NGHIÊN CỨU, THỬ NGHIỆM HỆ THỐNG TIÊU TỪ ỨNG DỤNG CHO TIÊU TỪ TRÊN TÀU QUÂN SỰ

Nguyễn Tuấn Hiếu, Phạm Thị Hợp*, Hà Hồng Quang, Lê Hữu Minh Tuân

Tóm tắt: *Bài báo trình bày những ảnh hưởng của từ trường lên các thiết bị tàu trong quá trình hoạt động, trên cơ sở tìm hiểu tổng quan về từ trường tác động lên tàu để xây dựng phương pháp tính toán từ trường cho thiết bị tàu quân sự. Xây dựng mô hình hệ thống đầy đủ cần thiết cho hệ thống tiêu từ trên tàu. Tập trung nghiên cứu sâu hệ thống dây tiêu từ trên tàu quân sự theo hướng tự động tạo ra các vector từ trường ngược hướng theo từng hướng để triệt tiêu lượng từ sinh ra trong quá trình vận hành, sử dụng. Từ những nghiên cứu này là cơ sở quan trọng để xây dựng hệ thống tiêu từ tự động trên tàu.*

Từ khóa: Mạng cảm biến; Đo từ trường tàu; Thiết bị tiêu từ cho tàu.

1. MỞ ĐẦU

Hiện nay việc nghiên cứu khử từ đối với các tàu quân sự mang tính thực tiễn và có ý nghĩa rất quan trọng. Việc giảm từ trường của tàu mặt nước hay tàu ngầm chính là làm giảm độ cảm ứng từ trường của nó với thủy lôi, giảm xác suất phát hiện của các chướng ngại vật dưới nước và cả đối với máy bay tuần tra trên biển. Ứng dụng của kỹ thuật hải quân để đạt được những mục đích đó gọi là tiêu từ cho tàu [6]. Giảm dấu hiệu từ trường của tàu đã hỗ trợ đắc lực trong việc hạn chế mối đe dọa từ thủy lôi khi không dùng hệ thống tàu săn tìm và rà quét thủy lôi. Trong vùng thủy lôi thả ở độ nông, giảm từ trường sẽ làm giảm mật độ hiệu quả của các loại mìn từ trường. Bên cạnh đó, các tàu hải quân đã được trang bị với hệ thống tiêu từ tiên tiến có khả năng thay đổi các đặc tính không gian và thời gian của trường điện từ và phát sinh một tín hiệu gây nhiễu tới thủy lôi. Gây nhiễu mìn là công cụ phòng chống nhằm ngăn ngừa ảnh hưởng của mìn tới một điểm quyết định nổ trong một chương trình logic đã được lập trình trước để bảo vệ tàu thuyền an toàn hơn [2, 4].

Trong bài báo này, trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết, khảo sát các hệ thống tiêu từ thực tế trên các thiết bị hiện tại mà Quân đội chúng ta đang có, bước đầu thử nghiệm hệ thống tiêu từ trong phòng thí nghiệm. Kết quả đạt được ta có thể tính toán được từ trường cảm ứng tại mỗi vị trí tàu hoạt động, là cơ sở quan trọng để xác định được độ lớn và hướng của dòng điện cung cấp cho hệ thống cuộn dây tiêu từ trên các hướng: cuộn dây mặt phẳng cơ bản nằm ngang, cuộn dây hướng mặt cắt dọc, cuộn dây hướng sườn sao cho từ trường mà hệ thống tiêu từ sinh ra có xu hướng khử từ trên từng mặt của tàu trong quá trình hoạt động.

2. NỘI DUNG

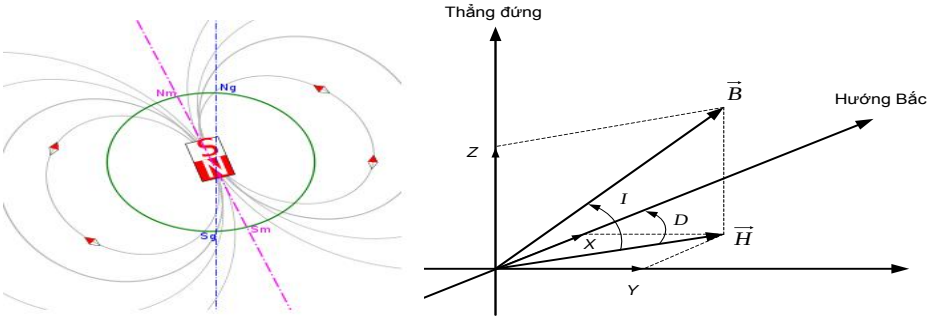
2.1. Ảnh hưởng của từ trường Trái Đất lên tàu quân sự

2.1.1. Nguồn gốc từ trường Trái Đất [5]

Từ trường chính của Trái Đất hình thành từ lõi chiếm 98%, còn có phần từ trường với nguồn gốc bên ngoài Trái Đất chiếm 2%, phần từ trường này lại hay biến đổi, là phần quan trọng gây ra những tác động đối với cơ thể sống.

Từ trường Trái Đất hình thành do 3 nguồn tạo ra: 1- Nguồn trong Trái Đất tạo ra từ trường với biến thiên từ rất chậm (biến thiên thế kỷ) gọi là từ trường chủ yếu chiếm khoảng 98%; 2- Nguồn do các khoáng vật trong vỏ Trái Đất thay đổi theo vị trí (1%); 3- Nguồn bên ngoài Trái Đất, trong khí quyển ion và từ quyển. Từ trường thay đổi trong không gian và thời gian. Tại mỗi điểm trong không gian, từ trường được đặc trưng bởi các đại lượng sau: vectơ cảm ứng từ toàn phần ($\vec{B}$) và 3 thành phần X, Y, Z trong hệ trục toạ

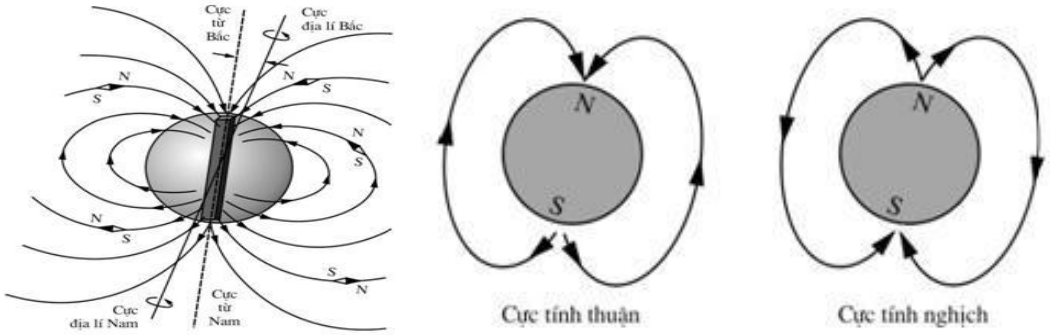
độ vuông góc với các trục tương ứng hướng về phía Bắc, Đông, tâm Trái Đất hoặc 3 yếu tố: thành phần nằm ngang của B được kí hiệu là $\vec{H}$, độ từ thiên D và độ từ khuynh I. Trên hình 1 biểu diễn từ trường trái đất. Các góc D và I được đo bằng độ. Đường đẳng từ khuynh với I = 0 là xích đạo từ, không lệch khỏi xích đạo quá 15^0; khi vĩ độ tăng thì I tăng theo và bằng 90^0 ở các cực từ. Các cực từ không trùng với các cực địa lí, không hoàn toàn đối xứng nhau qua tâm Trái Đất và cũng không cố định; cực từ bắc di chuyển về tây bắc trung bình 8 km mỗi năm, $\vec{B}$ có giá trị khoảng 25.000 nT ở xích đạo từ và tăng tới 60.000 nT ở cực từ Bắc và tới 70.000 nT ở cực từ Nam.



