

www.mientayvn.com

Dịch tiếng anh chuyên ngành khoa học tự nhiên và kỹ thuật.

Dịch các bài giảng trong chương trình học liệu mở của học viện MIT, Yale.

Tìm và dịch tài liệu phục vụ cho sinh viên làm seminar, luận văn.

Tại sao mọi thứ đều miễn phí và chuyên nghiệp ???

Trao i tr c tuy n t i:

www.mientayvn.com/chat_box_sinh.html

Lý thuyết của các phép đo từ sinh học (phần 1)

1 Trường từ sinh học

Điều kiện đầu

Nguồn: sự phân bố nguồn dòng được đưa vào \bar{J}^i (nguồn khối)

Bộ dẫn khối: hữu hạn, không đồng nhất

Mật độ dòng \bar{J} trong cả một bộ dẫn khối đưa tới từ trường được đưa ra bởi các mối quan hệ sau (Stratton, 1941; Jackson, 1975):

$$4\pi\bar{H} = \int_V \bar{J} \times \nabla \left(\frac{1}{r} \right) d\nu \quad (12.01)$$

của lượng $d\nu$ trong cơ thể con người, $\bar{J}d\nu$ là một nguyên tố nguồn. và ∇ là một nhà điều hành với nguồn tọa độ. Thay phương trình 7.2 được lặp lại ở đây,

$$\bar{J} = -\sigma \nabla \Phi + \bar{J}^i \quad (12.02)$$

Vào phương trình 12.1 và chia bộ dẫn khối không đồng nhất thành vùng đồng nhất v_j với độ dẫn σ_j , ta thu được

$$4\pi\bar{H} = \int_V \bar{J}^i \times \nabla \left(\frac{1}{r} \right) d\nu - \sum_j \int_{V_j} \sigma_j \nabla \Phi \times \nabla \left(\frac{1}{r} \right) d\nu \quad (12.03)$$

Giờ chúng ta tạo ra cách sử dụng của sự đồng nhất vector sau (Stratton, 1941, p. 604):

$$\int_V \nabla \times \bar{C} d\nu = - \int_S \bar{C} \times d\bar{S} \quad (12.04)$$

Nơi bề mặt tích phân được lấy trên bề mặt S bao quanh lượng v của tích phân khối. Áp dụng 12.4 cho 12.3, số hạng cuối trong biểu thức 12.2, bao gồm kí hiệu của nó, có thể được thay thế bởi

$$\sum_j \int_{S_j} \sigma_j \Phi \nabla \left(\frac{1}{r} \right) \times d\bar{S}_j \quad (12.05)$$

Cuối cùng, áp dụng kết quả này cho biểu thức 12.2 và biểu thị lần nữa các

vùng primed and double-primed của độ dẫn bên trong và ngoài đường bao, lần lượt là, $d\bar{S}_j$ có hướng từ vùng primed đến vùng double-primed, chúng ta thu được (chú ý rằng mỗi giao diện phát dinh hai lần, một là tại bề mặt của v_j và hai là từ bề mặt của mỗi vùng xung quanh của v_j)

$$4\pi\bar{H}(r) = \int_{\nu} \bar{J}^i \times \nabla \left(\frac{1}{r} \right) d\nu + \sum_j \int_{S_j} (\sigma_j'' - \sigma_j') \Phi \nabla \left(\frac{1}{r} \right) \times d\bar{S}_j \quad (12.06)$$

Phương trình này miêu tả từ trường bên ngoài bộ dẫn khối cố định chứa nguồn khối (điện) bên trong \bar{J}^i và sự thiếu đồng nhất $(\sigma_j'' - \sigma_j')$. Nó được suy ra lần đầu tiên bởi David Geselowitz (Geselowitz, 1970).

Điều quan trọng là chú ý rằng số hạng đầu tiên bên vế phải của biểu thức 12.6, bao gồm cả \bar{J}^i , biểu diễn sự đóng góp của nguồn khối, và số hạng thứ hai tác dụng của đường bao và sự không đồng nhất. Nguồn đưa vào \bar{J}^i này sinh từ hoạt động tế bào và vì thế có giá trị chẩn đoán nơi mà số hạng thứ hai có thể được xem như là một biến dạng nhờ vào sự không đồng nhất của bộ dẫn khối. Những nguồn rất giống nhau này được nhận ra sớm hơn khi điện trường được phát ra bởi nó đang được đánh giá (nhìn biểu thức 7.10). (trong trường hợp điện, các số hạng này cũng được gán cho nguồn chính và nguồn thứ cấp).

Tương tự, như được bàn ở biểu thức 7.10, dễ để nhận ra rằng nếu bộ dẫn khối là đồng nhất, sự chênh lệch $(\sigma_j'' - \sigma_j')$ trong biểu thức thứ hai là bằng 0, và nó được rút gọn. Sau đó biểu thức giảm cho biểu thức của từ trường nhờ vào sự phân bố của nguồn khối trong bộ dẫn khối không đồng nhất. Điều này được giới thiệu ở phần cuối biểu thức 12.10. Trong việc thiết kế thiết bị kiểm tra từ sinh học chất lượng cao, mục đích là loại bỏ tác dụng của nguồn thứ cấp đến khả năng mở rộng.

Từ một ví dụ của biểu thức 12.6 có thể khái quát rằng sự gián đoạn trong tính dẫn là sự tương đương với nguồn thứ cấp \bar{K}_j với $\bar{K}_j = (\sigma_j'' - \sigma_j') \Phi \bar{n}$ ở đây Φ là tiềm năng bề mặt trên S_j . Chú ý rằng \bar{K}_j giống với nguồn dòng thứ cấp cho điện trường (biểu thức 7.10) như cho từ trường.

2 Bản chất của nguồn từ sinh học

Biểu thức 12.6 chỉ ra rằng hiện tượng sinh lý cái là nguồn của tín hiệu từ sinh học là hoạt động điện của mô (được mô tả ở trên). Vì thế, với trường hợp, nguồn cho từ tâm đồ (MCG) hoặc từ não đồ (MEG) là hoạt động

điện của cơ tim hoặc tế bào thần kinh, lần lượt là, khi nó là nguồn của điện tâm đồ (ECG) và điện não đồ (EEG). Sự khác nhau về mặt lý thuyết giữa tín hiệu từ sinh học và điện sinh học là sự khác nhau trong việc phân bố độ nhạy của những phép đo này. Sự phân bố độ nhạy (sự tạo ra trường đạo trình) của phép đo điện được thảo luận chi tiết trong chương trước. Sự phân bố độ nhạy của phép đo từ được bàn chi tiết trong chương này. (những sự khác nhau về kĩ thuật của máy dò điện và từ giới thiệu thêm sự khác nhau. Chúng được bàn một cách ngắn gọn trong phần từ tâm đồ ở chương 20).

