

## Nghiên cứu, tính toán từ trường Trái Đất để ứng dụng cho thiết bị tiêu từ trên tàu quân sự

Hà Hồng Quang\*

Viện Công nghệ/Tổng cục Công nghiệp Quốc phòng.

\*Email: hhq82vn@gmail.com

Nhận bài ngày 10/12/2021; Hoàn thiện ngày 27/01/2022; Chấp nhận đăng ngày 14/02/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.77.2022.180-184>

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp tính toán từ trường Trái Đất để ứng dụng cho hệ thống tiêu từ trên tàu quân sự. Xây dựng chương trình phần mềm tính toán từ trường Trái Đất cho hệ thống tiêu từ trên tàu. Tập trung nghiên cứu sâu về cách thức tính toán đang được áp dụng rộng rãi hiện nay để tính toán từ trường cho hệ thống tiêu từ. Từ những nghiên cứu này là cơ sở quan trọng để thiết kế hệ thống tiêu từ cho tàu quân sự.

**Từ khóa:** Từ trường Trái Đất; Thiết bị tiêu từ cho tàu; Tính toán từ trường Trái Đất.

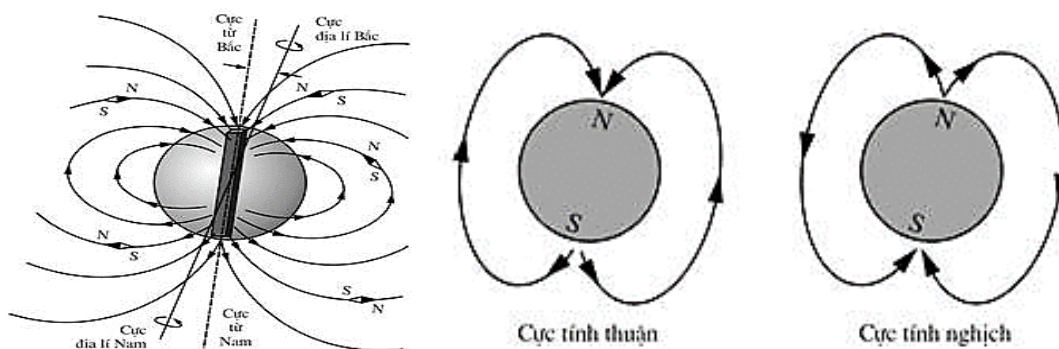
### 1. MỞ ĐẦU

Để đảm bảo an toàn cho tàu quân sự khi hoạt động trong vùng có bố trí thủy lôi và các bãi vật cản được trang bị ngòi từ trường và các cảm biến dò từ trường là phải khử từ cho tàu để giảm từ trường môi trường xung quanh tàu so môi trường vị trí khi không có tàu. Việc bố trí thiết bị tiêu từ đi cùng tàu để khử từ trường cảm ứng của tàu để giảm nguy cơ phát nổ thủy lôi và tránh sự phát hiện của đầu dò từ trường của ngư lôi là vô cùng quan trọng trong việc bảo đảm an toàn cho tàu quân sự. Mục đích chính của bài báo này là giới thiệu một mô hình tính toán từ trường Trái Đất nhằm chuẩn bị cho phân tích kỹ càng hơn về một phương pháp khử từ cho tàu quân sự.

### 2. NỘI DUNG

Có thể nói từ trường Trái Đất là trường từ xuất hiện do tính chất từ của vật chất Trái Đất hợp thành tạo ra. Từ trường Trái Đất tồn tại từ trong lòng Trái Đất đến không gian rộng lớn bao quanh Trái Đất. Từ trường Trái Đất được coi như một lưỡng cực từ trường, với một cực gần cực bắc địa lý và cực kia gần cực nam địa lý. Có thể coi đường thẳng nối hai cực tạo thành một góc khoảng  $11,3^\circ$  so với trục quay của Trái Đất và nó dao động khoảng  $0,2^\circ$ /năm.