Hình 1. *Từ trường Trái Đất: $\vec{B}$ - Véc tơ cảm ứng từ; $\vec{H}$ - Hình chiếu của $\vec{B}$ trên mặt phẳng nằm ngang D - Độ từ thiên; I - Độ từ khuynh.*

2.1.2. Từ trường Trái Đất

Cũng như nam châm, Trái Đất có 2 cực địa từ, không trùng với 2 cực địa lý. Cực Bắc từ trường gần cực Nam Trái Đất và cực Nam từ trường gần cực Bắc Trái Đất. Trục từ trường lệch với trục địa lý Trái Đất một góc $11{,}3^0$. Các từ cực thường có vị trí không ổn định và có thể đảo ngược theo chu kỳ.



Hình 2. *Cực tính từ trường Trái Đất.*

Do đó, bản đồ địa từ cũng phải thường xuyên điều chỉnh (5 năm một lần). Việc thu thập các thông tin từ vệ tinh đã phát hiện các vành đai bức xạ bao quanh Trái Đất ở môi trường khí quyển trên cao từ 500-600 km đến 60.000- 80.000 km đó là từ quyển. Từ trường Trái Đất được thể hiện bằng các đường sức từ đi ra từ cực Bắc, đi vào cực Nam (xem hình 2). Đặc trưng cho từ trường Trái Đất tại mỗi điểm là véctơ cường độ từ trường T theo hướng tiếp tuyến của đường sức từ tại điểm đó. Ở các điểm khác nhau trên Trái Đất véctơ cường độ từ trường T có độ lớn và hướng trong không gian khác nhau. Quy ước chiều từ trường:

Để phù hợp với thói quen thì người ta quy ước Bắc bán cầu là cực Bắc địa từ và Nam bán cầu là cực Nam địa từ, vì thế, véc tơ từ trường phải ngược lại.

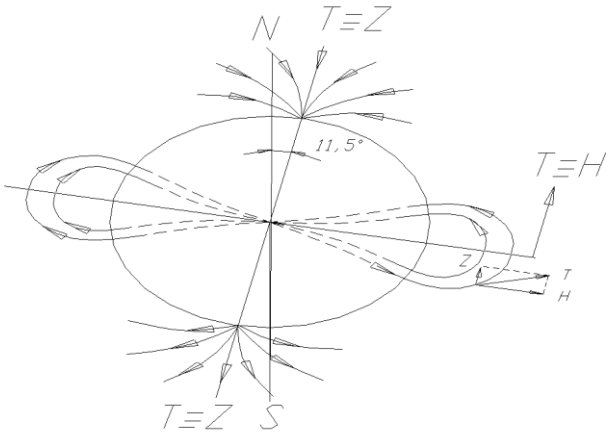
+ Từ trường hướng từ trên xuống dưới thì mang dấu dương và ngược lại thì mang dấu âm; (Từ trường thuộc về phía bắc thì mang dấu dương, ngược lại mang dấu âm.)

Với quy ước như vậy, ở bắc bán cầu (theo đường xích đạo từ) các thành phần của từ trường Trái Đất đều mang dấu dương.

Hay nói cách khác, từ trường sẽ đi từ cực Bắc đến cực Nam:

+ Tại cực Bắc (N): Từ trường mang dấu (+), tương ứng với chiều từ trường đi ra khỏi tàu.

+ Tại cực Nam (S): Từ trường mang dấu (-), tương ứng với chiều từ trường đi vào tàu.



Hình 3. *Biểu diễn các thành phần từ trường Trái Đất.*

Từ hình vẽ ta thấy, véc tơ cường độ từ trường hợp tại một điểm của từ trường là $\vec{T}$ và:

$$\vec{T} = \vec{Z} + \vec{H} \quad (1)$$

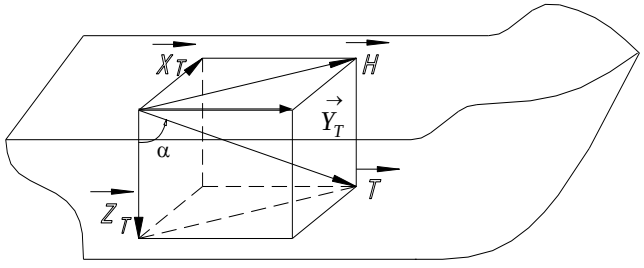
Gọi góc lệch giữa $\vec{T}$ và $\vec{H}$ là α thì : H = T.cosα và Z = T.sinα (2)

Trong đó : Z - Thành phần thẳng đứng vuông góc với mặt đất; H - Thành phần nằm ngang song song mặt đất.

Nhận xét: Ở tại các cực từ thì cường độ từ trường là lớn nhất và T ≡ Z có giá trị là 0,68G (H = 0). Ở tại đường xích đạo thì cường độ từ trường là yếu nhất và T ≡ H có gía trị là 0,44G (Z = 0)[6].

2.1.3. Biểu diễn toán học các thành phần từ trường tàu

Giống như từ trường Trái Đất, từ trường con tàu cũng được biểu diễn trong mặt phẳng không gian ba chiều:



Hình 4*. Từ trường tổng hợp của con tàu[2].*

$$\vec{T} = \vec{X}_T + \vec{Y}_T + \vec{Z}_T \quad (3)$$

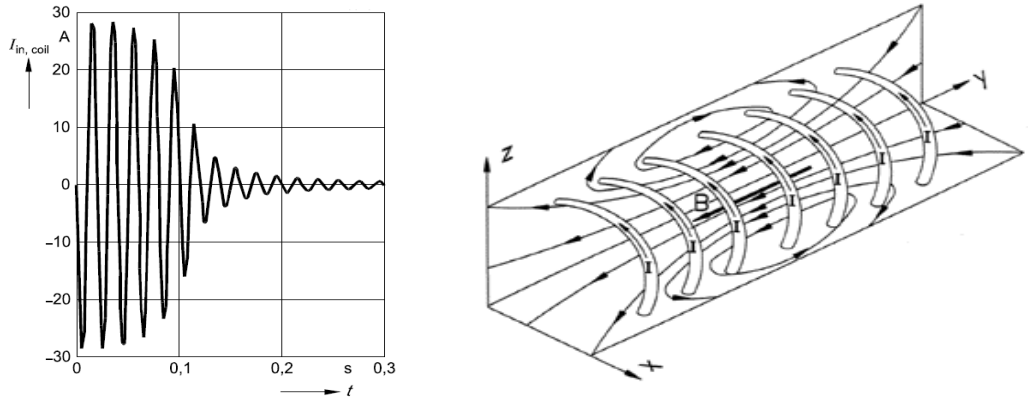
Trong đó, $\vec{T}$ là véc tơ tổng hợp của con tàu, $\vec{Z}_T$ là véc tơ từ trường tổng hợp theo phương thẳng đứng, $\vec{Y}_T$ là véc tơ từ trường tổng hợp theo phương dọc tàu, $\vec{X}_T$ là véc tơ từ trường tổng hợp theo phương ngang tàu.