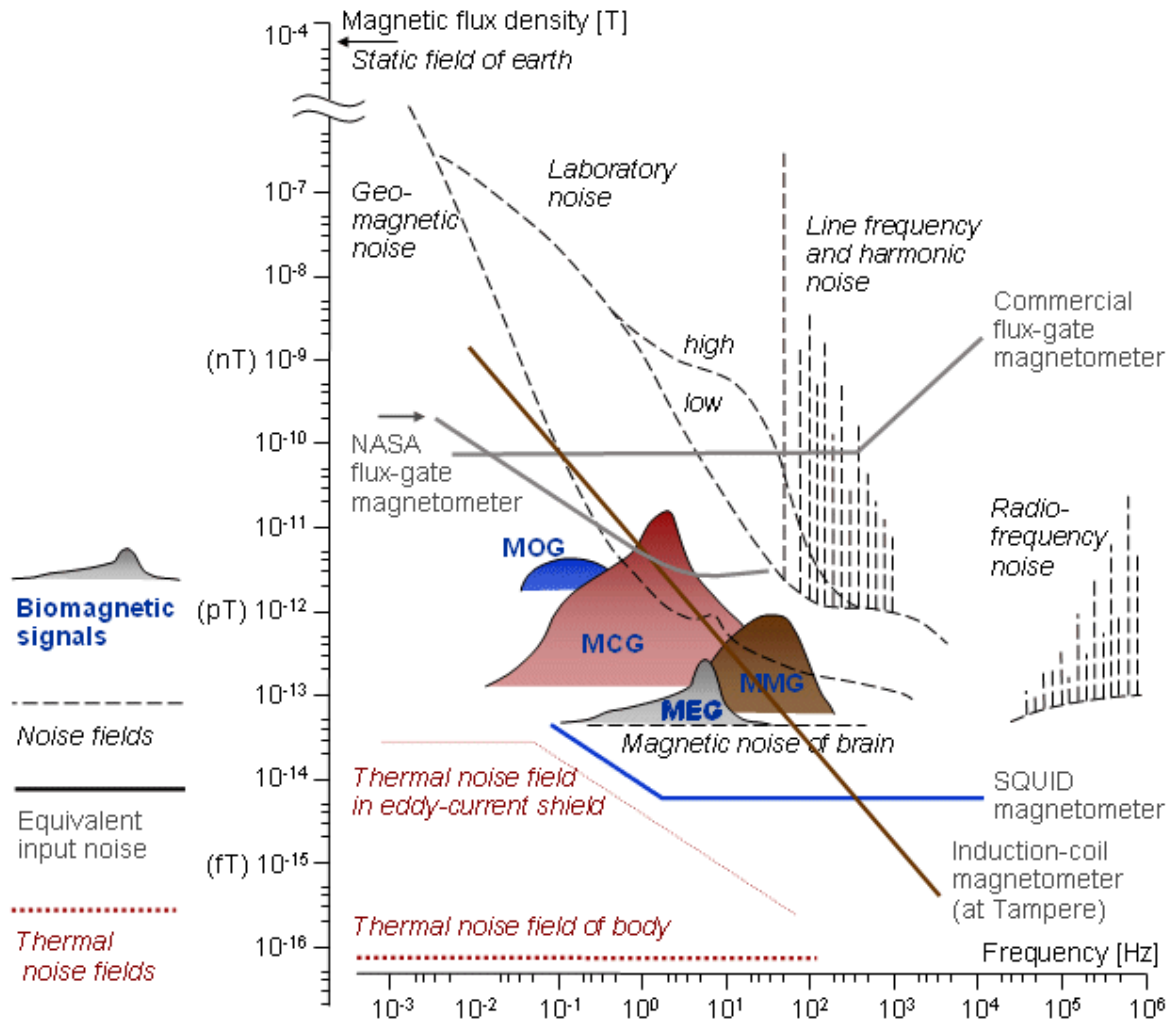
Sự khác nhau giữa tín hiệu điện và từ có thể cũng được thấy từ dạng của biểu thức toán học của chúng. Khi so sánh biểu thức 12.6 và 7.10, chúng ta có thể thấy rằng từ trường xuất phát từ sự xoáy và điện trường xuất phát từ sự phân tán của nguồn. Sự khác nhau này bao gồm cả thành phần thứ nhất về bên phải của biểu thức được tạo ra từ sự phân bố dòng vào, và thành phần thứ hai được tạo ra từ biên của sự không đồng nhất của nguồn khối.

Nó được chỉ ra rằng trong việc thiết kế đạo trình từ trường phải nhớ đến nguồn gốc điện của tín hiệu từ và dạng đặc tính của sự phân bố độ nhạy của phép đo từ. Nếu đạo trình của phép đo từ không được thiết kế một cách cẩn thận, thì có thể sự phân bố độ nhạy của đạo trình từ sẽ giống với đạo trình điện. Trong trường hợp đó phép đo từ trường sẽ không cung cấp bất kì thông tin mới nào từ nguồn cả.

Xin chú ý rằng tín hiệu từ sinh học được bàn ở trên được giả sử không xuất phát từ vật liệu từ bởi vì vật liệu từ không tồn tại trong mô. Có những trường hợp đặc biệt, tuy nhiên, nơi mà trường từ sinh học được tạo ra bởi vật liệu từ - ví dụ, trong trường hợp tín hiệu dựa vào vật liệu từ chứa trong phổi của thợ hàn hoặc sắt tích tụ trong gan người có bệnh. Những trường hợp đó không được thảo luận ở cuốn sách này.

