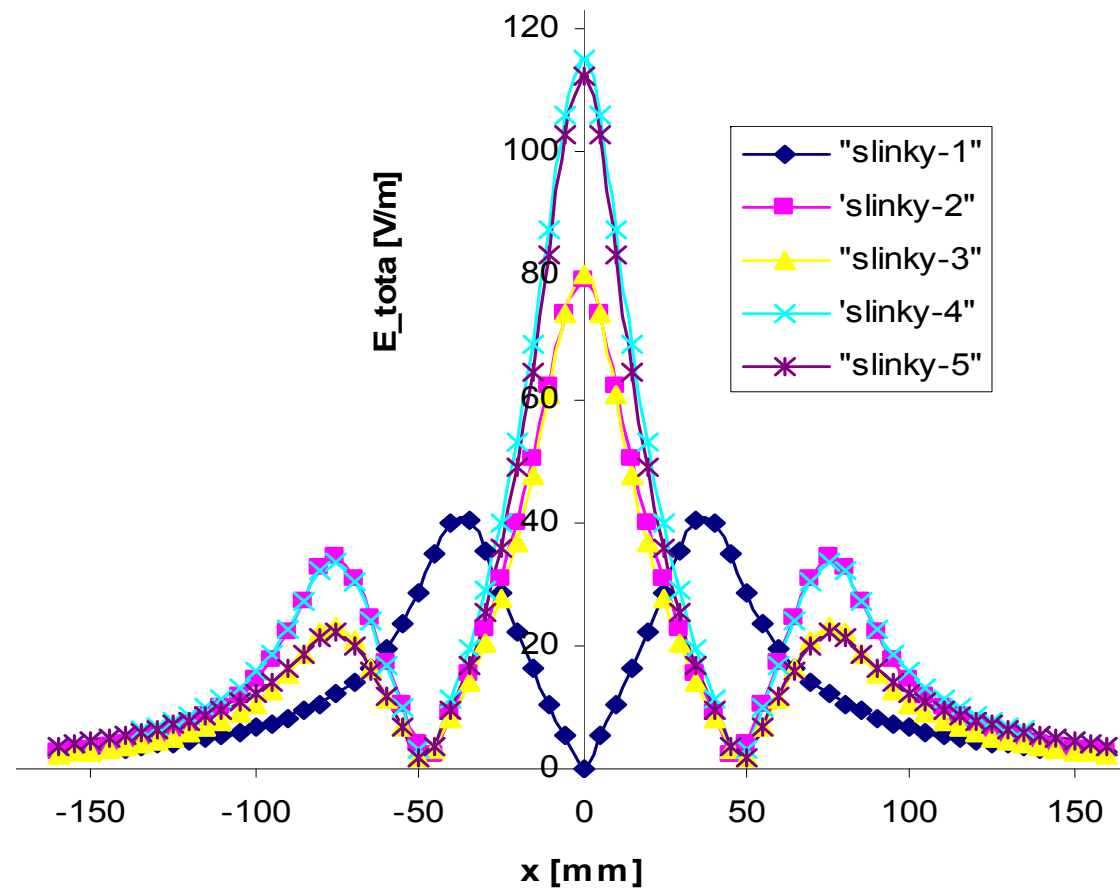
Obținerea unei valori maxime a raportului dintre câmpul electric indus în centrul bobinei și câmpul la periferia acesteia



**Bobine
Slinky**

Bobine proiectate în vederea focalizării câmpului electric indus în țesutul uman

Obținerea unei valori maxime a raportului dintre câmpul electric indus în centrul bobinei și câmpul la periferia acesteia



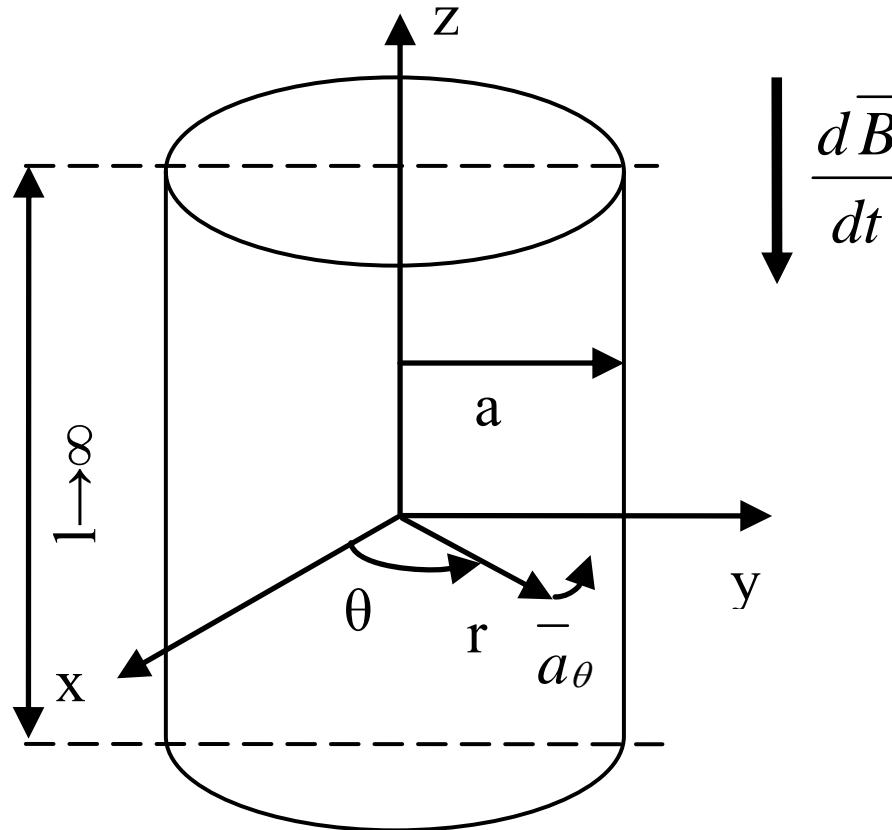
Bobine Slinky (1-5): câmpul indus de-a lungul axei Ox

Bobine proiectate în vederea focalizării câmpului electric indus în țesutul uman

Obținerea unei valori maxime a raportului dintre câmpul electric indus în centrul bobinei și câmpul la periferia acesteia

Tip bobină	Număr spire (Configurație)	L [mH]	Diametru spiră -d -[mm]	Raport focalizare
Slinky_1	8	0,0229	76,2	1
	8	0,0345	115	1
	8	0,0152	50,8	1
Slinky_2	8(4/4)	0,0118	76,2	2,285
	8(4/4)	0,0178	115	2,217
	8(4/4)	0,0078	50,8	2,395
Slinky_3	8(2/4/2)	0,0092	76,2	3,438
	8(2/4/2)	0,0138	115	3,474
	8(2/4/2)	0,0061	50,8	3,547
Slinky_4	8(2/2/2/2)	0,0065	76,2	3,416
	8(2/2/2/2)	0,0098	115	3,451
	8(2/2/2/2)	0,0043	50,8	3,517
Slinky_5	8(1/2/2/2/1)	0,006	76,2	5,093
	8(1/2/2/2/1)	0,0091	115	5,393
	8(1/2/2/2/1)	0,004	50,8	5,137

CONSIDERAȚII ENERGETICE REFERITOARE LA STIMULAREA MAGNETICĂ A ȚESUTULUI NERVOS UMAN



$$\frac{W_{disipata}}{W_{mg \max}} = \left(\frac{\pi}{\omega} \right) \frac{\omega^2 B_{\max}^2 \sigma a^2 / 16}{B_{\max}^2 / (2\mu_0)} = \frac{\pi}{8} \omega \mu_0 \sigma a^2 = \frac{\pi a^2}{4} (\pi f \mu_0 \sigma) = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{a^2}{\delta^2} \leq 10^{-4}$$

Mărimi ce caracterizează eficiența transferului energetic de la stimulatorul magnetic la țesutul nervos

$$P = f \cdot W_J$$

Puterea consumată de stimulator

$$W_J = (R_x + R_c) \int_0^{\Delta t} I^2(t) dt$$

Energia disipată în circuit pe durata unui puls

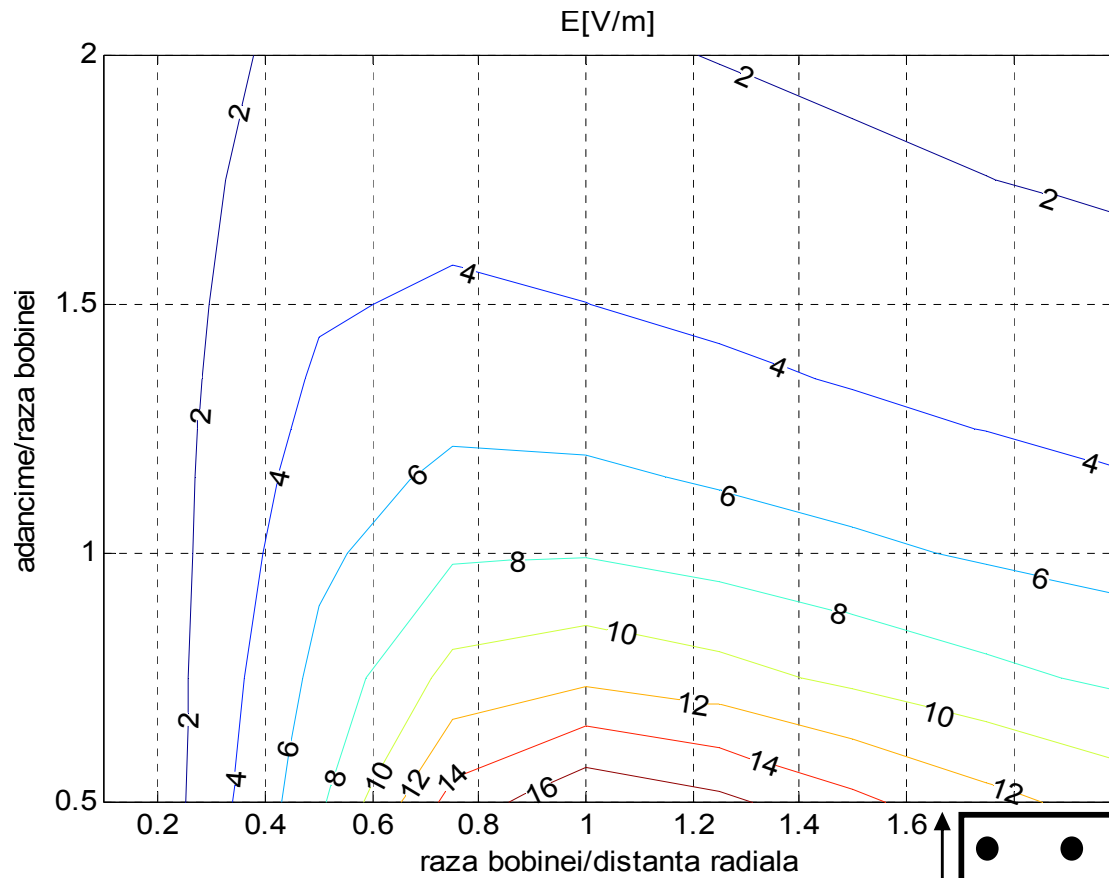
$$W_B = \frac{1}{2} L I_{\text{varf}}^2$$