Về mặt tổng thể từ trường Trái Đất là mô phỏng từ trường xung quanh một quả cầu nhiễm từ, hay chính là một lưỡng cực nghiêng như trong hình 1 dưới đây.



Hình 1. Cực tính từ trường Trái Đất.

Cường độ cảm ứng từ trên bề mặt Trái Đất thay đổi từ xấp xỉ 30000 nT gần xích đạo đến 60000 nT gần hai cực. Đặc biệt, có một vùng cường độ thấp trải dài trên vĩ độ  $50^\circ$  Nam đến đường Xích đạo và kinh độ từ  $90^\circ$  Tây đến  $45^\circ$  Đông được biết đến là Vùng Dị thường Nam

Đại Tây Dương. Một vùng Dị thường cao ở 10 độ Bắc và 100 độ Đông, và hai vùng này cho thấy rằng không chỉ trục từ bị nghiêng, mà nó còn không hẳn xuyên qua tâm Trái Đất [1].

Hiện nay, trên thế giới sử dụng phổ biến hai mô hình tính từ trường, đó là:

❖ Mô hình trường quốc tế (IGRF- international Geophysical Reference Field) do Hội Địa từ và Cao không quốc tế (IAGA) thông qua.

❖ Mô hình trường toàn cầu (WMM-World Magnctic Model) do Cục Địa chất Mỹ và Cục địa chất Anh xây dựng.

## 2.1. 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:

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

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:

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

$$Y = \frac{1}{r \sin \theta} \frac{\partial V(r, \theta, \phi)}{\partial \theta} = R_E \sum_{k=1}^{K_{int}} \sum_{m=0}^k \left( \frac{R_E}{r} \right)^{n_k(m)+2} \frac{m P_{n_k(m)}^m(\cos \theta)}{\sin \theta} (g_k^{mi} \cos(m\phi) - h_k^{mi} \sin(m\phi)) + R_E \sum_{k=1}^{K_{ext}} \sum_{m=1}^k \left( \frac{r}{R_E} \right)^{n_k(m)-1} \frac{m P_{n_k(m)}^m(\cos \theta)}{\sin \theta} (g_k^{me} \cos(m\phi) - h_k^{me} \sin(m\phi)) \quad (3)$$

$$Z = -\frac{\partial V(r, \theta, \phi)}{\partial r} = R_E \sum_{k=1}^{K_{int}} \sum_{m=0}^k (n_k(m) + 1) \left( \frac{R_E}{r} \right)^{n_k(m)+2} P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) (g_k^{mi} \cos(m\phi) + h_k^{mi} \sin(m\phi)) + R_E \sum_{k=1}^{K_{ext}} \sum_{m=1}^k \left( \frac{r}{R_E} \right)^{n_k(m)-1} P_{n_k(m)}^m(\cos \theta) (g_k^{me} \cos(m\phi) + h_k^{me} \sin(m\phi)) \quad (4)$$

$$H = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (5)$$

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 trục 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.

Bậc cực đại của chuỗi khai triển thế  $K_{int}$  được xác định bằng bước sóng quan sát trên bề mặt Trái Đất được biểu diễn bởi mô hình với hài điều hoà bậc n được hiểu đơn giản là tỷ số giữa chu

vi Trái Đất và bậc hài điều hoà. Độ dài bước sóng trong phương pháp phân tích điều hoà cầu bậc  $n$  được xác định là  $\lambda = 360^\circ/n$  hay tại bề mặt Trái Đất là  $40.000\text{km}/n$ . Khi đó, nếu bước sóng nhỏ nhất trong mô hình là  $\lambda_{\min}$  thì giá trị cực đại  $K_{\text{int}}$  được xác định như sau:

$$K_{\text{int}} = \frac{\theta_0}{90^\circ} \left( \frac{360^\circ}{\lambda_{\min}} + \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2}$$