Trường từ sinh học có biên độ rất bé so với trường nhiễu xung quanh và với độ nhạy của đầu dò. Tổng kết các trường được biểu diễn trong hình 12.1 (Malmivuo et al., 1987). Hình này chỉ ra rằng có thể tìm thấy MCG với từ kế cuộn, mặc dù với một tỉ số nhiễu tín hiệu thấp (S/N). Tuy nhiên, hầu hết từ kế cuộn xây dựng cho mục đích từ sinh học (Estola and Malmivuo, 1982) không đủ nhạy để dùng cho MEG sử dụng trong lâm sàng. Vì thế, Superconducting QUantum Interference Device (SQUID) chỉ là thiết bị mà đủ nhạy cho phép đo từ sinh học chất lượng cao. Thiết

bị cho trường từ sinh học được đo không được bàn xa hơn trong cuốn sách này.



hình 12.1: Tín hiệu từ được tạo ra bởi các nguồn khác nhau **Tín hiệu từ sinh học**: MCG = từ tâm đồ, MMG = magnetomyogram, MEG = từ não đồ, MOG = từ đồ cầu mắt **trường nhiễu**: trường tĩnh của trái đất, nhiễu phòng lab, nhiễu tần số dòng, nhiễu tần số radio **Nhiều vào tương đương**: commercial flux-gate magnetometer, ring-core flux-gate (NASA), từ kế cuộn cảm, từ kế SQUID. **Trường nhiễu nhiệt**: lá chắn dòng xoáy, cơ thể con người

3 lý thuyết biến thiên cho từ trường

Điều kiện đầu:

Nguồn: sự phân bố của yếu tố nguồn dòng được đưa vào \vec{J}^i (nguồn khối)

Bộ dẫn: hữu hạn, đồng nhất; hoặc hữu hạn, không đồng nhất với đối xứng trụ

3.1 Dạng của trường đạo trình từ

Plonsey đã mở rộng ứng dụng của lý thuyết biến thiên cho điều kiện thời gian thay đổi xảy ra trong phép đo từ sinh học (Plonsey, 1972). Sự phát triển đó tương tự như sự chứng minh của thuyết biến thiên cho điện trường và vì thế không cần lặp lại ở đây. Chỉ biểu thức cho thuyết biến thiên cho phép đo từ là được đề cập. Ở đây, L viết tắt cho “đạo trình”, như trong chương trước, M được viết tắt cho “đạo trình từ” dựa vào dòng biến thiên của đạo hàm theo thời gian.

Dòng được nói trong một bộ dẫn phụ thuộc vào tốc độ của sự thay đổi của thông lượng từ mà kết nối với vòng lặp dòng. Tương tự trong trường hợp điện trường (nhìn biểu thức 11.30 và 11.52), các dòng được cấp điện biến thiên (thay đổi theo thời gian) I_r được chuẩn hóa để đạo hàm theo thời gian của nó thống nhất cho tất cả các giá trị ω . Phương trình cần thiết cho lý thuyết trường đạo trình cho phép đo từ sinh học sau đó có thể đạt được một cách dễ dàng từ phương trình tương ứng trong các phép đo điện.

Sóng điện tâm lưỡng cực cơ bản trong phép đo từ tính là một ống dây (cuộn dây) với một lõi và phần cuối tròn phẳng có độ từ thẩm xác định, như được biểu diễn trong hình 12.2. Nếu cuộn dây được cung cấp điện với một dòng điện, một từ trường được tạo ra, nó có thể được xem như là kết quả từ sự tích từ (bằng và đối) tại cuối của cuộn dây. Những chỗ cuối này được gọi là từ cực (Baule and McFee, 1963). (từ “điện cực được giới thiệu bởi Michael Faraday(1834).) Độ dẫn từ lưỡng cực cơ bản này là tương đương với độ dẫn điện lưỡng cực cơ bản được trình bày trong hình 11.23.

Khi dòng biến thiên I_r được đưa vào đạo trình từ cơ bản, nó tạo ra trong một không gian xác định của độ từ thẩm giống nhau một trường thế từ vô hướng Φ_{LM} của trạng thái không gian khác nhau như trường thế điện vô hướng Φ_{LE} trong một môi trường vô hạn các độ dẫn thống nhất phát sinh từ đạo trình điện được đưa điện vào một cách biến thiên, điện cực của nó được đặt ở phía tương ứng với từ cực. Như chú ý trong phần 11.6.6, nếu điện cực hoặc từ cực được đặt song song và kích thước của chúng rộng so với sự phân chia của chúng, thì cả Φ_{LE} và Φ_{LM} là giống nhau trong vùng trung tâm.

σ = độ dẫn của môi trường

\bar{r} = vector bán kính

Một môi trường đồng nhất không giới hạn được yêu cầu cho độ dẫn là gấp đôi cho độ thấm từ, nơi mà điểm cuối cùng là đồng nhất trong cơ thể và không gian. Như trong các phép đo điện, có thể để tạo ra sự kết hợp đạo trình từ bằng cách kết nối bất kỳ số nào của đầu dò với nhau.

Bây giờ chúng ta khảo sát bản chất của trường đạo trình từ \bar{J}_{LM} được tạo ra bởi sự đưa vào dòng điện biến thiên của cuộn dây của đầu dò từ với một dòng $I_r I_r$ tại một tần số góc. Sử dụng định chuẩn kí hiệu giống nhau giữa dòng điện được đưa vào và điện thế được đo như trong trường hợp điện, hình 11.23, chúng ta thu được tình huống tương ứng với phép đo từ, như trong hình 12.2.

Trường từ biến thiên \bar{H}_{LM} xuất phát từ Φ_{LM} có dạng sau:

$$\bar{H}_{LM} = -\nabla \Phi_{LM} \quad (12.07)$$

Cảm ứng từ \bar{B}_{LM} là

$$\bar{B}_{LM} = \mu \bar{H}_{LM} \quad (12.08)$$

ở đây μ là độ từ thẩm của môi trường. Giả sử μ là cố định, phản xạ lại trường hợp không được giả sử của vật liệu từ rời rạc.

Cường độ điện trường biến thiên \bar{E}_{LM} xuất phát từ cảm ứng từ biến thiên \bar{B}_{LM} (gây ra từ cuộn dây có dòng điện chạy qua) phụ thuộc vào hệ đạo trình khối và trường. Với từ trường là đối xứng trục và đồng nhất với một số vùng được giới hạn (trường hợp đối xứng trục), $2\pi r E_\varphi = \pi^2 B_z$ với vùng này (Φ và z đang ở trong hệ tọa độ trụ), hoặc trong kí hiệu vector:

$$\bar{E}_{LM} = \frac{1}{2} \bar{r} \times \bar{B}_{LM} = \frac{\mu}{2} \times \bar{H}_{LM} = -\frac{\mu}{2} \bar{r} \times \nabla \Phi_{LM} \quad (12.9)$$

Trong biểu thức này \bar{r} là vector bán kính trong hệ tọa độ trụ được đo từ trục đối xứng (z) như gốc. Như trước, điều kiện điều hòa được giả sử để tất cả số lượng trường là vector pha phức tạp. Hơn nữa, như đã chú ý trước đó, $I_r(\omega)$ được điều chỉnh để đại lượng của B_{LM} là độc lập với ω . Sự dịch pha 90 độ của điện trường liên quan đến từ trường, được giả sử là được chứa trong vector pha điện trường. Những giả thiết về trường được

giả sử ở trên nên là một sự xấp xỉ hợp lý với trường biến thiên thực tế được thiết lập bởi đầu dò từ trường.