Energia magnetică maximă în bobină

$$\Delta T = \rho_{\text{Cu}} \left(c \sigma A^2 \right)^{-1} \int_0^{\Delta t} I^2(t) dt$$

Creșterea temperaturii în bobină pe durata unui puls

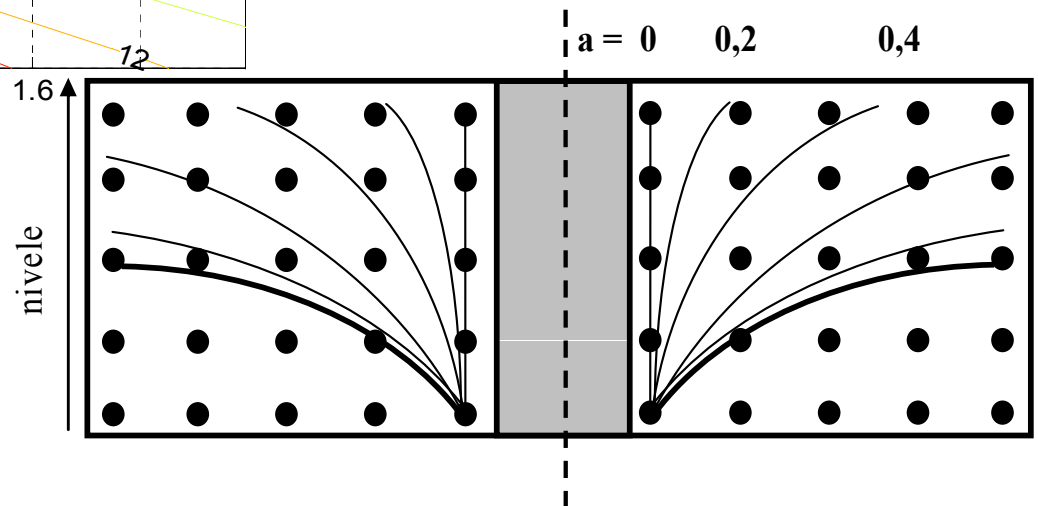
Parametri ce caracterizează structura internă a bobinei



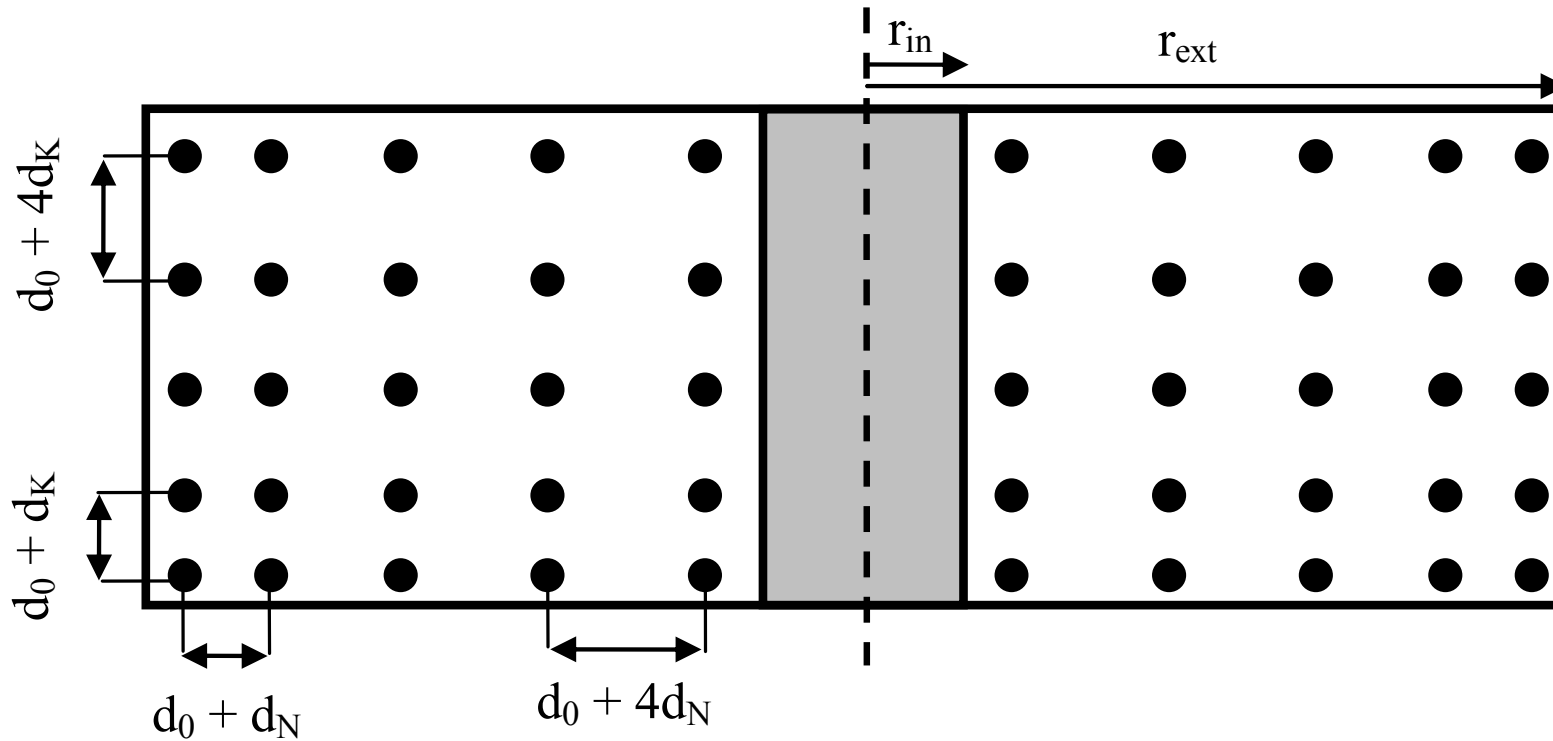
Câmpul electric generat de o spirală circulară într-un punct țintă, în funcție de poziția acestuia față de centrul spirei

Profilul bobinei

$$N_i = N_1 - a^2 (i-1)^2; \quad i = 1, \dots, K$$



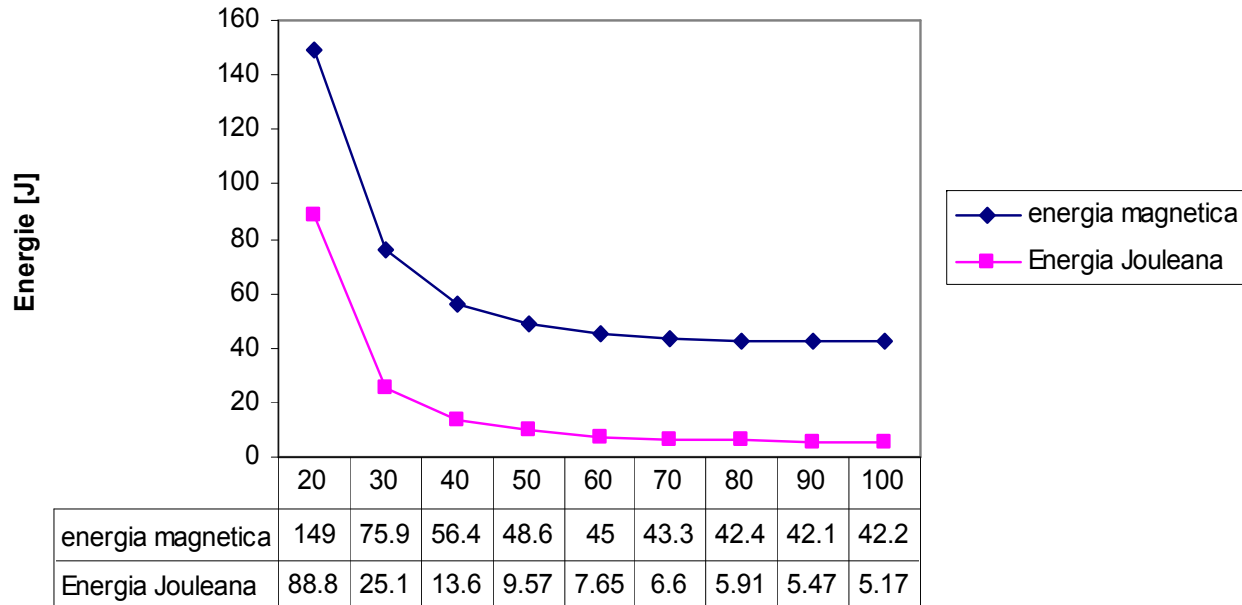
Parametri ce caracterizează structura internă a bobinei



$$\begin{cases} \delta_{i,K} = d_0 + id_K & i = 1, \dots, K; & d_K \geq 0 \\ \delta_{i,N} = d_0 + id_N & i = 1, \dots, N_1; & d_N \geq 0 \end{cases}$$