Từ phân tích trên cho thấy, thành phần từ trường tổng hợp của tàu $\vec{T}$ luôn thay đổi cả về chiều, hướng và độ lớn.

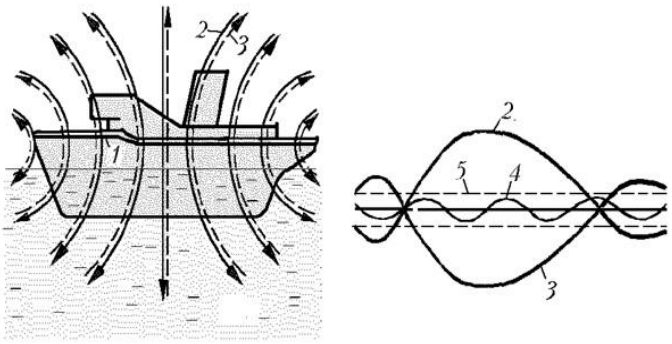
Nhưng khi biểu diễn theo phương trình số (1) ta sẽ thu được các thành phần từ trường có hướng là cố định chỉ có chiều và độ lớn thay đổi tùy thuộc vào vị trí hoạt động và hướng đi của con tàu, do đó, có thể làm căn cứ để khử từ cho tàu.

2.1.4. Cơ sở khử từ trường tác động lên tàu quân sự

Sắt thép trên tàu gồm sắt từ cứng và sắt từ mềm. Vật liệu sắt thép trên tàu bị từ hóa bởi từ trường Trái Đất tạo nên một từ trường tàu. Từ trường tàu làm thay đổi từ trường Trái Đất xung quanh con tàu. Các nhà khoa học người Anh đã nghiên cứu phát triển ngòi nổ cho thủy lôi dựa trên sự thay đổi của từ trường khi con tàu đi qua để kích nổ từ trước chiến tranh thế giới lần thứ nhất, nhưng sau này, phát xít Đức lại là người phát triển và ứng dụng thành công nhất ngòi từ trường cho thủy lôi. Phát xít Đức đã đánh đắm rất nhiều tàu của Hải quân Pháp và Hoàng gia Anh bằng thủy lôi có ngòi cảm ứng từ trường. Những thiết bị tiêu từ cho tàu được ra đời từ những nghiên cứu bảo vệ tàu khỏi thủy lôi và ngư lôi có ngòi cảm ứng từ trường của nhà khoa học А.П. Александров. Bài toán được đặt ra đối với những nhà khoa học Liên Xô lúc bấy giờ là phải bảo vệ được các tàu của hạm đội khỏi thủy lôi và ngư lôi đó, những thí nghiệm đầu tiên được thực hiện từ những năm 1936 trong phòng thí nghiệm.[6]



Hình 5. *Phương pháp sử dụng dòng xoay chiều để khử từ [4].*



1 – Cuộn dây tiêu từ cho tàu; 2 – Từ trường của tàu khi chưa có thiết bị tiêu từ; 3 – Từ trường của cuộn dây tiêu từ được tạo ra bởi dòng điện trong cuộn dây; 4 – Từ trường của tàu sau khi khử; 5 – Giới hạn cho phép của từ trường tàu.

Hình 6. *Phương pháp sử dụng dòng điện 1 chiều để tiêu từ cho tàu.*

Các nhà khoa học Liên Xô đã tiến hành rất nhiều các nghiên cứu về thành phần từ trường của tàu và các yếu tố ảnh hưởng đến từ trường tàu.

Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, để khử từ trường vĩnh cửu của tàu thì sử dụng dòng điện xoay chiều tần số cao có cường độ giảm dần theo hàm số mũ và để khử từ trường cảm ứng của tàu thì sử dụng dòng điện một chiều trong các cuộn dây tiêu từ tạo ra từ trường ngược với từ trường bị nhiễm.

Từ hai phương pháp trên đã ra đời hai dòng thiết bị tiêu từ cho tàu quân sự gồm: Trạm khử từ ở bờ và thiết bị tiêu từ đi cùng tàu.

2.2. Phương pháp khử từ trường sử dụng hệ thống cuộn dây tiêu từ

2.2.1. Tính toán từ trường Trái Đất [2]

Dữ liệu về từ trường Trái Đất là dữ liệu rất quan trọng để đảm bảo cho thiết bị tiêu từ hoạt động hiệu quả. Cho nên chúng ta phải nghiên cứu phương pháp tính toán từ trường Trái Đất cho thiết bị tiêu từ.

Để phân tích và tính toán từ trường Trái Đất hiện nay đang sử dụng phương pháp phân tích điều hòa cầu và phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu. Phương pháp phân tích điều hòa cầu được Gauss đưa ra năm 1893, đây là một phương pháp rất phổ biến để mô hình hoá từ trường trên toàn cầu. Theo Gauss, nghiệm của phương trình Laplace trong hệ tọa độ cầu đối với biểu thức của từ trường nguồn bên trong Trái Đất được viết dưới dạng chuỗi [2]:

$$V(r,\theta,\phi) = R_E \sum_{n=1}^{n_{\max}} \sum_{m=0}^{n} \left(\frac{R_E}{r}\right)^{n+1} \left(g_n^m \cos(m\phi) + h_n^m \sin(m\phi)\right) P_n^m(\cos\theta) \qquad (4)$$

trong đó, R_E là bán kính Trái Đất, $P_n^m(\cos\theta)$ là đa thức Legendre liên kết hạng m bậc n (n, m là nguyên), θ là phần phụ vĩ độ. Giá trị V trong biểu diễn (4) phải liên tục, nghĩa là V và đạo hàm của nó phải có cùng giá trị khi φ=0 và φ=2π, và là các hệ số Gauss đơn vị là nT. Khi biết giá trị các hệ số hài điều hòa cầu tính được giá trị các thành phần của trường từ tại mọi điểm quan sát có tọa độ (θ,φ). Hiện nay, để tính từ trường tại một điểm bất kỳ có một số mô hình tính từ trường toàn cầu phổ biến là: mô hình IGRF, mô hình WMM, mô hình POMME… Đề tài sử dụng mô hình IGRF với hài điều hòa bậc $n_{\max} = 12$.

Khi mô hình hoá trường từ của một khu vực nhỏ, với chuỗi số liệu dùng để nghịch đảo chỉ tập trung tại một vùng nhỏ, việc áp dụng phương pháp điều hòa cầu sẽ rất khó khăn và nghiệm sẽ không hội tụ và hơn nữa để nghiên cứu chi tiết hơn cho một khu vực đòi hỏi phải mô hình hóa một phần trường từ của lớp vỏ Trái Đất nghĩa là cần quan tâm đến sóng có bước sóng nhỏ hơn thì phương pháp điều hòa cầu không đáp ứng được. Để khắc phục những nhược điểm này, Haines đã đưa ra một phương pháp giải phương trình Laplace trên một chỏm cầu là một vùng nhỏ trên bề mặt Trái Đất và ngày nay được gọi là phương pháp phân tích điều hoà chỏm cầu.

