

С.С. Свістельник, аспір.  
Житомирський інженерно-технологічний інститут

## РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ІНДУКТОРА МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ЗАГАЛЬНОГО ВПЛИВУ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ

(Представлено д.т.н., проф. Б.Б. Самотокіним)

*Розглянуто методика та деякі особливості розрахунків параметрів індуктора магнітотерапевтичної установки загального впливу на організм людини.*

Індуктор, що розглядається, є складовою частиною магнітотерапевтичної установки загального впливу на організм людини, що розробляється в даний час на кафедрі автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту [1]. Установка складається з електронної частини, що є блоком керування, та індуктора. Індуктор має секційну структуру та в даному варіанті виконання складається з чотирьох однакових багатопарових котушок, що знаходяться на одній осі обертання.

Завдяки наявності в складі електронної частини генератора керуючих імпульсів та реєстру зсуву сигналу, що забезпечує послідовне переключення котушок, було отримано скануючу систему, дія якої полягає у впливі на організм людини електромагнітних полів, що змінюються з частотами, характерними для біоритмів здорової людини, та амплітудою, що має один порядок з постійною складовою гіномагнітного поля Землі [2]. Установка має декілька режимів роботи, основним з яких є режим так званого "поля, що біжить".

Основним завданням при конструюванні індуктора магнітотерапевтичної установки є підбір та розрахунок основних електричних та геометричних параметрів котушок, що входять до складу індуктора, які б забезпечували виконання завдань, поставлених перед установкою. Розрахунок цих параметрів проводився на основі даних, отриманих при конструюванні діючого макета цієї установки.

Геометричні параметри (діаметр, довжина, товщина шару обмотки тощо) кожної котушки обираються за умови забезпечення необхідних та допустимих параметрів роботи приладу.

Розрахунок кожної з котушок проводимо за методикою, що викладена в [3]. Початковими даними для розрахунку є:

- а) геометричні параметри котушки, які обрані з урахуванням застосування даного приладу:
- довжина котушки  $L$ , см;
  - товщина обмотки  $T$ , см, що задається довільно та корегується в процесі розрахунків в залежності від отриманої кількості шарів обмотки;
  - внутрішній радіус котушки  $R_1$ , см;
  - відстань від торця котушки до точки заміру магнітної індукції в аксіальному напрямку  $X$ , см;
  - відстань від осі симетрії котушки до точки заміру магнітної індукції в радіальному напрямку  $P$ , см;
- б) геометричні та фізичні параметри дроту обмотки:
- діаметр дроту обмотки  $d$ , мм, обирається довільно та має величину, визначену стандартами;
  - радіальний  $l_1$  та аксіальний  $l_2$  коефіцієнти заповнення котушки обмоткою. Ці коефіцієнти є відношенням розрахункової кількості витків котушки в радіальному та аксіальному напрямках до дійсних значень кількості витків. Значення цих коефіцієнтів може знаходитись в межах 0,7...1,5 в залежності від технології намотування котушки та товщини дроту;
  - питомий опір матеріалу  $\rho$ , Ом/м.

Вищевказані параметри необхідні для знаходження опору  $R_c$  та індуктивності  $L_c$  кожної котушки. В свою чергу ці параметри є необхідними для визначення граничної допустимої частоти слідування імпульсів [3]:

$$f_i \leq \frac{R_c}{(4...5)L_c} \tag{1}$$

Якщо ж реальна частота буде перевищувати значення, що визначається виразом (1), то в цьому випадку імпульс струму, що буде надходити до кожної з котушок, не буде встигати досягати свого максимального значення. Діапазон частот слідування імпульсів визначається параметрами RC-кола, що входить до складу генератора імпульсів [1].

Після знаходження параметрів індуктора необхідно визначити залежність електромагнітної індукції поля, що створюється однією з котушок, від її геометричних параметрів – середнього діаметра обмотки, товщини обмотки, довжини котушки тощо. Згідно з [3] радіальна та аксіальна складові електромагнітної індукції можуть бути знайдені за такими формулами:

– радіальна складова електромагнітної індукції:

$$B_p = 2jR \times \left\{ \int_0^\pi \sqrt{p^2 + p_n^2 - 2pp_n \cos \alpha + (x - x_n)^2} \times \cos \alpha d\alpha + p \int_0^\pi \cos^2 \alpha \times \operatorname{Arsh} \frac{p_n - p \cos \alpha}{\sqrt{(x - x_n)^2 + p^2 \sin^2 \alpha}} d\alpha \right\} \Big|_{-l-\frac{t}{2}}^{0+\frac{t}{2}} \tag{2}$$