Estimarea parametrilor energetici pentru o bobină solenoidală cu spire circulare

- efectul variației razei exterioare a bobinei -



25 spire

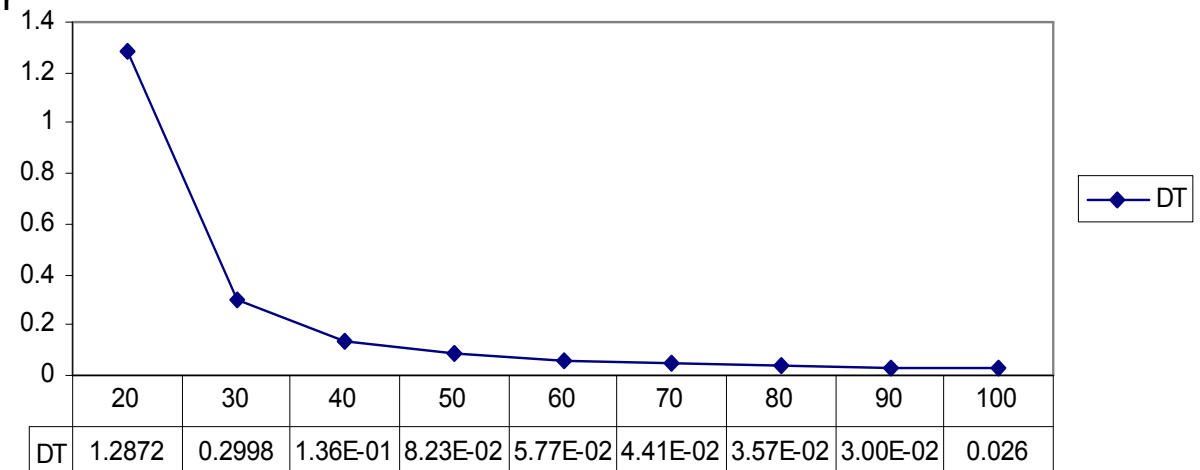
5 straturi a câte 5 spire

Raza fir 1 [mm]

Izolație 0,3[mm]

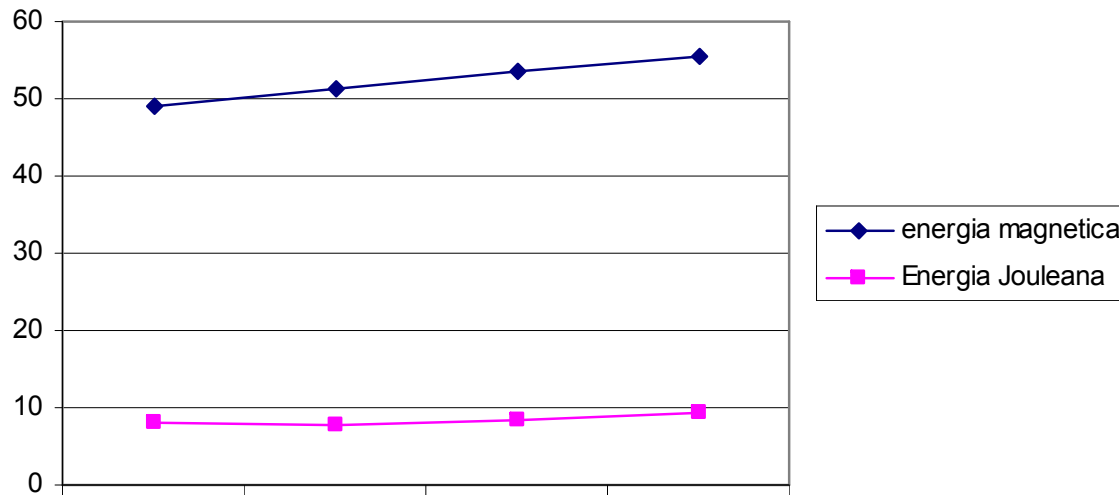
Raza exterioară - variază

raza exterioara [mm]



Estimarea parametrilor energetici pentru o bobină solenoidală cu spire circulare

- efectul variației ariei secțiunii firului bobinei -



25 spire

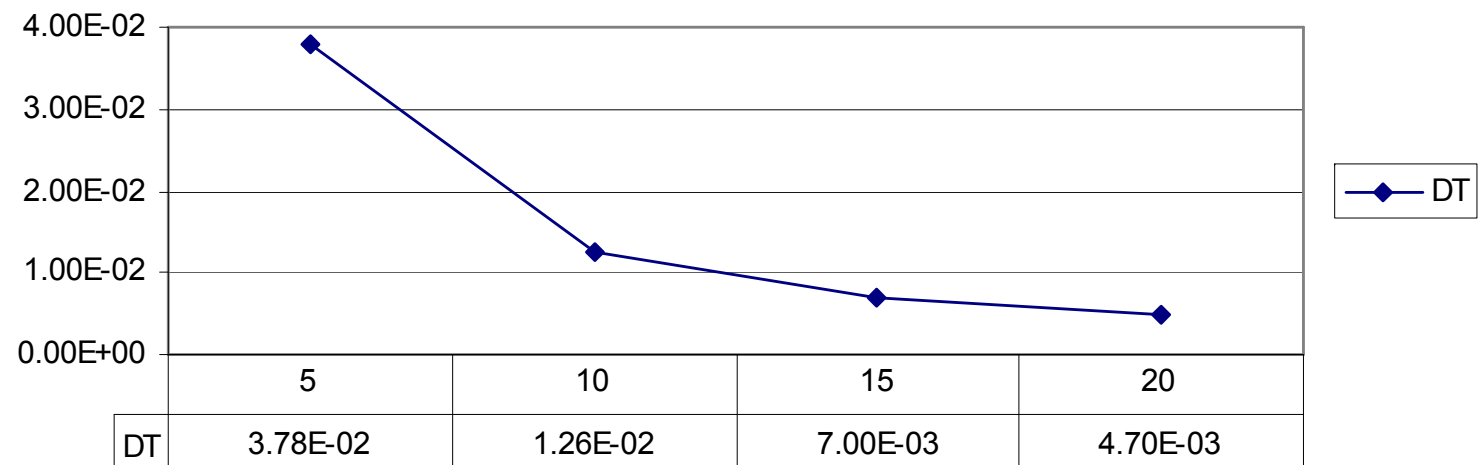
5 straturi a câte 5 spire

Raza fir - variază

Izolație 0,3[mm]

Raza exterioară 30[mm]

energia magnetica	48.9748	51.211	53.4289	55.4906
Energia Jouleana	8.2107	7.8591	8.5206	9.4915



Estimarea parametrilor energetici pentru o bobină solenoidală cu spire circulare

- efectul densității de împachetare a bobinei -

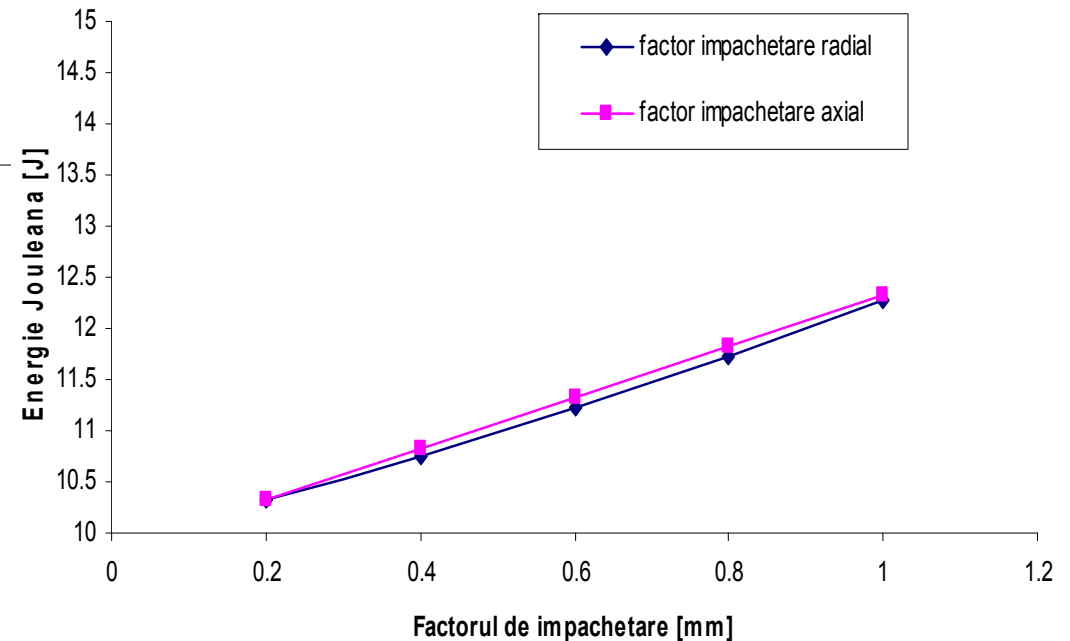
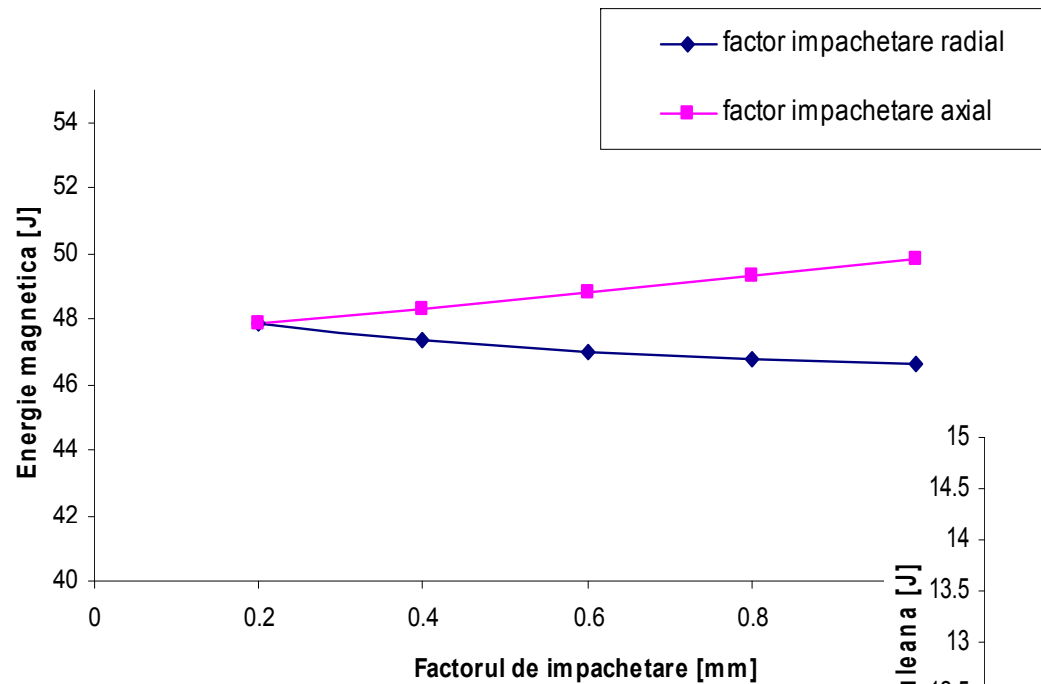
25 spire