Kết quả trong biểu thức 12.9 tương ứng với cường độ điện trường biến thiên $\bar{E}_{LM} = -\nabla\Phi$ được tạo ra bởi dòng biến thiên của đạo trình điện (được mô tả trong biểu thức 11.53 trong chương trước)

Mật độ dòng từ trường đạo trình có thể được tính từ công thức 12.9. vì thế:

$$\bar{J}_{LM} = \sigma \bar{E}_{LM} \quad (12.10)$$

Chúng ta thu được cho trường đạo trình từ \bar{J}_{LM}

$$\bar{J}_{LM} = \frac{\sigma}{2} \times \bar{B}_{LM} \quad (12.11)$$

Trường đạo trình từ \bar{J}_{LM} có các thuộc tính sau:

1. Mật độ dòng trường đạo trình \bar{J}_{LM} ở mọi nơi xoay quanh và đồng tâm với trục đối xứng.
2. Độ lớn của mật độ dòng trường đạo trình \bar{J}_{LM} tỉ lệ thuận với khoảng cách từ trục đối xứng r (đủ để các điểm trường vẫn còn trong trường \bar{B}_{LM} đồng nhất)
3. Như một hệ quả của (2), độ nhảy là 0 tại trục đối xứng. Vì thế, trục đối xứng được gọi là đường độ nhảy bằng 0.

Dựa trên biểu thức 11.30 và chú ý rằng cũng trong trường hợp từ dòng biến thiên I_r được chuẩn hóa để nó thống nhất với tất cả giá trị ω , chúng ta cân bằng điện thế V_{LM} trong đạo trình từ được tạo ra bởi một mật độ moment lưỡng cực dòng \bar{J}^i như (Plonsey. 1972)

$$V_{LM} = \int_{\nu} \frac{1}{\sigma} \bar{J}_{LM} \cdot \bar{J}^i d\nu \quad (12.12)$$

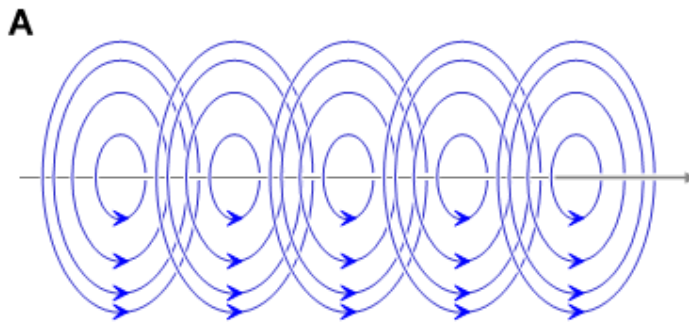
Biểu thức này giống với biểu thức 11.30, mô tả sự phân bố độ nhảy của đạo trình điện. Sự phân bố độ nhảy của phép đo từ là điểm khác nhau từ phép đo điện vì trường đạo trình từ \bar{J}_{LM} có dạng khác trường đạo trình điện \bar{J}_{LE} .

Trong vật liệu ở trên, chúng ta giả sử rằng môi trường đạo trình là đồng nhất và hữu hạn. Việc thảo luận này cũng bao gồm môi trường đạo trình hình trụ đồng nhất của bán kính xác định nếu từ trường có dòng biến thiên chạy qua là đồng nhất và trong hướng của trục đối xứng, bởi vì hướng đồng tâm của \bar{J}_{LM} trong trường hợp không có được giới hạn không bị can thiệp khi đường bao hình trụ xác định được giới thiệu. Như trong trường hợp môi trường xác định, độ lớn dòng trường đạo trình tỉ lệ thuận với khoảng cách r từ trục đối xứng. Trên trục đối xứng, mật độ dòng trường đạo trình là bằng 0, và vì thế, nó được gọi là đường có độ nhảy bằng 0 (Eskola, 1983; Eskola and Malmivuo, 1983).

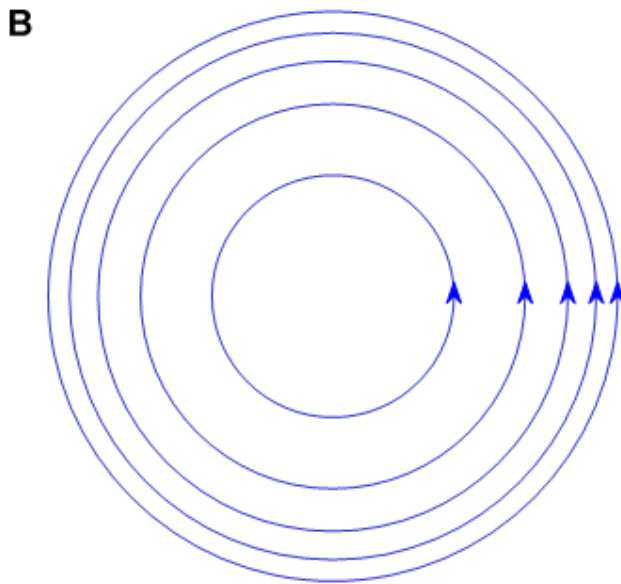
Dạng của trường đạo trình từ được trình bày chi tiết trong hình 12.3. Để so sánh, trường đạo trình từ được trình bày trong hình với bốn cách khác nhau. Hình 12.3A chỉ ra mật độ dòng trường đạo trình từ trong dạng phối cảnh ba chiều với đường sức trường đạo trình được định hướng một cách tiếp tuyến xung quang trục đối xứng. Như chú ý trước, bởi vì mật độ dòng trường đạo trình tỉ lệ thuận với khoảng cách r từ trục đối xứng, trục đối xứng tại thời điểm này là đường có độ nhảy bằng 0. Hình 12.3B chỉ ra dạng của trường đạo trình trong một mặt phẳng vuông góc với trục. Những đường sức thường được vẽ để số lượng không đổi của dòng được giả sử chảy giữa hai đường sức. Vì thế, mật độ đường sức tỉ lệ thuận với mật độ dòng. (trong trường hợp này dòng trường đạo trình có một thành phần bình thường với mặt phẳng của hình minh họa, các đường sức là không liên tục, và một số không chính xác được đưa vào hình minh họa, như có thể được thấy trong phần 13.4). Hình 12.3C minh họa trường đạo trình với vector mật độ dòng, được đặt tại góc của lưới đều. Cuối cùng, hình 12.3D chỉ ra độ lớn của mật độ dòng trường đạo trình \bar{J}_{LM} như một hàm của khoảng cách r với trục đối xứng với khoảng cách từ trục h như một tham số. Hình minh họa này không chỉ ra hướng của mật độ dòng trường đạo trình, nhưng nó được biết là có hướng tiếp tuyến. Trong hình 12.3E những đường nét đứt tham gia vào điểm nơi mà mật độ dòng trường đạo trình có giá trị như nhau, vì thế chúng được gọi là những đường đẳng nhảy.