Điều kiện biên của phương pháp phân tích điều hòa chỏm cầu cũng tương tự phương pháp điều hòa cầu ngoại trừ giới hạn góc θ chỉ trong phạm vi chỏm cầu θ. Nghiệm của phương trình Laplace trên một chỏm cầu là:

$$V(r,\theta,\phi) = R_E \sum_{k=0}^{K_{\max}} \sum_{m=0}^{k} \left(\frac{R_E}{r}\right)^{n_k(m)+1} \left(g_n^m \cos(m\phi) + h_n^m \sin(m\phi)\right) P_{n_k(m)}^m(\cos\theta) \qquad (5)$$

với g_n^m, h_n^m là các hệ số phân tích điều hoà chỏm cầu (đơn vị là nT) và được xác định bằng nghịch đảo số liệu trong khu vực, $P_{n_k(m)}^m(\cos\theta)$ là hàm Legendre liên kết loại một có hạng

m nguyên còn bậc $n_k(m)$ không nguyên. Tham số $n_k(m)$ phụ thuộc vào m, k và $K_{\max}$ ($K_{\max}$ là bậc cực đại để khai triển chuỗi). Điều kiện biên theo φ và r của V trên một chỏm cầu tương tự như trên toàn bộ mặt cầu, và được biểu diễn như sau:

$$V_n^m(r,\theta,\phi) = V_n^m(r,\theta,\phi+2\pi) \tag{6}$$

$$\frac{\partial V_n^m(r,\theta,\phi)}{\partial\theta} = \frac{\partial V_n^m(r,\theta,\phi+2\pi)}{\partial\theta} \tag{7}$$

$$\lim_{r\to\infty} V_n^m(r,\theta,\phi) = 0 \tag{8}$$

Như vậy, sự khác nhau quan trọng giữa phân tích điều hòa cầu và phân tích điều hòa chỏm cầu là hàm Legendre liên kết. Theo phương pháp phân tích điều hòa cầu, trên toàn bộ mặt cầu và đạo hàm của biểu thức bằng không tại vùng cực $(\theta=0,\theta=\pi)$ khi n, m nguyên:

$$V_n^m(r,(\theta=0,\pi),\phi) = 0 \quad \text{với } m\neq 0 \tag{9}$$

$$\frac{\partial V_n^m(r,(\theta=0,\pi),\phi)}{\partial\theta} = 0 \text{ với } m=0 \tag{10}$$

Khi tính toán chỉ trong một khu vực giới hạn bởi một góc chỏm cầu θ_0 (một nửa góc chỏm cầu) hay với $\theta\neq 0,\pi$ thì V tại θ_0 và đạo hàm của nó theo θ phải thoả mãn điều kiện sau:

$$V(r,\theta_0,\phi) = f(r,\phi) \tag{11}$$

$$\frac{\partial V(r,\theta_0,\phi)}{\partial\theta} = g(r,\phi) \tag{12}$$

với $f(r,\phi), g(r,\phi)$ là hai hàm bất kỳ thoả mãn điều kiện hàm và đạo hàm của nó phụ thuộc vào r và θ tương tự V và đạo hàm ∂V/∂θ. Trong trường hợp này, điều kiện biên theo θ của (10) sẽ thoả mãn khi chọn các giá trị m bất kỳ và với $n_k(m)$ sao cho:

$$\frac{\partial V_n^m(r,\theta_0,\phi)}{\partial\theta} = 0 \qquad \text{hay} \quad \frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos\theta_0)}{d\theta} = 0 \tag{13}$$

Trong đó, điều kiện (10) với các giá trị $n_k(m)$ sao cho

$$V_{n_k(m)}^m(r,\theta_0,\phi) = 0 \text{ hay} \quad \frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos\theta_0)}{d\theta} = 0 \tag{14}$$

Như vậy, với các giá trị thực khác nhau của n phụ thuộc vào m được biểu diễn bởi $n_k(m)$ và được xác định như là nghiệm của phương trình:

$$\frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos\theta_0)}{d\theta} = 0 \quad \text{khi (k-m) chẵn} \tag{15}$$

$$P_{n_k(m)}^m(\cos\theta_0) = 0 \quad \text{khi (k-m) lẻ} \tag{16}$$

Với mỗi giá trị của m cho ta hai chuỗi giá trị của $n_k(m)$ khi (k-m) chẵn thì nghiệm của (15) được xác định, ngược lại với (k-m) là lẻ thì nghiệm của (16) được xác định. Khi đó được thay thế bởi hai hàm cơ bản vô hạn cho hai trường trên và hai hàm này trực giao trên chỏm cầu. Giống như trong trường hợp phân tích điều hòa cầu thông thường, hàm $P_{n_k(m)}^m\cos\theta$ thỏa mãn điều kiện trực giao:

$$\int_0^{\theta_0} P_{n_j}^m(\cos\theta) P_{n_k(m)}^m(\cos\theta)\sin\theta d\theta = 0 \tag{17}$$

với j≠k, khi cả (j-m) và (k-m) là chẵn hay lẻ.

Khi (j-m) chẵn và (k-m) lẻ chúng ta có:

$$\int_0^{\theta_0} P_{n_j}^m(\cos\theta) P_{n_k(m)}^m(\cos\theta)\sin\theta d\theta = -\frac{\sin\theta_0}{(n_k - n_j)(n_k + n_j + 1)} P_{n_k}^m(\cos\theta_0)\frac{dP_{n_k}^m(\cos\theta_0)}{d\theta} \tag{18}$$

trong đó, n_j là viết tắt của $n_j(m)$ và n_k là $n_k(m)$.

Đối với k-m là chẵn ta có:

$$\int_0^{\theta_0}\left[P_{n_k}^m(\cos\theta)\right]^2\sin\theta d\theta = \frac{\sin\theta_0}{2n_k+1} P_{n_k}^m(\cos\theta_0)\frac{\partial}{\partial n}\frac{P_{n_k}^m(\cos\theta_0)}{d\theta} \tag{19}$$

Và đối với k-m là lẻ:

$$\int_0^{\theta_0}\left[P_{n_k}^m(\cos\theta)\right]^2\sin\theta d\theta = \frac{\sin\theta_0}{2n_k+1}\frac{dP_{n_k}^m(\cos\theta_0)}{d\theta}\frac{\partial}{\partial n} P_{n_k}^m(\cos\theta_0) \tag{20}$$

2.2.2. Tính các thành phần của trường từ Trái Đất

Tương tự như trong phương pháp phân tích điều hoà cầu, khi kể tới cả phần trường có nguồn gốc bên ngoài Trái Đất, thì biểu thức thế có dạng gây ra như sau:

$$\begin{aligned} V(r,\theta,\phi) = {} & R_E\sum_{k=0}^{K_{\text{int}}}\sum_{m=0}^{k}\left(\frac{R_E}{r}\right)^{n_k(m)+1} P_{n_k(m)}^m(\cos\theta)\left(g_k^{mi}\cos(m\phi) + h_k^{mi}\sin(m\phi)\right) \\ & + R_E\sum_{k=1}^{K_{ext}}\sum_{m=0}^{k}\left(\frac{r}{R_E}\right)^{n_k(m)} P_{n_k(m)}^m(\cos\theta)\left(g_k^{me}\cos(m\phi) + h_k^{me}\sin(m\phi)\right) \end{aligned} \tag{21}$$