5 straturi a câte 5 spire

Raza fir 1 [mm]

Izolație - variază

Raza exterioară 30[mm]



2009

Obiective:

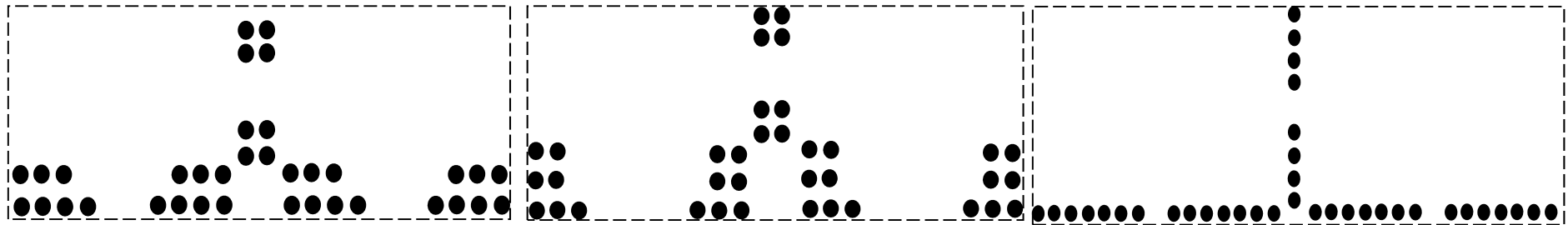
1. Studiul performanțelor stimulatorului;
2. Actualizarea modelului cablului pentru structuri neuronale;
3. Realizarea practica a bobinelor de stimulare proiectate.

Activitățile propuse au vizat:

1. Evaluarea caracteristicilor stimulului produs (durata, frecvența de repetare, intensitate) pentru diverse aplicatoare
2. Evaluarea transferului energetic stimulator - țesut țintă
3. Considerarea ondulației naturale a fibrei nervoase
4. Considerarea modificării proprietăților membranei celulare de-a lungul fibrei nervoase
5. Elaborarea proiectului tehnic privind detaliile de execuție
6. Realizarea bobinelor în configurațiile obținute în cadrul obiectivului 2/2008.

Estimarea parametrilor energetici pentru bobine cu design special, utilizate în procedeele de stimulare magnetică

Bobine plasate deasupra unei suprafețe plane



Bobine Slinky_3, având spirele dispuse în cinci configurații distincte (18 spire)

Bobina	4,3 – 2,2 – 4,3	4,3 – 3,1 – 4,3	3,2,2 – 2,2 – 3,2,2	3,2,2 – 3,1 – 3,2,2	7 – 4 – 7
L(μ H)	11.4	11.5	12.1	11.9	8.2
W_J (J)	9.3732	10.4585	10.1283	10.5488	11.5517
W_B (J)	11.0742	11.1014	12.3911	12.7244	10.5794
ΔT ($^{\circ}$ C)	0.1292	0.1307	0.1374	0.1434	0.1727
Ivarf (A)	1387.8	1395.6	1431.1	1462.4	1606.3
C (mF)	0.19	0.191	0.18	0.183	0.274

E impus = 100[V/m]

Raza bobină 30[mm]

Izolație = 0,2 [mm]

Punct țintă 10[mm] sub bobină

Evaluarea parametrilor energetici pentru un set de bobine Slinky-4

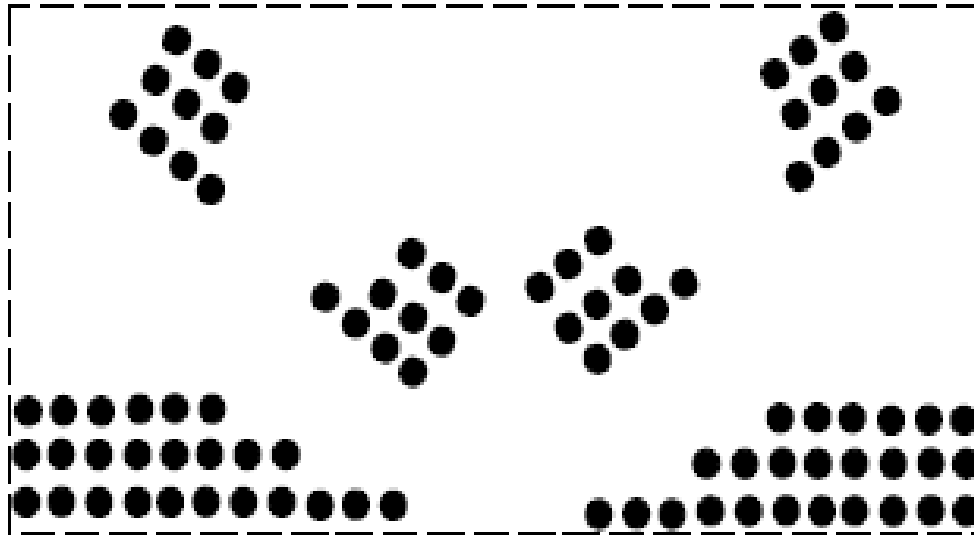
TABLE I.
ENERGETIC PARAMETERS OF A SET OF SLINKY – 4 COILS, ON 25 DIFFERENT GEOMETRICAL CONFIGURATIONS

Configuration	L (μ H)	C (μ F)	I _{peak} (A)	W _J (J)	W _B (J)	ΔT ($^{\circ}$ C)
5,5,5,5,5 – 5,5	100,3	20.258	369.5642	1.4882	6.8494	0.0094
5,5,5,5,5 – 4,3,3	103,7	19.586	362.4022	1.4527	6.8097	0.0090
7,6,6,6 – 5,5	93.3	21.8	357.7678	1.3524	5.9711	0.0088
7,6,6,6 – 4,3,3	98.7	20.587	350.1528	1.3165	6.0507	0.0084
8,7,5,5 – 5,5	90.8	22.412	360.2231	1.3624	5.8911	0.0089
8,7,5,5 – 4,3,3	96.2	21.132	352.5096	1.3261	5.9770	0.0085
8,7,6,4 – 5,5	90.3	22.538	361.0413	1.3659	5.8853	0.0089
8,7,6,4 – 4,3,3	93.8	21.685	353.2233	1.3280	5.8516	0.0086
8,7,7,3 – 5,5	89.5	22.741	363.7414	1.3784	5.9208	0.0091
8,7,7,3 – 4,3,3	91.7	22.191	355.7584	1.339	5.803	0.0087
9,7,5,4 – 5,5	89.1	22.846	364.6786	1.3853	5.9247	0.0091
9,7,5,4 – 4,3,3	93.3	21.801	356.7318	1.347	5.9366	0.0087
10,5,5,5 – 5,5	86.3	23.604	368.3421	1.4067	5.8544	0.0093
10,5,5,5 – 4,3,3	91.7	22.186	360.3239	1.3611	5.9529	0.0089
10,6,6,3 – 5,5	84.6	24.087	370.9473	1.4179	5.8206	0.0094
10,6,6,3 – 4,3,3	88	23.142	362.6989	1.3773	5.7882	0.0090
11,8,6 – 5,5	76.7	26.61	364.9574	1.3175	5.108	0.0091
11,8,6 – 4,3,3	80.3	25.403	355.7643	1.2859	5.0817	0.0087
10,8,7 – 5,5	79.1	25.786	365.0187	1.3294	5.2696	0.0091
10,8,7 – 6,4	78.5	25.987	365.891	1.3329	5.2546	0.0092
10,8,7 – 4,3,3	82.8	24.621	355.8257	1.2973	5.2417	0.0087
9,8,8 – 5,5	80.4	25.361	363.0393	1.3207	5.2983	0.0090
9,8,8 – 4,3,3	84.1	24.233	353.9403	1.289	5.2678	0.0086
10,9,6 – 5,5	77.8	26.226	367.5051	1.3417	5.2538	0.0092
10,9,6 – 4,3,3	83.4	24.43	358.3462	1.2981	5.3548	0.0088