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

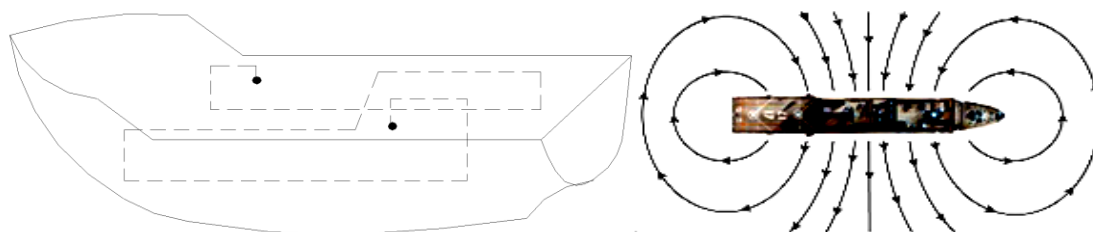
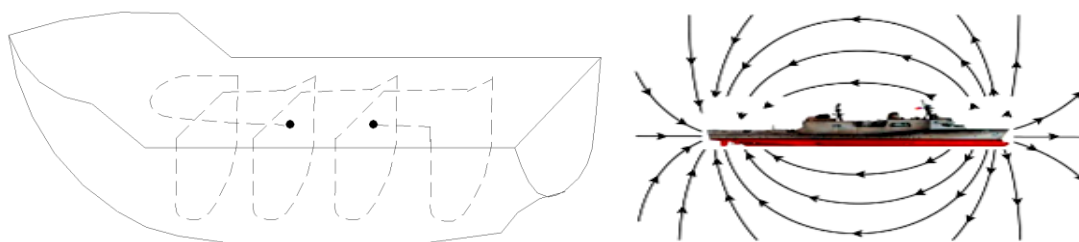
Sắt thép trên tàu gồm sắt từ cứng và sắt từ mềm. Vật liệu sắt thép trên tàu bị từ hóa bởi từ trường trái đất tạo nên một từ trường tàu. Từ trường tàu làm thay đổi từ trường trái đất xung quanh con tàu. Các nhà khoa học người Anh đã nghiên cứu phát triển ngòi nổ cho thủy lôi dựa trên sự thay đổi của từ 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 A.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.[2]

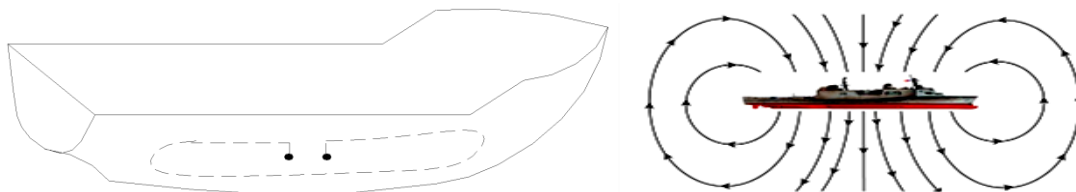
Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng để khử từ trường vĩnh cửu của tàu thì sử dụng dòng điện xoay chiều tần số cao có cường độ giảm dần theo hàm số mũ và để khử từ trường cảm ứng của tàu thì sử dụng dòng điện một chiều trong các cuộn dây tiêu từ tạo ra từ trường ngược với từ trường bị nhiễm.

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.

## 2.3. Phương pháp khử từ trường cảm ứng cho tàu

Để khử từ trường cảm ứng cho tàu người ta bố trí thiết bị khử từ trên tàu để cung cấp dòng điện một chiều có giá trị và dấu phù hợp cho các cuộn dây tiêu từ trên tàu. Trên tàu được bố trí 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.





**Hình 4.** 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 đi chuyển 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 tọa 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 tọa 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.