Những hướng liên quan của từ trường và dòng được đưa vào và tín hiệu được dò tìm được phác họa trong hình 12.2. Nếu cảm ứng từ \bar{B}_{LM} của biểu thức 12.11 là đồng nhất và nằm trong hướng tọa độ âm, như trong hình 12.2, dạng của kết quả mật độ dòng trường đạo trình \bar{J}_{LM} là tiếp tuyến và được định hướng trên hướng dương của vòn tròn. Nên nhớ rằng, điều kiện điều hòa đã từng được giả sử để vì thế chúng ta đang vẽ đồ thị độ lớn đỉnh của \bar{B}_{LM} đối với \bar{J}_{LM} , sự chọn lựa kí hiệu cho mỗi lớp vector là chủ quan. Mọi quan hệ tức thời có thể được tìm thấy từ biểu thức

12.11, nếu kí hiệu vector pha rõ ràng được quay trở lại, bao gồm độ lệch pha 90° của \vec{J}_{LM} .

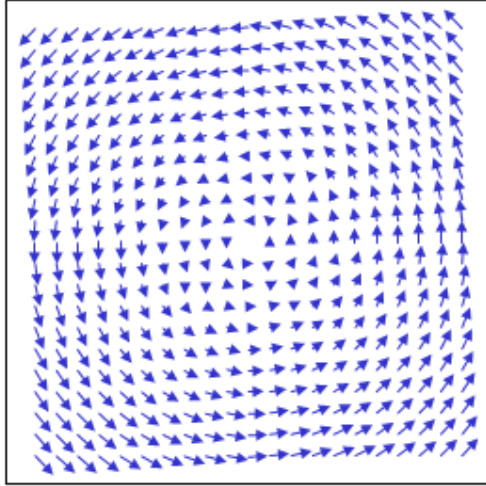


hình 12.3 Mật độ dòng đạo trình từ của trường đạo trình từ: **(A)** Mật độ dòng trường đạo trình_đó là, độ nhạy-có hướng tiếp tuyến, và độ lớn của nó tỉ lệ thuận với khoảng cách từ trục đối xứng. Chú ý rằng trong hình này những đường nét đứt biểu diễn trục đối xứng nơi mà mật độ dòng trường đạo trình bằng 0

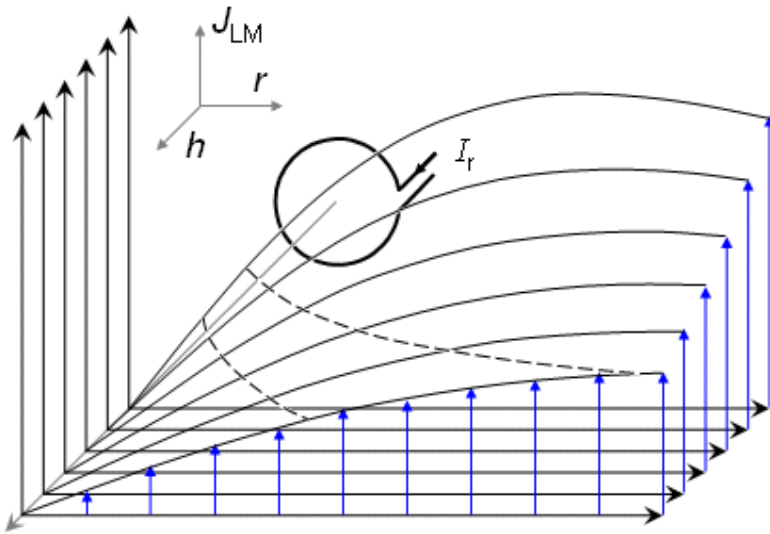


(B) mật độ dòng trường đạo trình được chỉ ra trên một mặt phẳng với đường sức

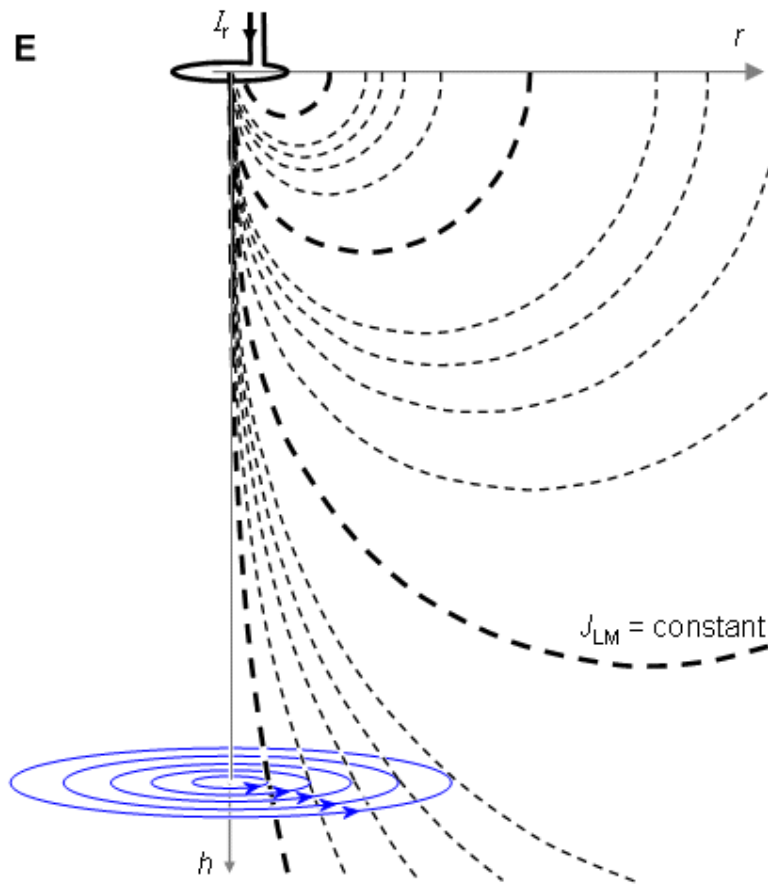
C



(C) mật độ dòng trường đạo trình được chỉ ra trên một mặt phẳng với vector mật độ dòng