Parametri geometrici ai bobinelor:

- Raza exterioara –30mm
- raza firului de bobinaj – 1mm
- izolatia dintre spire – 0,2mm
- pragul de activare - 60V/m
- punctul tinta – aflat la 10mm sub centrul bobinei

Structura si parametri energetici ai bobinei Slinky-4 optimale



**Configuratie: 11,8,6 – 4,3,3 –
3,3,4 – 6,8,11**

L(μ H) 80.3; Ivarf (A) 355.76

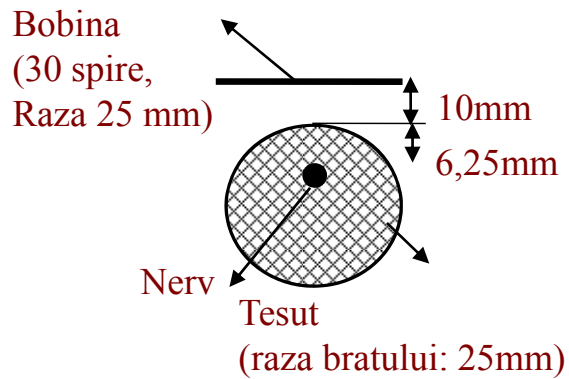
WB (J) 5.0817; C (μ F) 25.403

WJ (J) 1.2859; Δ T ($^{\circ}$ C) 0.0087

Optimizarea reduce cu 15% puterea consumata si cu 8% incalzirea bobinei per puls, ceea ce ar putea reprezenta un castig important in proiectarea bobinelor pentru stimularea magnetica repetitiva

CALCULUL POTENTIALULUI TRANSMEMBRANAR

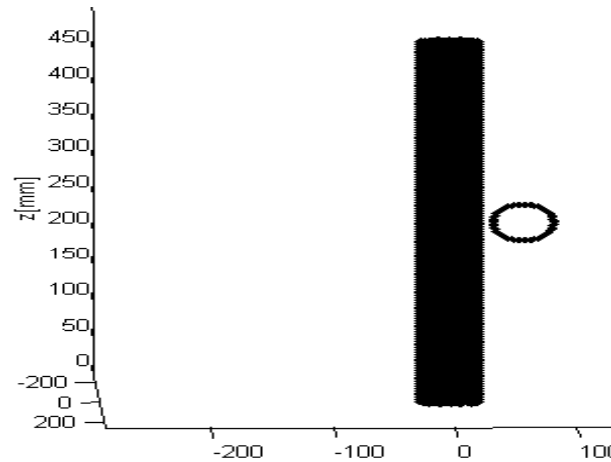
Geometria problemei



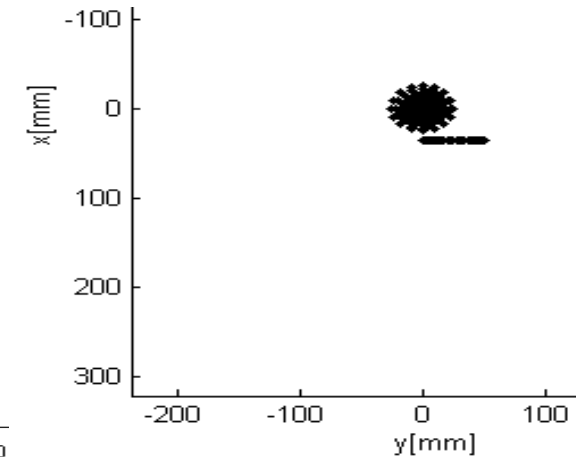
$$L=0.165 \text{ mH}; R=3\Omega;$$

$$C=200 \mu\text{F}$$

$$dI/dt=1 \text{ A}/\mu\text{s}$$

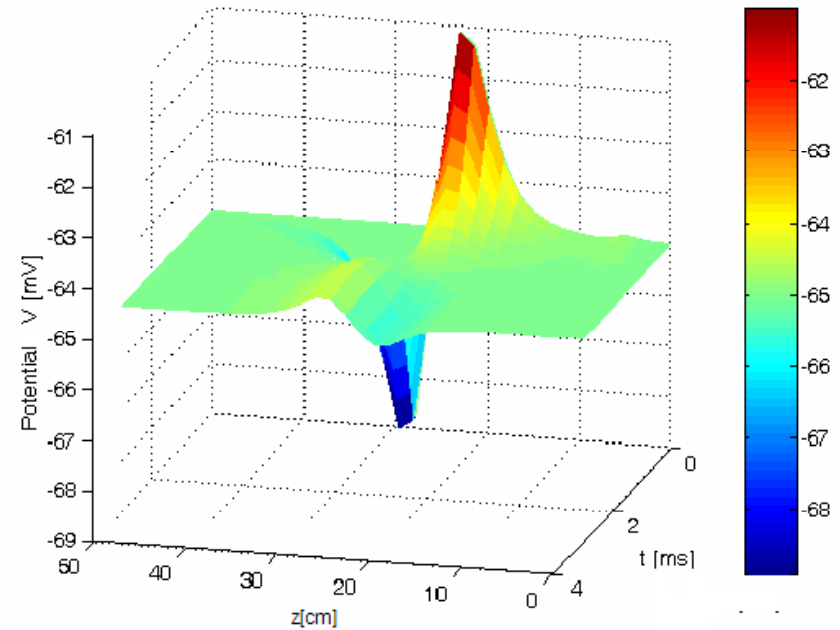
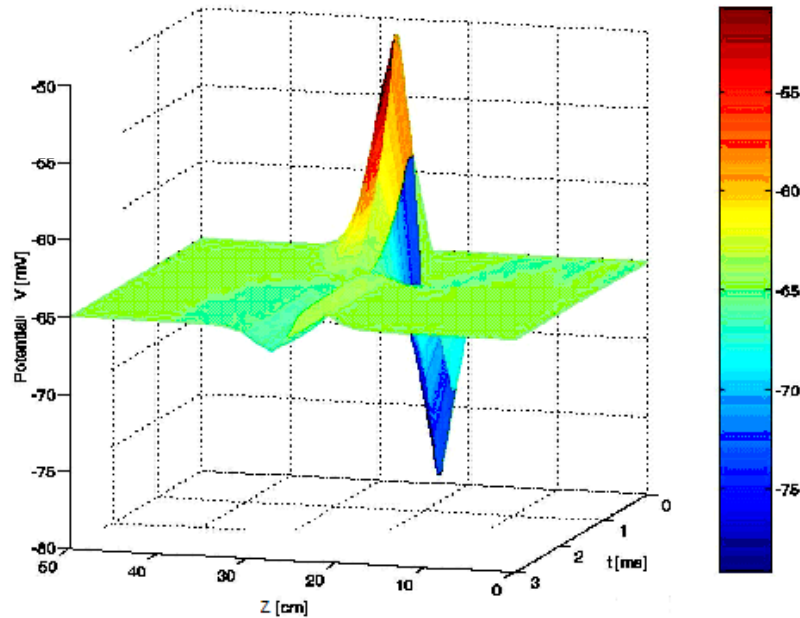


Bobina perpendiculara
pe axa cilindrului



Bobina paralela cu axa cilindrului,
dar deplasata cu 25mm fata de
aceasta

Potentialul transmembranar calculat cu modelul cablului pasiv



$$V(x,t)|_{t=0} = V(x,0) - V_r = 0. \text{ Conditii initiale}$$

$$\frac{\partial V}{\partial x}(x,t)|_{x=0} = 0.$$

Conditiele de frontiera pentru problema

$$V(x,t)|_{x=L} = 0.$$

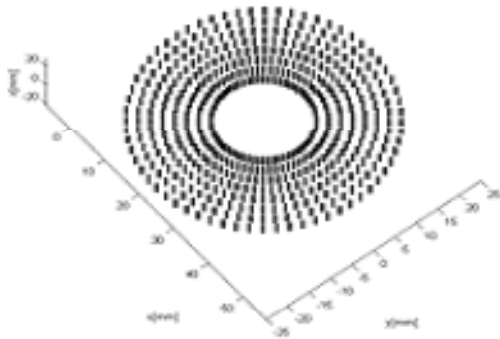
Potentialul transmembrantar calculat cu modelul Hodgkin-Huxley

E_{Na}	Sodium·Nerst·potential	50·mV
E_K	Potassium·Nerst·potential	-77·mV
E_S	Leakage·Nerst·potential	-54.387·mV
g_{Na}	Sodium·conductance	120·m Ω /·cm ²
g_K	Potassium·conductance	36·m Ω /·cm ²
g_S	Leakage·conductance	0.3·m Ω /·cm ²
C_m	Membrane·capacitance	1· μ F/·cm ²
R_i	Resistivity·of·axoplasm	0.0354·k Ω ·cm
a	Fiber·radius	0.0238·cm