– аксіальна складова електромагнітної індукції:

$$B_x = 2jR(x - x_n) \times \left\{ \int_0^\pi \operatorname{Arsh} \frac{p_n - p \cos \alpha}{\sqrt{(x - x_n)^2 + p^2 \sin^2 \alpha}} d\alpha + p_n p^2 \times \int_0^\pi \frac{\sin^2 \alpha d\alpha}{(p^2 + p_n^2 - 2pp_n \cos \alpha) \sqrt{p^2 + p_n^2 - 2pp_n \cos \alpha + (x - x_n)^2}} + \frac{p}{|x - x_n|} \int_0^\pi \sin \alpha \times \operatorname{arctg} \frac{|x - x_n|(p_n - p \cdot \cos \alpha)}{p \sqrt{p^2 p_n^2 - 2pp_n \cos \alpha + (x - x_n)^2 \sin \alpha}} d\alpha \right\} \Big|_{-l-\frac{t}{2}}^{0+\frac{t}{2}} \tag{3}$$

де  $\alpha = \frac{2+t}{2-t}$ ,  $j$  – щільність струму,  $\frac{A}{\text{мм}^2}$ .

Формули для радіальної та аксіальної складових електромагнітної індукції отримані в результаті розв'язку потрібного інтеграла, в якому  $x_n$  змінювалося від  $-l$  до  $0$ , а  $p_n$  – від  $1 - \frac{t}{2}$  до  $1 + \frac{t}{2}$ , де  $l$  та  $t$  – нормовані величини, що характеризують довжину та товщину обмотки кожної котушки відповідно. Електромагнітну індукцію знаходять в точці  $M(X; P)$ .

Для визначення основних властивостей залежності електромагнітних параметрів котушки від її геометричних параметрів необхідно знайти вираз для значення електромагнітної індукції в

геометричному центрі кожної котушки, тобто в точці  $M$  з координатами  $\left(-\frac{L}{2}; 0\right)$  (початок відліку обирається на правому торці котушки), де електромагнітна індукція має максимальне значення на осі котушки. Цей вираз має такий вигляд [1]:

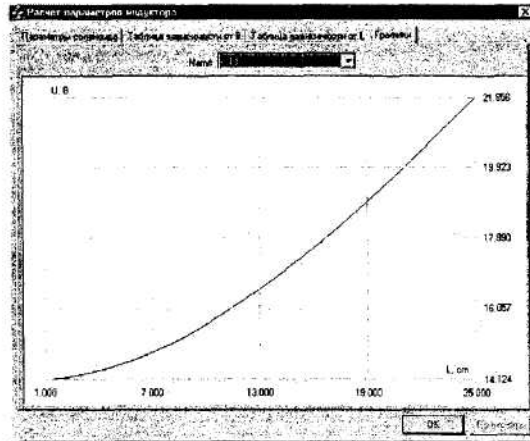
$$B_x = -\frac{2LU_{KC}\pi}{R_c S} \times \ln \left[ \left( -\frac{D+T}{L} + \sqrt{\left(-\frac{D+T}{L}\right)^2 + 1} \right) \times \left( \frac{D-T}{L} + \sqrt{\left(\frac{D-T}{L}\right)^2 + 1} \right) \right], \tag{4}$$

де  $D$  – середній діаметр котушки, см:  $D = 2 \cdot R$ ;  $U_{KC}$  – напруги живлення індуктора;  $S$  – площа поперечного перетину дроту обмотки котушки,  $\text{мм}^2$ .

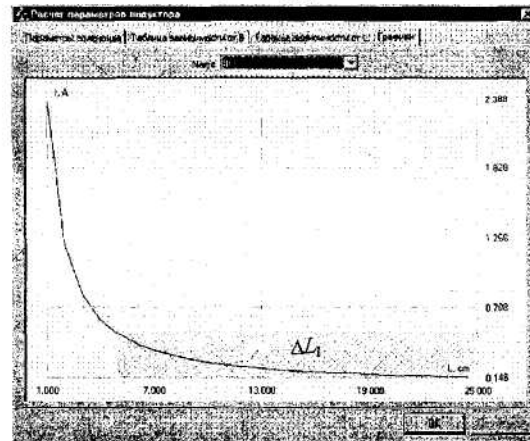
На вибір геометричних параметрів котушки (довжини котушки  $L$  та товщини обмотки  $T$ ) накладають обмеження необхідні та допустимі електромагнітні параметри котушки:

- необхідна електромагнітна індукція в робочій зоні котушок  $B_x$ , мТл (обирається з урахуванням вимог до приладу);
- допустима щільність струму в обмотці котушки  $j$ ,  $\frac{A}{\text{мм}^2}$ ;
- допустимий струм в обмотці котушки  $I$  (в магнітотерапевтичних приладах не рекомендується використовувати струм більший за 0,5 А).