Trong biểu diễn trên chuỗi thứ nhất ứng với phần trường nguồn gốc bên trong, số thứ hai ứng với phần trường có nguồn gốc bên ngoài, nghĩa là K_{int} là bậc khai triển của thế ứng với nguồn bên trong và K_{ext} là bậc khai triển của thế ứng với nguồn bên ngoài. Các thành phần của trường từ được xác định từ biểu thức V qua các đạo hàm tương ứng. Thành phần bắc X, đông Y và thành phần thẳng đứng Z, thành phần nằm ngang H được xác định như sau:

$$\begin{aligned} X = {} & -\frac{1}{r}\frac{\partial V(r,\theta,\phi)}{\partial\theta} = R_E\sum_{k=1}^{K_{\text{int}}}\sum_{m=0}^{k}\left(\frac{R_E}{r}\right)^{n_k(m)+2}\frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos\theta)}{d\theta}\left(g_k^{mi}\cos(m\phi) + h_k^{mi}\sin(m\phi)\right) \\ & + R_E\sum_{k=1}^{K_{ext}}\sum_{m=1}^{k}\left(\frac{r}{R_E}\right)^{n_k(m)-1}\frac{dP_{n_k(m)}^m(\cos\theta)}{d\theta}\left(g_k^{me}\cos(m\phi) + h_k^{me}\sin(m\phi)\right) \end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned} Y = {} & \frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial V(r,\theta,\phi)}{\partial\theta} = R_E\sum_{k=1}^{K_{\text{int}}}\sum_{m=0}^{k}\left(\frac{R_E}{r}\right)^{n_k(m)+2}\frac{mP_{n_k(m)}^m(\cos\theta)}{\sin\theta}\left(g_k^{mi}\cos(m\phi) - h_k^{mi}\sin(m\phi)\right) \\ & + R_E\sum_{k=1}^{K_{ext}}\sum_{m=1}^{k}\left(\frac{r}{R_E}\right)^{n_k(m)-1}\frac{mP_{n_k(m)}^m(\cos\theta)}{\sin\theta}\left(g_k^{me}\cos(m\phi) - h_k^{me}\cos(m\phi)\right) \end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned} Z = {} & -\frac{\partial V(r,\theta,\phi)}{\partial r} = R_E\sum_{k=1}^{K_{\text{int}}}\sum_{m=0}^{k}(n_k(m)+1)\left(\frac{R_E}{r}\right)^{n_k(m)+2} P_{n_k(m)}^m(\cos\theta)\left(g_k^{mi}\cos(m\phi) + h_k^{mi}\sin(m\phi)\right) \\ & + R_E\sum_{k=1}^{K_{ext}}\sum_{m=1}^{k}\left(\frac{r}{R_E}\right)^{n_k(m)-1} P_{n_k(m)}^m(\cos\theta)\left(g_k^{me}\cos(m\phi) + h_k^{me}\sin(m\phi)\right) \end{aligned} \tag{24}$$

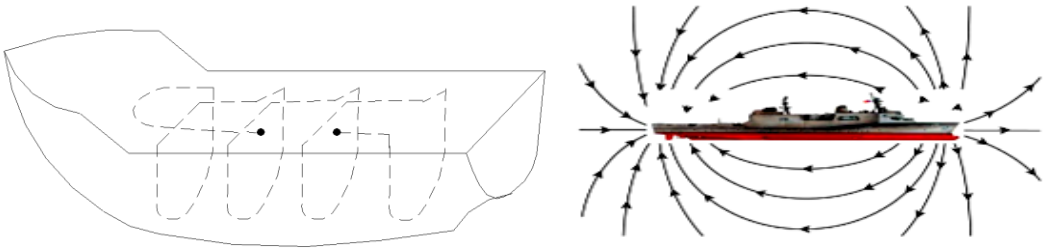
với $g_k^{mi}, h_k^{mi}, g_k^{me}, h_k^{me}$ là các hệ số khai triển chỏm cầu tương ứng với thành phần trường nguồn gốc bên trong và bên ngoài. Từ các thành phần trực giao (X, Y, Z) hoàn toàn có thể tính được các thành phần trường tổng T, độ từ thiên D và độ từ khuynh I.

2.2.3. Bố trí hệ thống cuộn dây tiêu từ khử từ trường theo từng hướng [5]

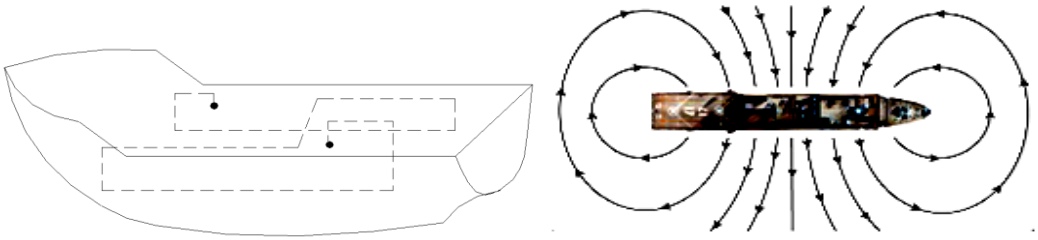
Nguyên tắc chung để khử từ trường cho tàu là cần chủ động tạo ra một từ trường có đặc điểm là cùng phương, ngược hướng và cùng độ lớn với thành phần từ trường tàu thông qua đó để triệt tiêu các thành phần từ trường $\vec{X}_T$, $\vec{Y}_T$ và $\vec{Z}_T$ của tàu. Trên cơ sở xác định bản chất việc nhiễm từ và đặc điểm các loại từ trường của tàu để áp dụng tổng hợp các biện pháp tiêu từ cho tàu đạt hiệu quả cao nhất.

Để loại bỏ hoàn toàn từ trường con tàu ta phải sử dụng cả hai phương pháp khử từ trường vĩnh cửu và khử từ trường cảm ứng. Trong đó, phương pháp khử từ trường vĩnh cửu được thực hiện một cách định kỳ, còn phương pháp khử từ trường cảm ứng được thực hiện (sử dụng thiết bị tiêu từ đi cùng tàu) thường xuyên trong suốt quá trình hoạt động của con tàu Trên tàu chiến luôn được lắp đặt hệ thống tiêu từ gọi là hệ thống tiêu từ kiểu chủ động dùng để khử thành phần từ trường cảm ứng của tàu.

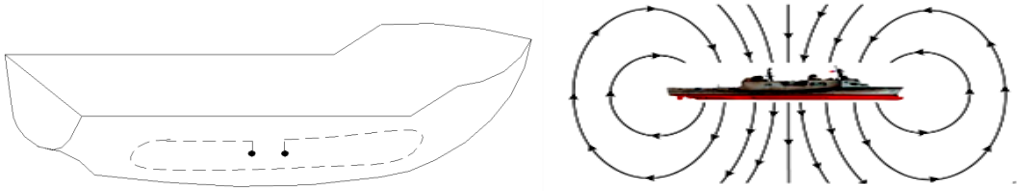
Để triệt tiêu thành phần từ trường cảm ứng khi tàu di chuyển cần sử dụng 3 cuộn dây tiêu từ là cuộn dây hướng sườn, cuộn dây hướng mặt cắt dọc và cuộn dây hướng mặt phẳng cơ bản nằm ngang tàu được cấp nguồn điện DC có thể điều chỉnh giá trị và chiều theo quy luật xác định.