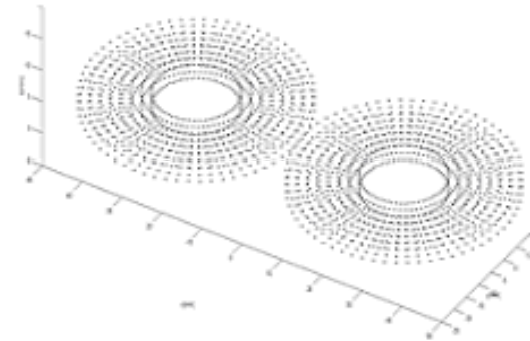
$$V_r = -65\text{mV}$$

Bobinele de stimulare

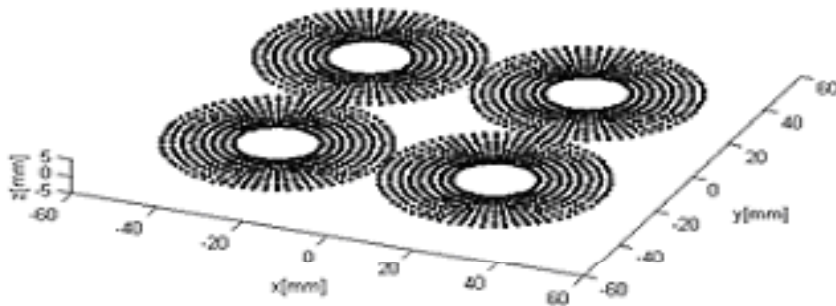
Parametri circuitului de stimulare: $C=200 \mu\text{F}$, $R=1 \Omega$



Bobina circulara: 32 spire
raza ext. = 25 mm, $L=27.9 \mu\text{H}$

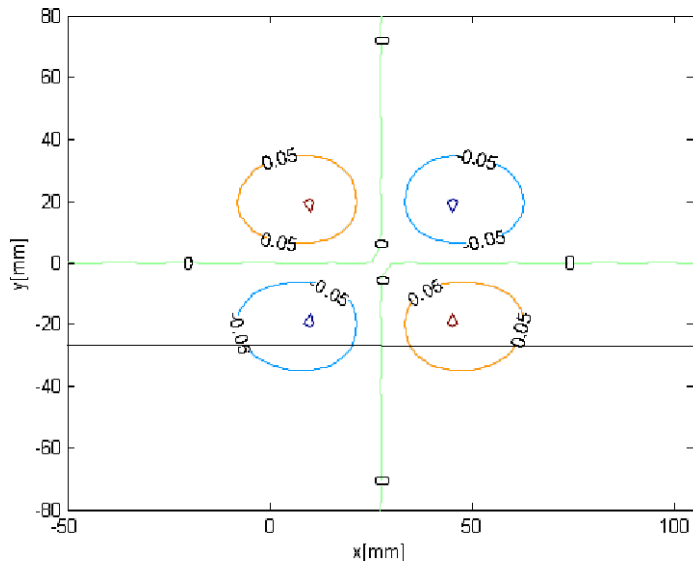


Bobina in forma de 8: nr. spire / petala 16
raza ext. = 25 mm, $L=16.7 \mu\text{H}$

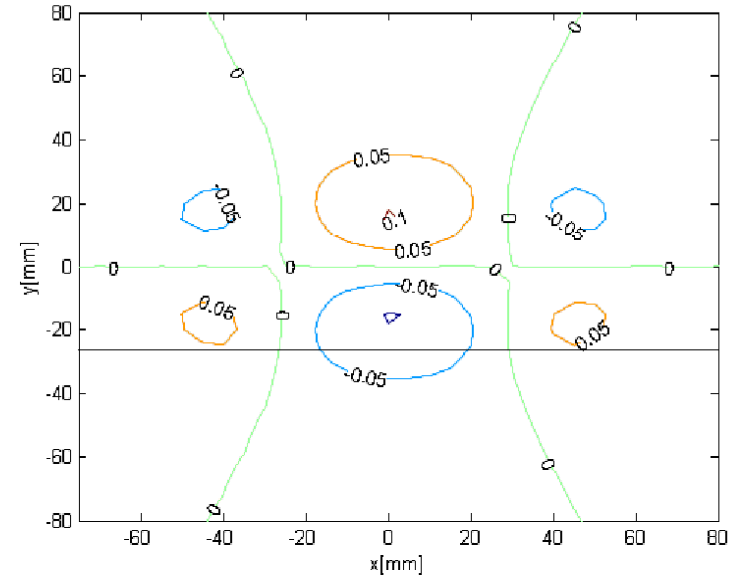


Bobina trifoi cu 4 foi: nr. spire / petala 8
raza ext = 25 mm, $L=8.9 \mu\text{H}$

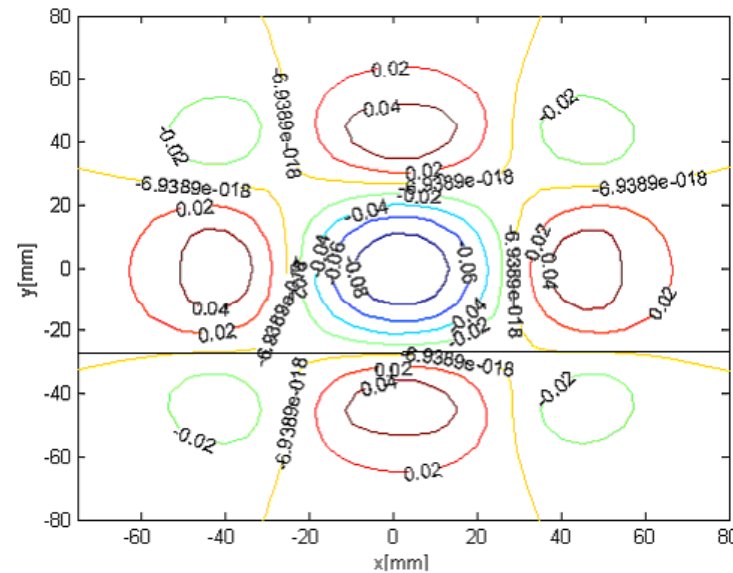
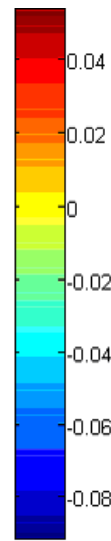
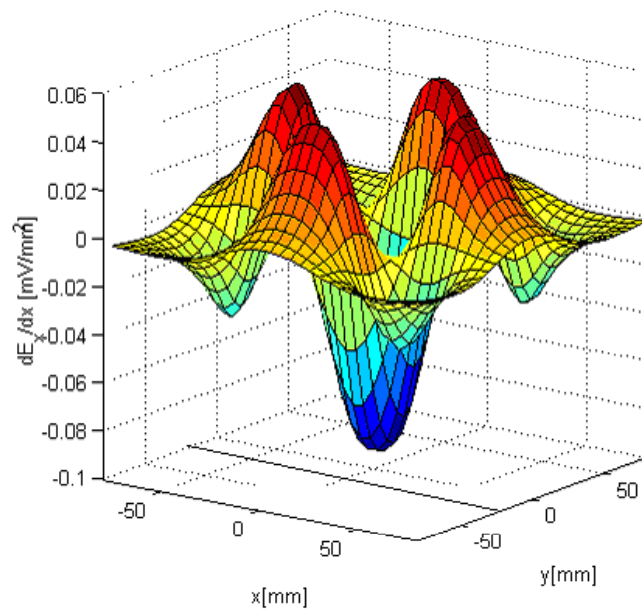
Funcțiile de activare



Bobina circulara

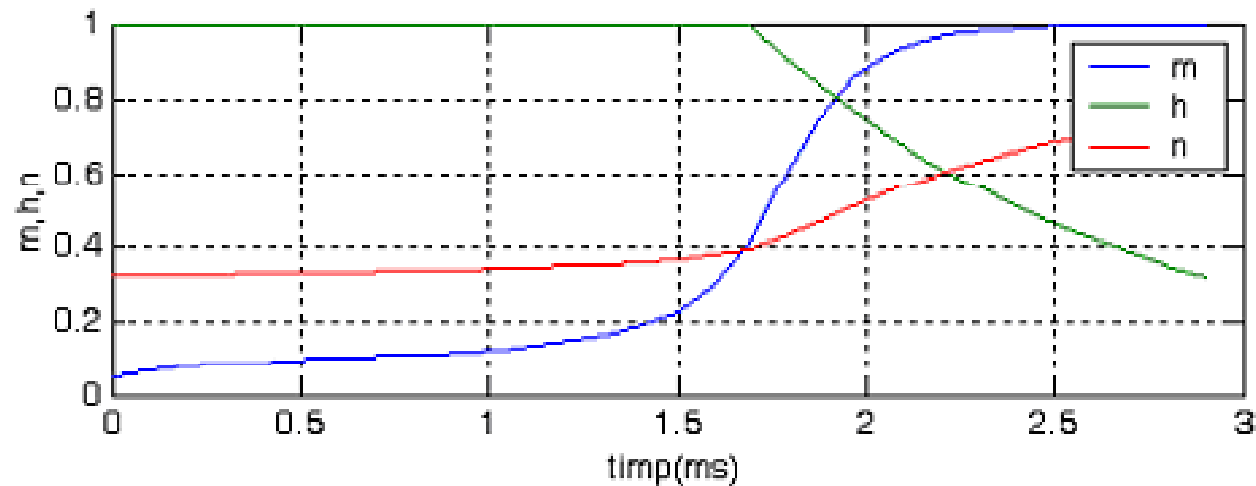
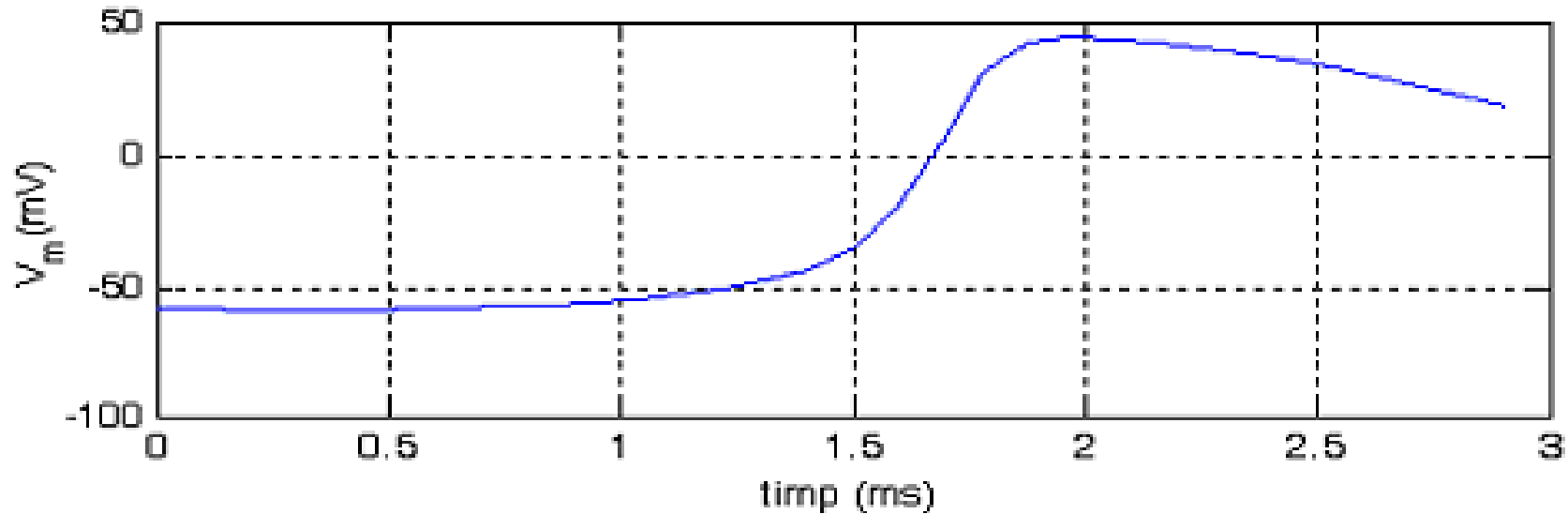