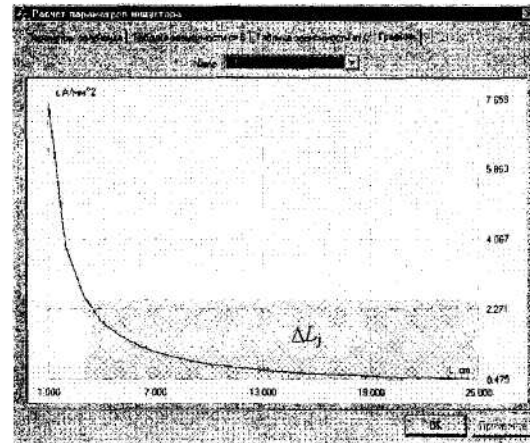
З (4) видно, що величина електромагнітної індукції  $B_x$  більшою мірою залежить від довжини котушки  $L$ , ніж від товщини обмотки  $T$ , тому що  $T \ll D$ . Величина  $T$  впливає на значення щільності струму в обмотці індуктора. Збільшення значення  $T$  призводить до незначного зменшення щільності струму  $j$ . Обмеження на величину товщини обмотки котушки накладає допустиме значення струму в обмотці. На рис. 1 зображені графіки залежності електричних параметрів котушки від її довжини при фіксованому значенні електромагнітної індукції в геометричному центрі, а також вказані допустимі діапазони довжини котушки відповідно до вищевказаних електричних параметрів.



а) напруга



б) струм в обмотках індуктора



в) щільність струму в обмотках індуктора

Рис. 1. Залежність електричних параметрів котушки від її довжини

Як видно з рис. 1, діапазони допустимої величини довжини котушки мають перекриття, тому довжину котушки обираємо з найменшого діапазону, що відповідає  $\Delta L_T$  (згідно з (4) це буде справедливим для будь-якого значення індукції поля, тому що вона залежить безпосередньо тільки від напруги живлення індуктора, в той час, коли від величини  $L$  залежить тільки значення коефіцієнта пропорційності у функції  $B_x(U_{KC})$ ). Хоча збільшення довжини котушки призвело б до зменшення величини струму в обмотці та енергетичним затратам в цілому, але це також призвело б до необгрунтованого збільшення розміру індуктора, тому обираємо значення довжини котушки, близьке до лівої границі. Це значення довжини котушки відповідає максимально допустимому, з точки зору безпеки використання, струму в обмотці індуктора 0,5 А.

Збільшення товщини обмотки котушки  $T$  призводить також до зменшення діапазону частот, що використовуються, тому що збільшується стала часу котушки  $\tau$  завдяки збільшенню активного опору  $R_c$  та її індуктивності  $L_c$ . Звідси, згідно з виразом (1), зменшується допустима частота прямування імпульсів, що генеруються генератором імпульсів. Тому діапазон частот, що необхідно використовувати в приладі, накладає обмеження на збільшення товщини обмотки котушки. Залежність  $f_i(T)$  наведена на рис. 2.

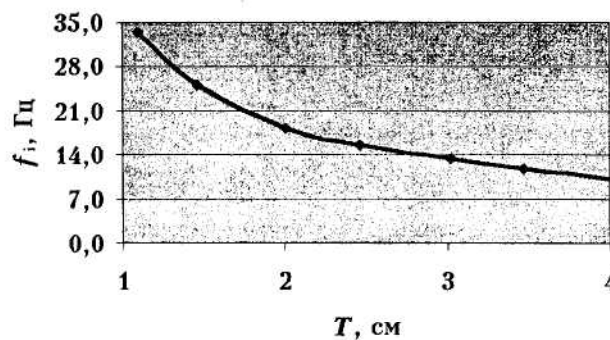


Рис. 2. Залежність допустимої частоти прямування імпульсів від товщини обмотки котушки

Таким чином, значення товщини обмотки котушки обмежується з одного боку допустимим значенням струму в обмотці, з іншого – необхідним діапазоном частот електромагнітного поля, що використовується у даному приладі.