### 3. CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN TỪ TRƯỜNG TRÁI ĐẤT

Trong việc nghiên cứu tính toán, chế tạo hệ thống tiêu từ cho tàu quân sự thì việc nghiên cứu viết phần mềm tính toán từ trường trái đất cho hệ thống tiêu từ là khá quan trọng. Hiện nay có một số chương trình mẫu để tham khảo nhưng việc viết chương trình và tối ưu hóa cần phải có sự nghiên cứu và thử nghiệm rất nhiều. Trong phạm vi bài báo này tác giả đã viết chương trình và tối ưu hóa chương trình trên trình soạn thảo và biên dịch qt để chương trình có thể chạy trên nhiều nền tảng khác nhau để ứng dụng cụ thể vào việc nghiên cứu thiết kế và chế tạo hệ thống tiêu từ cho tàu quân sự.



**Hình 5.** Giao diện phần mềm tính toán từ trường Trái Đất.

Nghiên cứu đưa ra kết quả trong giới hạn kinh tuyến từ 90<sup>0</sup>E đến 130<sup>0</sup>E theo vĩ tuyến từ 15<sup>0</sup>S đến 25<sup>0</sup>N, với diện tích trên bao gồm toàn bộ phần đất liền và vùng biển của Việt Nam và các nước lân cận Thái Lan, Malaysia, Philipin, Indonesia,...

Nhóm nghiên cứu đã so sánh kết quả tính toán với các kết quả hiện có được công bố từ trang web tính từ trường online của Cơ quan khảo sát địa chất Anh và từ trang web tính từ trường online tính của trạm đo từ trường Moscow. Và thấy rằng phần mềm tính toán của nhóm nghiên cứu viết trung khớp kết quả với các kết quả được công bố.

Trên cơ sở tính toán từ trường Trái Đất tại vị trí của tàu làm cơ sở để tính toán cấp dòng điện cho các cuộn dây tiêu từ. Cấp dòng điện một chiều cho các cuộn dây tiêu từ phụ thuộc và nhiều yếu tố trong đó có thể phân ra thành 2 nhóm yếu tố chính. Nhóm 1 đó là sự phụ thuộc vào vị trí của tàu, hướng chuyển động của tàu và độ nghiêng lác của tàu. Nhóm 2 đó là các yếu tố về kết cấu của tàu, các trang thiết bị và vũ khí khí tài bố trí trên tàu.

Nhóm nghiên cứu tập trung nghiên cứu hai nhóm tàu chính là tàu TT400-TP và tàu M đang có trong trang bị để so sánh sự khác nhau trong việc cấp dòng cho các cuộn dây tiêu từ để khử từ.

#### **4. KẾT LUẬN**

Khi tính toán từ trường Trái Đất dựa theo mô hình IGRF làm cơ sở để đưa vào tính toán cho thiết bị tiêu từ nhận thấy kết quả tính toán của nhóm nghiên cứu và kết quả tính toán trực tuyến được công bố trên mạng internet khá tương đồng.

Bài báo đã đưa ra mô hình khả thi để tính toán từ trường Trái đất cho hệ thống tiêu từ để từ đó đưa ra phương án tính toán dòng cho các cuộn dây tiêu từ để giảm từ trường tàu làm cho tàu an toàn hơn khi di chuyển trong vùng có bố trí thủy lôi hoặc thiết bị nổ có ngòi do từ trường.

#### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Kristin L. Makovec. "A nonlinear magnetic controller for three-axis stability of nanosatellites". Master's thesis, Virginia Tech, July 201.
- [2]. В. Н. Пархоменко Военно-морской инженерный институт (филиал) ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2012.

#### **ABSTRACT**

##### **Research and calculation of the Earth's magnetic field for degaussing systems on military ships**

*The article highlights computational methods of the Earth's magnetic field for the degaussing systems on military ships. A software system is designed for measuring the Earth's magnetic field for aboard magnetic emission systems. Concentrating on in-depth studies about calculation methods that are widely being applied for determining magnetic field for degaussing systems. These researches are the most vital foundation for a degaussing system design on military ships.*

**Keywords:** Earth's magnetic field; The degaussing system for ships; Calculate Earth's magnetic field.