Bobina in forma de 8



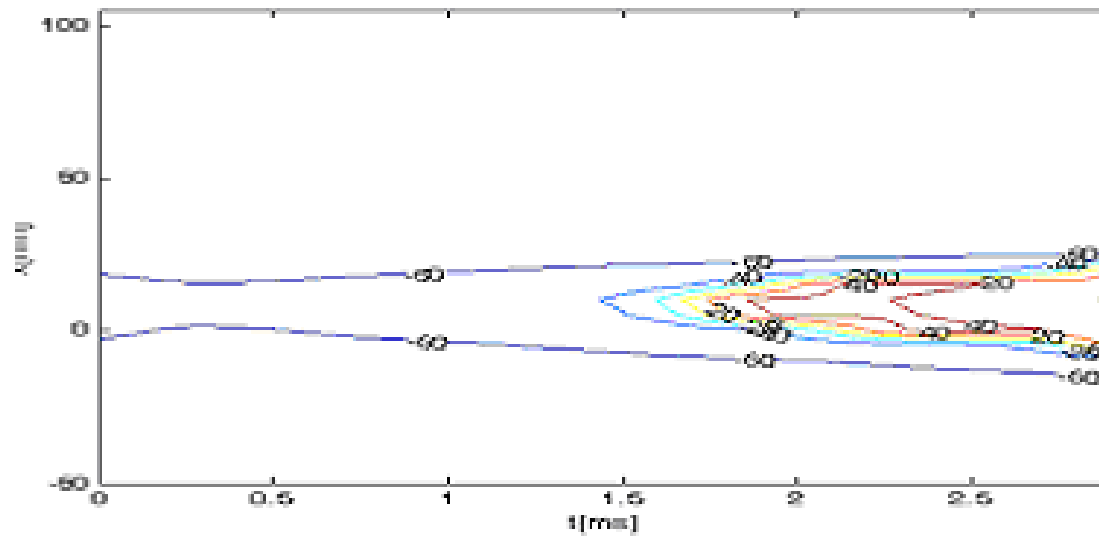
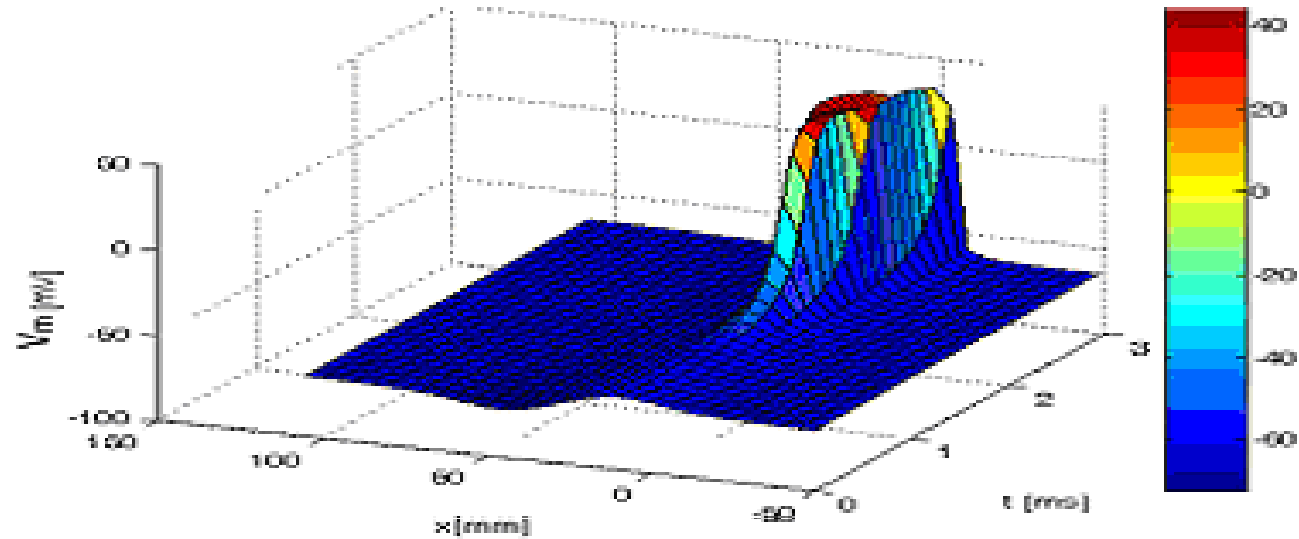
Bobina in forma de trifoi cu 4 foi

Variația în timp a potențialului transmembrantar și a celor trei parametri de activare m , n , h , pentru tensiunea de stimulare de $U_0 = 7 \text{ V}$

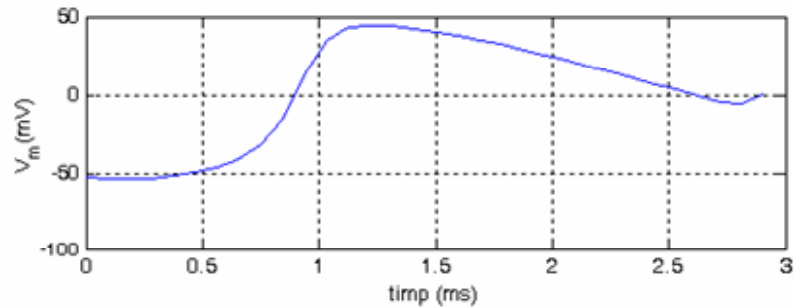


Potențialul de acțiune ca funcție de spațiu și timp

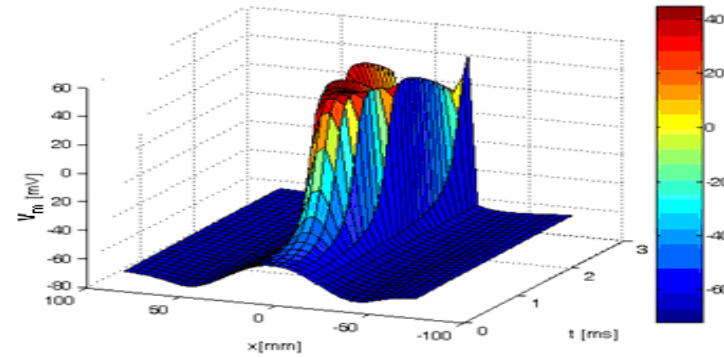
Bobina circulară



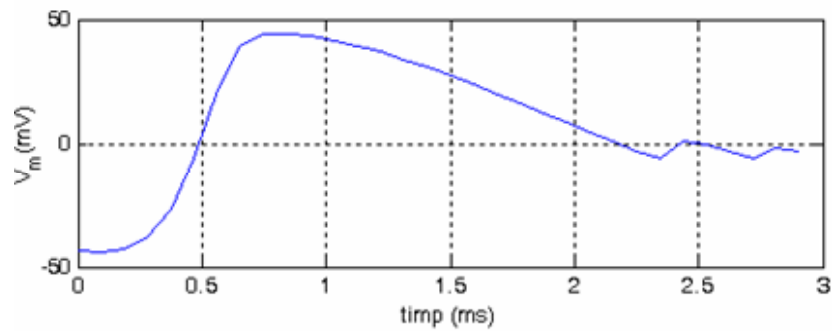
Potențialul de acțiune ca funcție de spațiu și timp