Hình 7. *Bố trí cuộn I và dạng từ trường khử từ của nó.*



Hình 8. *Bố trí cuộn II và dạng từ trường khử từ của nó.*



Hình 9. *Bố trí cuộn III và dạng từ trường khử từ của nó.*

Về mặt cấu trúc, cuộn dây hướng mặt phẳng cơ bản nằm ngang (Cuộn dây III) được bố trí theo phương nằm ngang, song song với mặt nước. Đây là cuộn dây dùng để khử thành

phần từ trường thẳng đứng của tàu $\vec{Z}_T$. Giá trị của từ trường này được điều chỉnh nhờ sự điều chỉnh dòng điện chạy trong cuộn dây, phù hợp với vị trí tàu theo vĩ độ Trái Đất, không phụ thuộc vào hướng di chuyển và nghiêng lắc của tàu.

Cuộn dây thứ hai là cuộn dây hướng mặt cắt dọc (Cuộn dây II) được bố trí song song với mạn tàu để khử thành phần từ trường $\vec{X}_T$ của từ trường tàu. Giá trị của từ trường này được điều chỉnh nhờ sự điều chỉnh dòng điện chạy trong cuộn dây, phù hợp theo hướng đi, vị trí toạ độ tàu và độ nghiêng lệch.

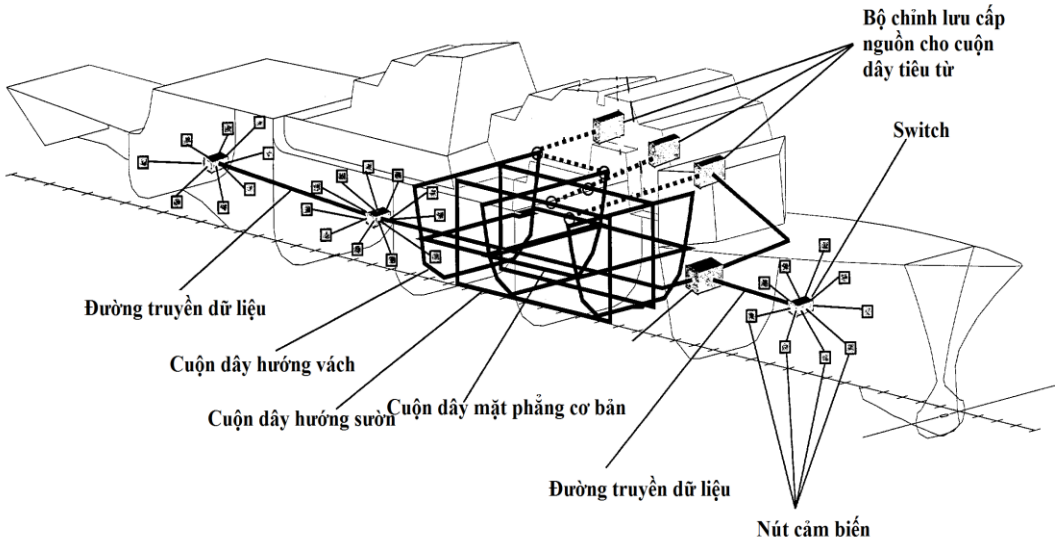
Cuộn dây thứ ba là cuộn dây hướng sườn (Cuộn dây I) được bố trí song song với sườn tàu dùng để khử thành phần từ trường $\vec{Y}_T$ của từ trường tàu. Giá trị của từ trường này được điều chỉnh nhờ sự điều chỉnh dòng điện chạy trong cuộn dây, phù hợp theo hướng đi, vị trí toạ độ tàu và độ nghiêng lệch.

Các cuộn dây tiêu từ thường được chia ra thành nhiều phần nối tiếp nhau dọc theo tàu.

Mỗi phần thường có từ 2 đến 3 vòng dây được đấu nối tiếp thông qua các hộp đấu dây bố trí trên các vách ngăn kín nước của tàu nhằm làm tăng hiệu quả khử từ tàu.

2.2.4. Hệ thống tiêu từ trên tàu quân sự

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết, khảo sát các thiết bị hiện có trong nước, quá trình triển khai đề tài nhóm đề tài đã nghiên cứu các giải pháp thiết kế một cách thông minh và khoa học cho từng vấn đề trong việc thiết kế và chế tạo thiết bị đo lường từ trường tàu tổng quát như hình dưới đây:



Hình 10. *Sơ đồ bố trí thiết bị tiêu từ cho tàu.*

Nút cảm biến: Các nút cảm biến là một trong những thành phần chính của thiết bị đo lường từ trường tàu. Thành phần của nút cảm biến bao gồm: module nguồn, cảm biến đo từ trường ba chiều, module thu thập tín hiệu analog của cảm biến và cpu thu thập tín hiệu và xử lý, module truyền tín hiệu về khối xử lý trung tâm. Các nút cảm biến này thu thập dữ liệu theo thời gian thực và trong thời gian dài, do đó, khi nghiên cứu thiết kế ngoài yêu cầu kỹ thuật của một nút cảm biến thì các nút này phải đảm bảo tiêu thụ năng lượng thấp.

Khi nghiên cứu thiết kế và chế tạo các nút cảm biến ngoài các yếu tố đã trình bày ở trên thì con một yếu tố sai số của phép đo cũng vô cùng quan trọng. Sai số của các thiết bị đo

từ trường tàu trong quân sự thường là 10nT với dải đo là ±100μT. Như thế, chúng ta phải chọn vi xử lý trên 12bits thì mới đáp ứng được sai số của phép đo.