(D) Mật độ dòng trường đạo trình như một hàm của khoảng cách từ trục đối xứng



(E) Đường đẳng năng của đạo trình

Lý thuyết của các phép đo từ sinh học (phần 2)

3.2 Nguồn của từ trường

Phần này cung cấp một sự mô tả lần lượt nguồn của từ trường được cảm nhận bởi cuộn dây đặt trong từ trường (giống với trường hợp trục đối xứng). Bằng việc thay biểu thức 12.9 vào biểu thức 12.10, và sau đó biểu thức này vào 12.12, chúng ta thu được (chú ý rằng \bar{r} trong hệ tọa độ trụ)

$$V_{LM} = -\frac{\mu}{2} \int_{\nu} (\bar{r} \times \nabla \Phi_{LM}) \cdot \bar{J}^i d\nu = \frac{\mu}{2} \int_{\nu} \nabla \Phi_{LM} \cdot (\bar{r} \times \bar{J}^i) d\nu \quad (12.13)$$

Sử dụng

vector $\nabla \cdot (\Phi_{LM} \bar{r} \times \bar{J}^i) = \Phi_{LM} \nabla \cdot (\bar{r} \times \bar{J}^i) + \nabla \Phi_{LM} (\bar{r} \times \bar{J}^i)$, thu được dạng của biểu thức 12.3

$$V_{LM} = \frac{\mu}{2} \int_{\nu} \nabla \cdot (\Phi_{LM} \bar{r} \times \bar{J}^i) d\nu - \frac{\mu}{2} \int_{\nu} \Phi_{LM} \nabla \cdot (\bar{r} \times \bar{J}^i) d\nu \quad (12.14)$$

Áp dụng lý thuyết phân chia cho số hạng đầu tiên bên phải và sử dụng một vector mở rộng (i.e., $\nabla \cdot (\bar{r} \times \bar{J}^i) = \bar{J}^i \cdot \nabla \times \bar{r} - \bar{r} \cdot \nabla \times \bar{J}^i$) vào số hạng thứ hai của biểu thức 12.4, và chú ý rằng $\nabla \cdot \bar{r} = 0$, ta thu được

$$V_{LM} = \frac{\mu}{2} \int_{\nu} \Phi_{LM} (\bar{r} \times \bar{J}^i) \cdot d\bar{S} + \frac{\mu}{2} \int_{\nu} \Phi_{LM} \bar{r} \cdot \nabla \times \bar{J}^i \quad (12.15)$$

Vì $\bar{J}^i = 0$ tại cận của không gian, bề mặt tích chập bằng 0, nên ta có

$$V_{LM} = \frac{\mu}{2} \int_{\nu} \Phi_{LM} \bar{r} \cdot \nabla \times \bar{J}^i \cdot d\nu \quad (12.16)$$

Biểu thức này tương ứng với biểu thức 11.50 trong phép đo điện. Số lượng Φ_{LM} là thế từ vô hướng trong bộ dẫn khối nhờ vào dòng biến thiên được đưa vào của pickup lead. Số hạng $\nabla \times \bar{J}^i$ được định nghĩa như nguồn xoáy, \bar{I}_V :

$$\bar{I}_V = \nabla \times \bar{J}^i \quad (12.17)$$

Trong biểu thức 12.16 đây là độ lớn của nguồn từ trường.

Sự thiết kế nguồn xoáy cho nguồn này diễn ra như là kết quả của việc định nghĩa sự xoáy(curl). Cuối cùng là sự khép kín trên mỗi vùng đơn vị, đó là:

$$\nabla \times \bar{A} = \frac{1}{\Delta S} \oint_{\Delta S} \bar{A} \cdot d\bar{l} \quad (12.18)$$

Và tích phân đường được lấy xung quanh ΔS tại tất cả các điểm trên vùng quan tâm để nó được định hướng trong trường để làm lớn nhất tích phân (cái mà tạo ra hướng của vòng xoáy).

Nếu quan tâm đến trường vận tốc được kết hợp với một lượng nước trong một bình chứa, sau đó lưu lượng nguồn của nó phải bằng 0 nếu nước không được thêm vào hoặc lấy ra. Nhưng với trường, không cần thiết phải bằng 0 trong trường hợp không có nguồn lưu lượng bởi vì nước có thể được khuấy lên., do đó tạo ra trường khác 0. Nhưng xoáy do đó được tạo ra dẫn tới một curl khác 0 đến khi có sự tồn tại rõ ràng một ống khép kín. Điều này giải thích cách sử dụng thuật ngữ “vortex” cũng như vai trò quan trọng của nó như là nguồn của một trường độc lập của lưu lượng.

3.3 tổng kết các biểu thức lý thuyết trường đạo trình cho phép đo điện và từ

Như được tổng kết trong hình 12.2, như một kết quả của dòng biến thiên được đưa vào của từ trường, năm trường biến thiên sau được tạo ra trong bộ dẫn khối: trường thế từ vô hướng Φ_{LM} (được minh họa với bề mặt đẳng thế), từ trường \bar{H}_{LM} (được minh họa với dòng trường), cảm ứng từ \bar{B}_{LM} (được minh họa với đường thông lượng), điện trường \bar{E}_{LM} (được minh họa bởi các dòng trường), và trường dòng điện \bar{J}_{LM} (được mô tả với thông lượng dòng và được gọi là trường đạo trình).