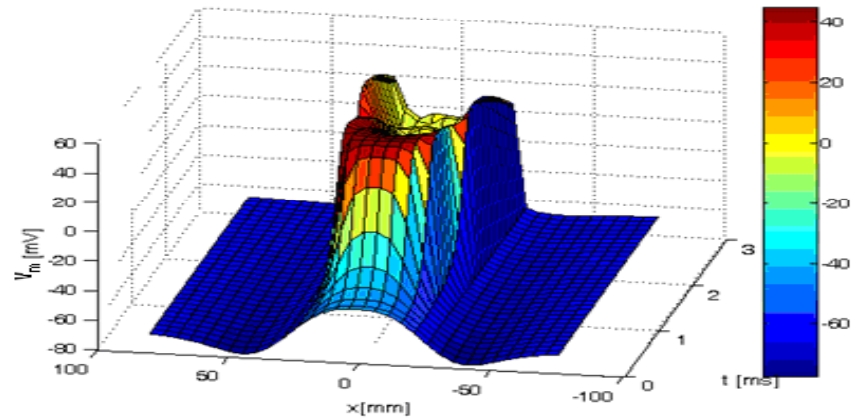
a)



a)



b)

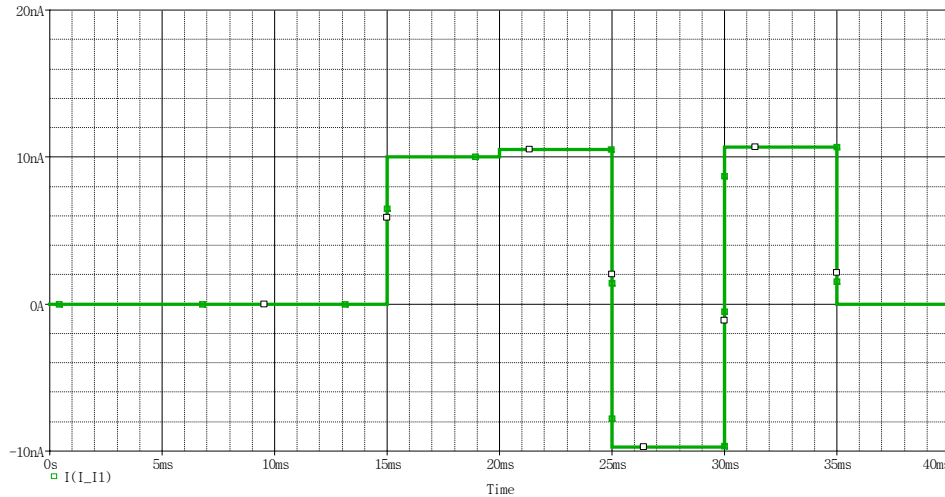


b)

a) Bobina in forma de 8

b) Bobina trifoi cu 4 foi

Simularea fibrei cu un tren de impulsuri



Trenul de impulsuri folosit pentru stimulare

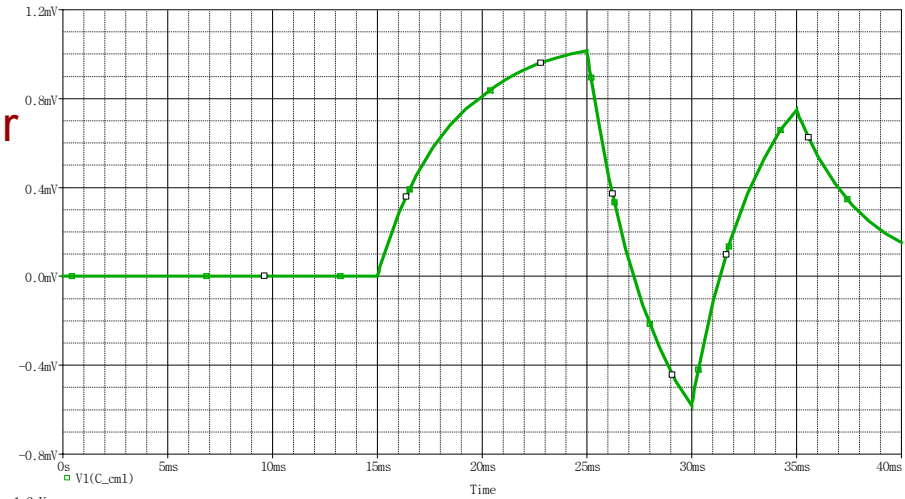
- trei impulsuri excitatoare
- un impuls inhibitor
- impulsurile au durate egale, dar amplitudini diferite

Puls	Amplitudine	Durată
Puls excitator E1	10nA	5ms
Puls excitator E2	10.5nA	5ms
Puls inhibitor I	- 9.7nA	5ms
Puls excitator E4	10.7nA	5ms

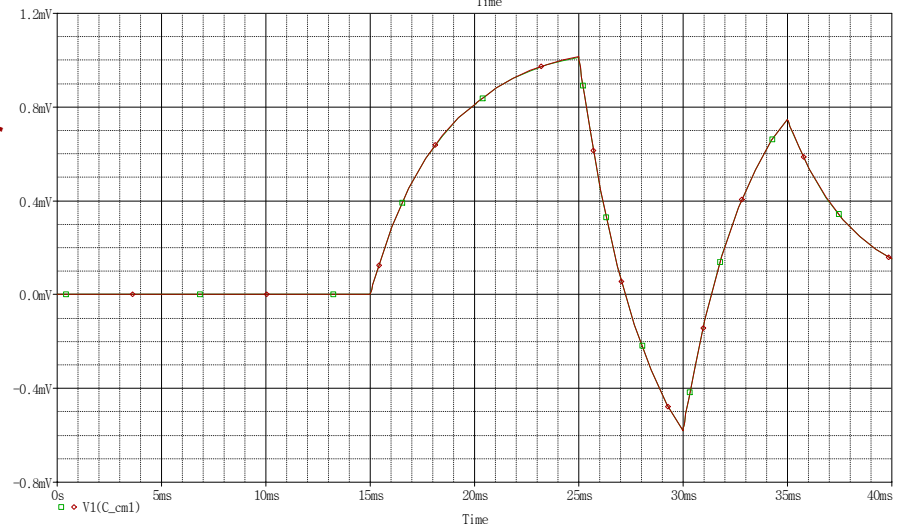
Regim tranzitoriu: $\tau = 40$ ms; $t = 0.004$ ms

Rezultate

Variația potențialului transmembrantar
în timp simulată
cu ajutorul programului PSPICE

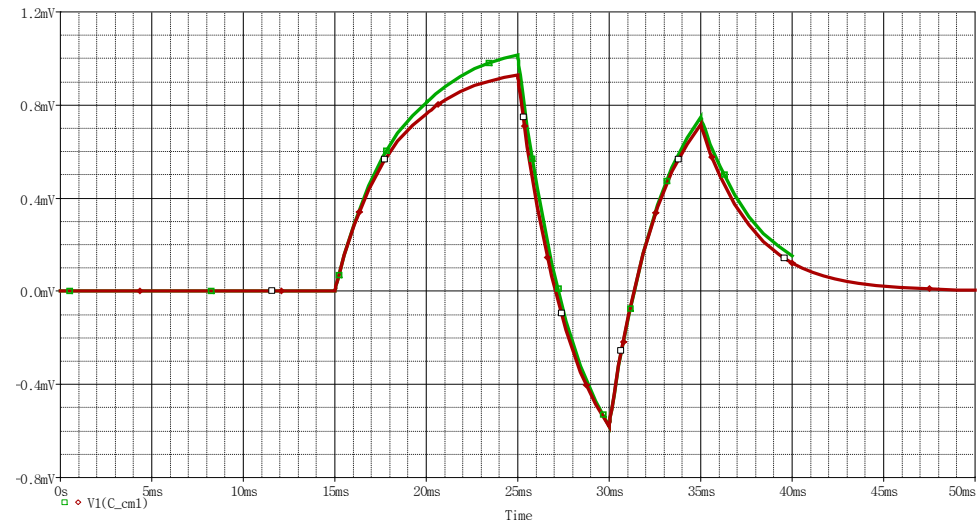


Variația potențialului transmembrantar
în timp la variația
rezistențelor intra- și extracelulare

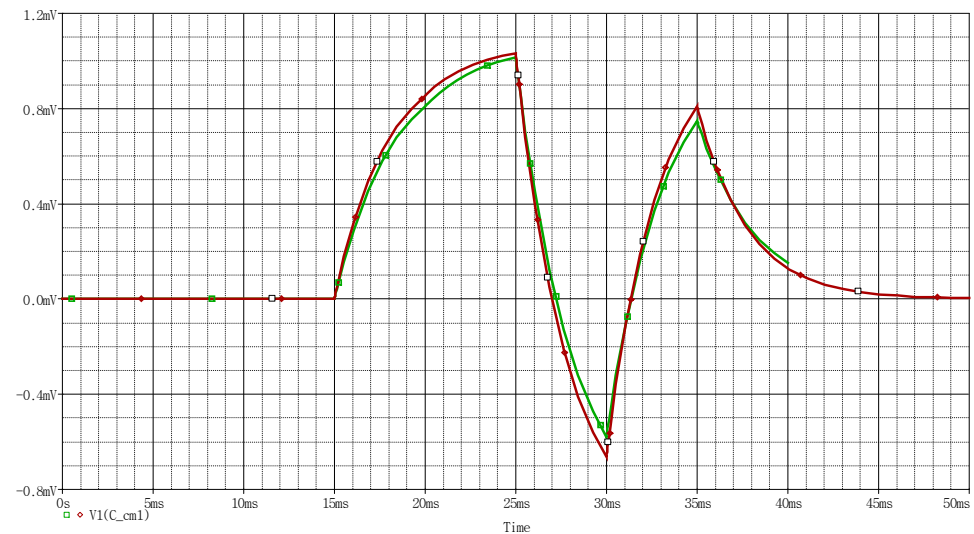


Rezultate

Variația în timp a potențialului transmembranar la variația rezistenței transmembranare



Variația în timp a potențialului transmembranar la variația capacității transmembranare



Controlul pozitiei bobinei de stimulare