За допомогою програмного пакета MATHCAD 8.01, аналізуючи рівняння (2) та (3), була отримана картина розподілення електромагнітного поля в робочій зоні кожної котушки.

Результати розрахунків наведені на рис. 3, де отримано тривимірне зображення залежності модуля індукції електромагнітного поля  $B$  ( $B = \sqrt{B_x^2 + B_p^2}$ ) від координати точки  $M(X, P)$  у просторі за відомих параметрів кожної з котушок.

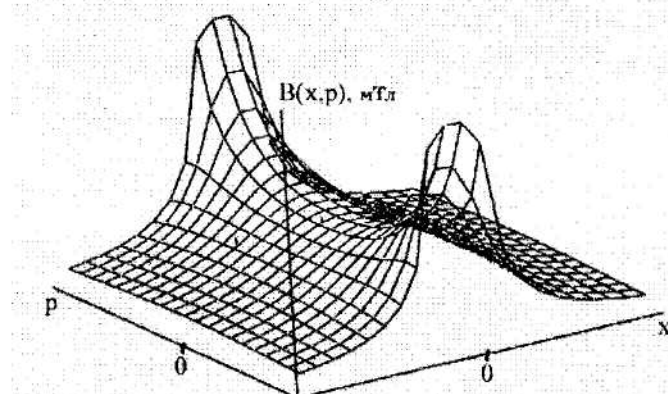


Рис. 3. Розподілення електромагнітного поля в робочій зоні кожної з котушок індуктора

В результаті розрахунків було отримано, що максимальне значення модуля електромагнітної індукції спостерігається в точці з координатами  $M(0, R_1)$ , тобто в центрі кожної з котушок індуктора на відстані  $R_1$  від осі обертання. Зміну величини електромагнітного поля в аксіальному напрямку для даного випадку наведено на рис. 4.

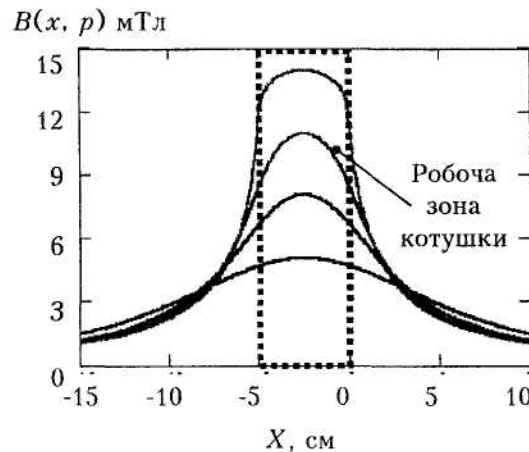


Рис. 4. Розподілення електромагнітної індукції в робочій зоні кожної котушки в аксіальному напрямку

Результати, наведені в даній статті, отримані на основі розрахунків індуктора та при аналізі роботи функціонального макета магнітотерапевтичної установки загального впливу на організм людини. За допомогою вищерозглянутої методики є можливим розрахунок геометричних параметрів будь-яких циліндричних котушок відповідно до завдань, що стоять перед конкретним приладом, тобто отримання необхідних значень амплітуди та частоти зміни електромагнітного поля, що створюється котушками індуктора. В процесі розрахунків є можливість корегування отриманих параметрів котушок для забезпечення необхідних режимів роботи, як з точки зору дотримання допустимих електричних параметрів (струму в обмотках та напруги живлення індуктора), так і з точки зору отримання необхідного електромагнітного поля в робочій зоні індуктора.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Свістельник С.С. Магнітотерапевтичний апарат загального впливу на організм людини // Вісник ЖІТІ . – 2001. – № 17 / Технічні науки. – С. 33–36.
2. Свістельник С.С. Вплив низькочастотного електромагнітного поля на нервову систему людини // Вісник ЖІТІ . – 2001. – № 18 / Технічні науки. – С. 148–149.
3. Соловьева Г. Р. Магнитотерапевтическая аппаратура. – М.: Медицина, 1991. – 174 с.

СВІСТЕЛЬНИК Сергій Сергійович – аспірант кафедри автоматизації і комп'ютеризованих технологій Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– вивчення механізму впливу електромагнітних полів на організм людини.

Подано 12.06.2002