Ngoài năm trường này chúng ta có thể định nghĩa thêm một trường thứ sáu đó là mặt phẳng đẳng nhay. Nó được định nghĩa tương tự như đạo trình điện trong phần 11.6.6. Khi độ từ thẩm là đẳng hướng (thường là trong mô sinh học), đường từ trường trùng với thông lượng cảm ứng từ. Khi bộ dẫn là đẳng hướng, dòng điện trường trùng với thông lượng dòng. Vì thế trong phần tóm tắt, trong một hệ thống đạo trình dò tìm moment lưỡng cực từ của một nguồn khối (xem phần 12.6) từ sáu trường đã nói ở trên, dòng từ trường trùng với thông lượng từ và dòng điện trường trùng với thông lượng trường đạo trình. Tương tự như trong trường hợp điện (xem phần 12.6), mặt phẳng đẳng thế từ vô hướng trùng với từ đẳng trường và mặt phẳng đẳng thông.

Bảng 12.1 tóm tắt biểu thức lý thuyết trường đạo trình cho phép đo điện và từ.

Sự phụ thuộc không gian của thế điện và từ vô hướng được tìm thấy ở biểu thức của Laplace. Những trường này sẽ có những dạng giống nhau (\bar{E}_{LE} vs. \bar{H}_{LM}), nếu hình dạng và vị trí của điện cực và từ cực là như nhau và nếu không có hiệu ứng của bộ dẫn khối không đồng nhất hoặc phân cách với không khí. Tương tự, biểu thức cho tín hiệu điện và từ V_{LE} and V_{LM} , khi tích phân của tích vô hướng của trường đạo trình và trường mật độ dòng được đưa vào, có dạng như nhau.

Điểm khác nhau trong việc phân chia độ nhạy của việc dò tìm điện và trường của mật độ dòng được đưa vào \bar{J}^i là kết quả của sự khác nhau về dạng của trường đạo trình điện và từ \bar{J}_{LE} và \bar{J}_{LM} . Dạng thứ nhất có dạng của điện trường biến thiên, trong khi dạng thứ hai là dạng xoáy của từ trường biến thiên.

Chúng ta nhấn mạnh lần nữa rằng sự thảo luận này của từ trường được giới hạn cho trường hợp đối xứng trục và điều kiện đồng nhất (những điều kiện được mong đợi cho những khả năng ứng dụng được)

Bảng 12.1 Những phương trình cho điện trường và từ trường

| Dại lượng | Điện trường | Từ trường |
|---|---|---|
| Trường như một gradient âm của thế vô hướng của dòng đưa vào biến thiên | $\bar{E}_{LE} = -\nabla \Phi_{LE}$ (11.53) | $\bar{H}_{LM} = -\nabla \Phi_{LM}$ (12.7) |
| Cảm ứng từ do dòng điện đưa vào biến thiên | | $\bar{B}_{LM} = \mu \bar{H}_{LM}$ (12.8) |
| Điện trường biến thiên*) | $\bar{E}_{LE} (= -\nabla \Phi_{LE})$ (11.53) | $\bar{E}_{LM} = \frac{1}{2} \bar{r} \times \bar{B}_{LM}$ (12.9) |
| Trường đạo trình(trường dòng) | $\bar{J}_{LE} = \sigma \bar{E}_{LE}$ (11.54) | $\bar{J}_{LM} = \sigma \bar{E}_{LM}$ (12.10) |
| Tín hiệu dò được khi: $I_{RE} = 1A, dI_{RM} / dt = 1A / s$ | $V_{LE} = \int \frac{1}{\sigma} \bar{J}_{LE} \cdot \bar{J}^i d\nu$ (11.30) | $V_{LM} = \int \frac{1}{\sigma} \bar{J}_{LM} \cdot \bar{J}^i d\nu$ (12.12) |

*)chú ý: điểm khác nhau quan trọng giữa trường đạo trình điện và từ được giải thích như sau: điện trường biến thiên của gradient âm của thế điện vô hướng (như được giải thích trong dòng đầu tiên của bảng). Điện

trường biến thiên của đạo trình từ có dạng xoáy của gradient âm của thế từ vô hướng. (trong cả hai trường hợp, trường đạo trình, được định nghĩa như trường dòng, thu được từ điện trường biến thiên bởi phép nhân với bộ dẫn.) Số lượng của dấu ngoặc là số lượng biểu thức trong bảng.

4 Moment lưỡng cực từ của nguồn khối

Điều kiện đầu:

Nguồn: sự phân bố của \bar{J}^i tạo ra một nguồn khối

Bộ dẫn: hữu hạn, không đồng nhất

Moment lưỡng cực từ của sự phân bố dòng khối \bar{J} liên quan tới nguồn bất kì được định nghĩa như (Stratton, 1941):

$$\bar{m} = \frac{1}{2} \int_{\nu} \bar{r} \times \bar{J} d\nu \quad (12.19)$$

ở đây \bar{r} là vector bán kính tính từ gốc. Mô moment lưỡng cực từ của mật độ dòng tổng \bar{J} , mà nó bao gồm một nguồn dòng khối được phân chia \bar{J}^i và dòng đạo trình của nó,

$$\bar{J} = \bar{J}^i - \sigma \nabla \Phi \quad (7.2)$$

Suy ra

$$\bar{m} = \frac{1}{2} \int_{\nu} \bar{r} \times \bar{J}^i d\nu - \frac{1}{2} \int_{\nu} \bar{r} \times \sigma \nabla \Phi d\nu \quad (12.20)$$

Giả sử σ là cố định, chúng ta có thể sử dụng vector riêng $\nabla \times \bar{r} \Phi = \Phi \nabla \times \bar{r} + \nabla \Phi \times \bar{r} = -\bar{r} \times \nabla \Phi$ (vì $\nabla \times \bar{r} = 0$), và đổi số hạng thứ hai bên phải của biểu thức 12.20 thành dạng :

$$\frac{1}{2} \int_{\nu} \nabla \times \bar{r} \sigma \Phi d\nu \quad (12.21)$$

Bây giờ chúng ta áp dụng 12.4 vào 12.21 và chú ý rằng volume và vì thế tích phân mặt phải được tính từng động cho mỗi vùng nơi mà σ có giá trị khác nhau. Tổng của các tích phân và chỉ ra các giá trị của độ dẫn σ với primed and double-primed kí hiệu của mỗi cận, cuối cùng từ biểu thức 12.20 ta thu được

$$\bar{m} = \frac{1}{2} \int_V \bar{r} \times \bar{J}^i d\nu = \frac{1}{2} \sum_j \int_{S_j} (\sigma_j'' - \sigma_j') \Phi \bar{r} \times d\bar{S}_j \quad (12.22)$$

Biểu thức này đưa đến moment lưỡng cực từ của nguồn khối \bar{J}^i được đặt trong bộ dẫn khối không đồng nhất xác định. Như trong biểu thức 12.6, số hạng thứ nhất ở vế phải biểu thức 12.22 biểu diễn thành phần nguồn khối, và số hạng thứ hai là thành phần của đường bao giữa những vùng khác nhau của bộ dẫn. Biểu thức này được tìm ra lần đầu tiên bởi David Geselowitz (Geselowitz, 1970).