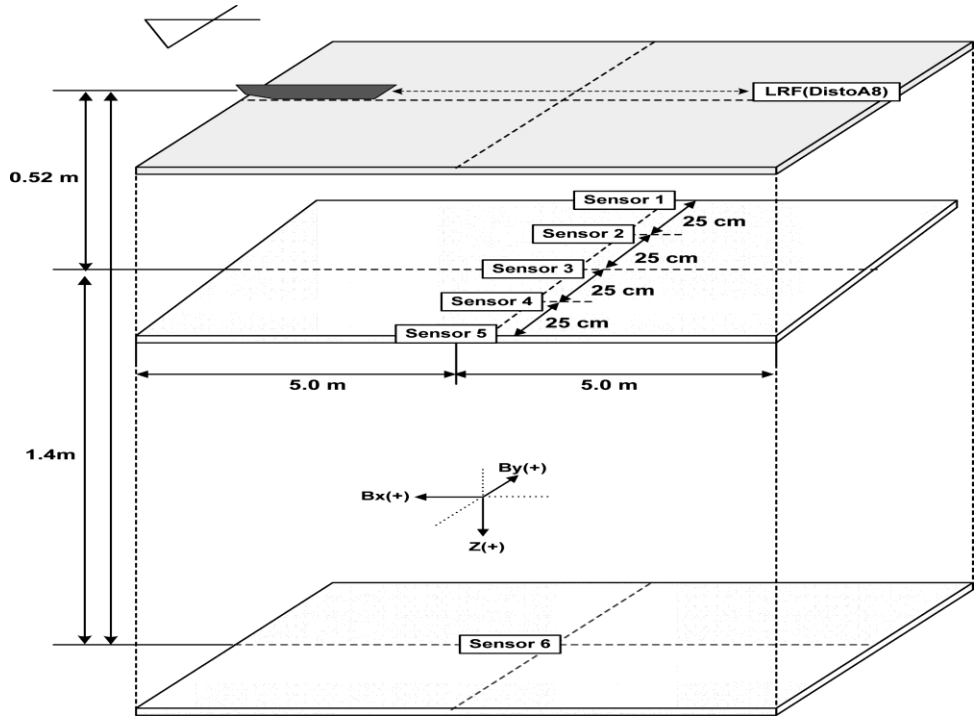
Kết nối các nút mạng: Các nút cảm biến được bố trí dọc và ngang trên một phạm vi khá rộng dưới tàu cho nên các nút cảm biến sẽ kết nối với khối xử lý trung tâm qua switch để đảm bảo thu thập được các kết quả của nút cảm biến chính sác và theo thời gian thực.

Khối xử lý trung tâm: Khối xử lý trung tâm là bộ não của thiết bị đo lường từ trường tàu là nơi lưu trữ các kết quả đo của các nút cảm biến gửi về theo thời gian thực.

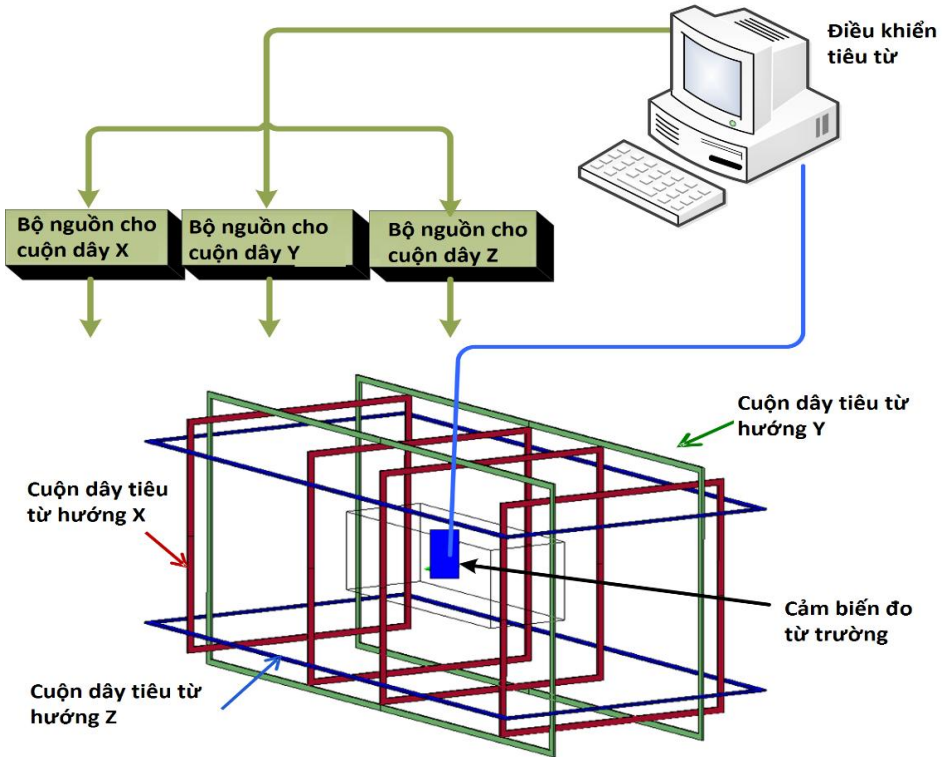
Hệ thống tiêu từ hoạt động dựa trên kết quả thu nhận được từ hệ thống cảm biến của thiết bị tiêu từ bộ xử lý trung tâm sẽ tính toán giá trị từ trường tại vị trí của con tàu. Từ giá trị từ trường nhận được bộ xử lý trung tâm sẽ tính toán ra giá trị dòng điện đặt vào mỗi cuộn dây tiêu từ sao cho giá trị từ trường sinh ra trên mỗi cuộn dây tương đương giá trị từ trường trên hướng đó nhưng có chiều ngược lại, kết quả thu được sẽ làm giảm từ trường tổng hợp trên tàu, đảm bảo qua trình hoạt động từ trường của tàu luôn trong ngưỡng cho phép[2].

3. THỬ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

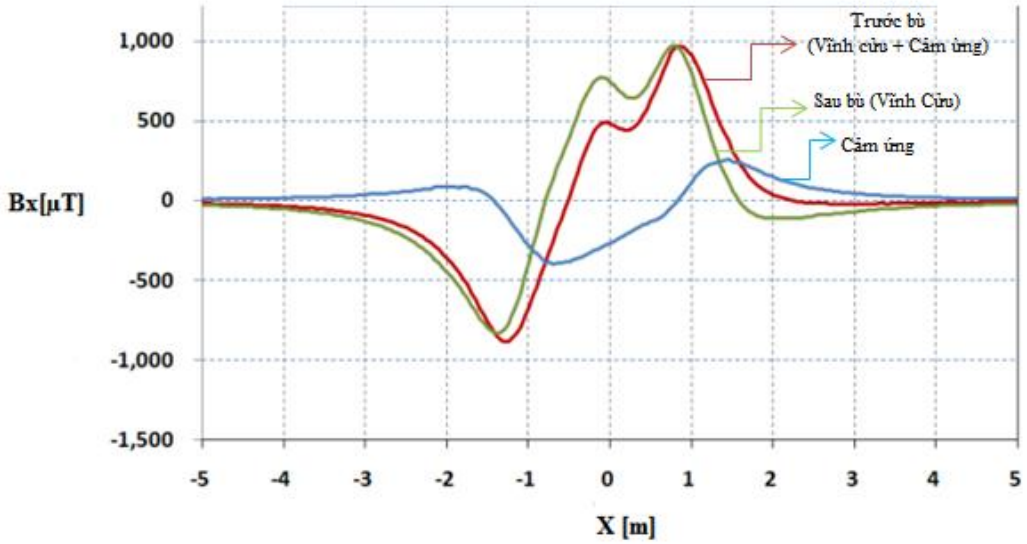
Thử nghiệm với con tàu mô hình dài 2,4 m, rộng 0,5 m và cao 0,25 m. Từ trường được đo bằng sáu cảm biến từ ba trục (Bartington, Mag03MS70) nằm dưới tàu như hình 11. Tại trạm thử nghiệm, Bx được đặt theo hướng phía bắc, By theo hướng dẫn phía đông và Bz theo hướng dọc. Giá trị từ trường tại điểm thử nghiệm tại Hà Nội là 38,412 μT theo hướng bắc là 23,34 μT theo hướng thẳng Bz. Trong thử nghiệm này, thay vì sử dụng nhiều cảm biến, con tàu từ từ di chuyển về phía bắc dọc theo đường tâm dọc, chống lại các cảm biến ở trạng thái dừng.



Hình 11. *Sơ đồ bố trí cảm biến đo từ trường bên ngoài mô hình bố trí cuộn dây tiêu từ thử nghiệm.*



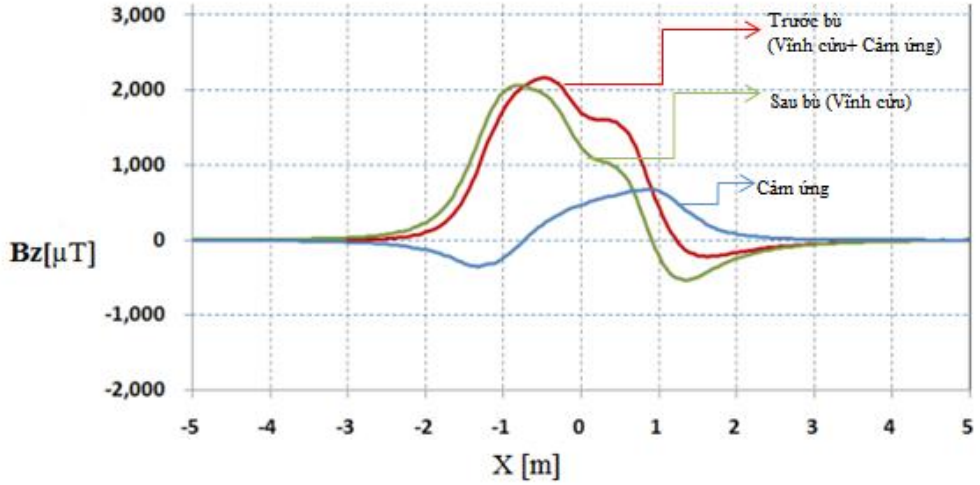
Hình 12. *Bố trí cảm biến bên trong mô hình bố trí cuộn dây tiêu từ thử nghiệm.*



Hình 13. *Từ trường Bx khi tàu di chuyển theo hướng Bắc.*

Từ trường tổng hợp trên một con tàu đang hoạt động bao gồm phần từ vĩnh cửu và phần từ cảm ứng. Như đã nêu trên để loại bỏ hoàn toàn từ trường con tàu ta phải sử dụng hai phương pháp khử từ trường vĩnh cửu và khử từ trường cảm ứng. Trong đó, phương pháp khử từ trường vĩnh cửu được thực hiện một cách định kỳ tại trạm khử từ cố định, Việt Nam hiện có trung tâm đo, xử lý và tiêu từ tàu biển thuộc Vùng 4 Hải quân. Khử phần từ trường cảm ứng được thực hiện (sử dụng thiết bị tiêu từ đi cùng tàu) thường xuyên

trong suốt quá trình hoạt động của con tàu. Với thử nghiệm cho tàu di chuyển theo hướng bắc đã thu được kết quả từ trường trên tàu tách biệt được phần từ cảm ứng và phần từ vĩnh cửu, kết quả đạt được là cơ sở xác định giá trị từ trường cảm ứng tại mỗi điểm, từ đó, tính toán ra cường độ dòng điện phù hợp để đưa vào hệ thống cuộn dây tiêu từ sao cho từ trường sinh ra ngược hướng và ngược dấu trên ba mặt phẳng với phần từ cảm ứng trên tàu đang hoạt động. Đây là kết quả quan trọng trong việc tiếp tục thử nghiệm tàu trên biển.



Hình 14. *Từ trường Bz khi tàu di chuyển theo hướng bắc.*

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở nghiên cứu những ảnh hưởng của từ trường lên tàu quân sự trong quá trình hoạt động có tính đến các yếu tố môi trường, quá trình tiếp cận thiết bị tiêu từ hiện có sẵn trong Hải quân Việt Nam bài báo đã đưa ra mô hình khả thi cho hệ thống cuộn dây tiêu từ trên tàu quân sự với những thử nghiệm mang lại kết tương đối khả quan, tách biệt được từ trường vĩnh cửu và từ trường cảm ứng hợp trên tàu. Đây là yếu tố quan trọng giúp tính toán được cường độ dòng điện đặt lên hệ thống cuộn dây tiêu từ cần thiết để triệt tiêu các thành phần từ các hướng khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. ANG, R.J., TAN, Y.K. and PANDA, S.K, " *Energy harvesting for autonomous wind sensor in remote area*," 33rd Annual IEEE Conference of Industrial Electronics Society (IECON'07), Taipei, Taiwan, 2007.

[2]. Richard M. Mack, Gaithersburg, MD (US); Robert A. Wingo, Manassas, *"VA (US) Ship degaussing system and algorithm,"* United States Patent, Patent No: US6,965,505B1, 2005.

[3]. J. A. Stratton, "*Electromagnetic Theory*," McGraw-Hill, 1941.

[4]. A. J. Jennings, "*Underwater Electromagnetic Field Modelling*," BAeSEMA,1997 Confidential.

[3]. Hyun-Ju Chung*, Chang-Seob Yang, and Woo-Jin Jung, "*A Magnetic Field Separation Technique for a Scaled Model Ship through an Earth's Magnetic Field Simulator*," Journal of Magnetics 20(1), 62-68 (2015).

[5]. R A Raveendra Varma*, "*Design of Degaussing System and Demonstration of Signature Reduction on Ship Model through Laboratory Experiments*," International Conference on Magnetic Materials and Applications, MagMA 2013.

[6]. Susan Macmillan, *"Earth's magnetic field"*, British Geological Survey, Edinburgh, UK.

[7]. C. Yang, K. Lee, G. Jung. H. Chung, J. Park, and D. Kim,J. Appl. Physics 103, 905 (2008).

[8]. K. Lee, G. Jeung, C. Yang, H. Chung, J. Park, H. Kim,and D. Kim, IEEE Trans. Magn. 45, 1478 (2009).

[9]. N. Choi, D. Kim, C. Yang, H. Chung, H. Kim, and D.Kim, Journal of Electrical Engineering & Technology 6,799-805 (2011).

[10]. Патент 2416547. Автоматический регулятор магнитного поля подводного или надводного объект.

ABSTRACT

RESEARCHING, TESTING THE REDUCTION MAGNETIC SYSTEM APPLICATION ON REDUCTION OF MAGNETIC FIELDS OF NAVAL VESSELS

In the paper, the effects of the magnetic field on ship equipment during operation, based on an overview of the magnetic field acting on the ship to develop a method of calculating the magnetic field for military vessels is presented. Building a system is necessary for redution of magnetic fields system of naval vessels. Focusing on deep study of the magnetic coild system on the military ship in the direction of automatically generating magnetic field vectors in the opposite direction to eliminate the amount of magnetism generated during operation and use. From these studies are important basis to build the automatic target system on Ship.

Keywords: Sensor network; Ship magnetic field measurement; Redution of magnetic fields equipment of naval vessels.

Nhận bài ngày 27 tháng 4 năm 2020
Hoàn thiện ngày 18 tháng 6 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 03 tháng 8 năm 2020

Địa chỉ: [1]Viện Công nghệ, Tổng cục Công nghiệp quốc phòng.
[*]Email: hopphamvcn@gmail.com.