5 Trường đạo trình lý tưởng của một đầu dò đạo trình lưỡng cực từ tương đương của nguồn khối

Điều kiện đầu:

Nguồn: Sự phân bố của \bar{J}^i tạo ra nguồn khối (tại gốc)

Bộ dẫn: hữu hạn (hoặc hình cầu) đồng nhất

Phần này phát triển dạng của trường đạo trình cho một máy dò tìm moment lưỡng cực từ tương đương của nguồn khối đã phân chia được đặt trong một bộ dẫn khối đồng nhất hữu hạn (hoặc hình cầu). Đầu tiên chúng ta phải chọn điểm gốc; chúng ta chọn trung tâm của nguồn làm gốc. (sự lựa chọn này là cần thiết, bởi nhân tố r trong biểu thức của moment lưỡng cực từ, biểu thức 12.22)

Tổng moment lưỡng cực từ của nguồn khối được cân bằng trong biểu thức 12.20 như tích phân khối. Chúng ta chú ý rằng hàm mật độ moment lưỡng cực từ được lấy từ tích phân

$$\bar{m} = \frac{1}{2} \bar{r} \times \bar{J}^i \quad (12.23)$$

Biểu thức 12.14 cung cấp mối quan hệ giữa điện thế đạo trình (từ) và sự phân bố nguồn dòng \bar{J}^i , có dạng

$$V_{LM} = \frac{1}{2} \int \bar{r} \times \bar{B}_{LM} \cdot \bar{J}^i d\nu = -\frac{1}{2} \int \bar{B}_{LM} \cdot \bar{r} \times \bar{J}^i d\nu \quad (12.24)$$

Thế biểu thức 12.23 vào biểu thức 12.24 thu được mối quan hệ mong muốn giữa điện thế đạo trình và mật độ moment lưỡng cực từ, cụ thể là

$$V_{LM} = - \int \bar{B}_{LM} \cdot \bar{m} d\nu \quad (12.25)$$

Biểu thức này có thể được thể hiện trong các từ như sau:

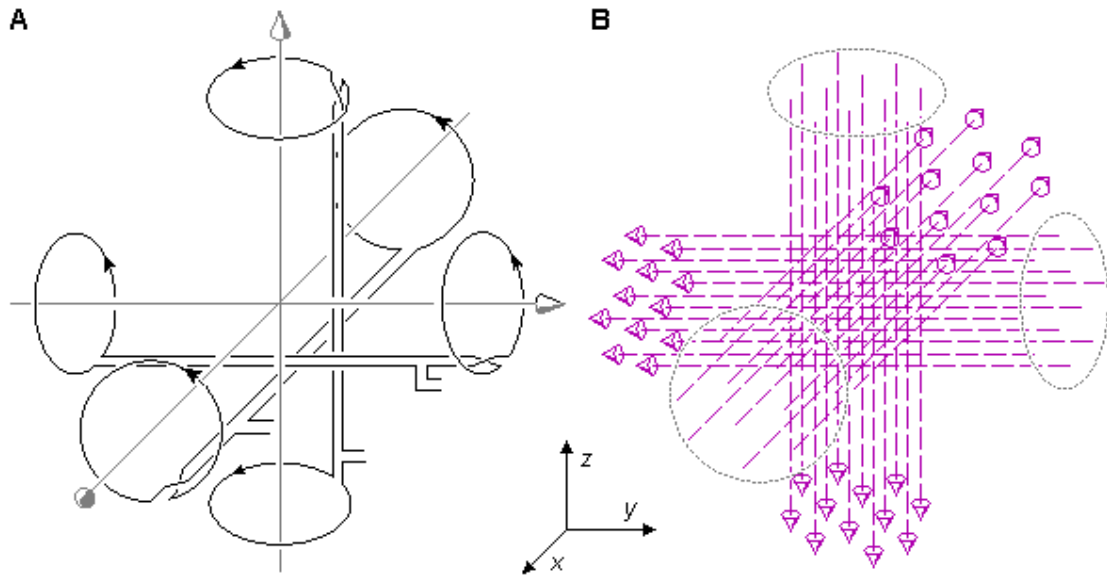
1. Một thành phần của moment từ lưỡng cực của nguồn khối được lấy với một đầu dò, khi có dòng điện chạy qua, tạo ra một từ trường biến thiên đồng nhất \bar{B}_{LM} trong phần âm của hệ tọa độ trong phạm vi của nguồn khối.

2. Từ trường biến thiên tạo ra một điện trường biến thiên $\bar{E}_{LM} = \frac{1}{2} \bar{r} \times \bar{B}_{LM}$ và trường đạo trình từ $\bar{J}_{LM} = \sigma \bar{E}_{LM}$ trong hướng tiếp tuyến với trục đối xứng

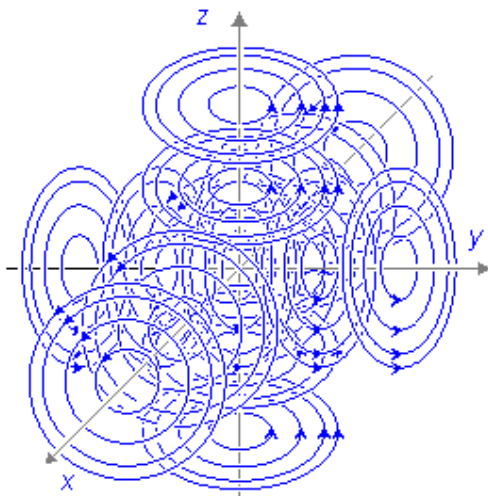
3. Ba trường đạo trình riêng biệt trực giao lẫn nhau từ ba thành phần vuông góc của hệ thống đạo trình hoàn toàn được dò tìm moment lưỡng cực từ của nguồn dòng.

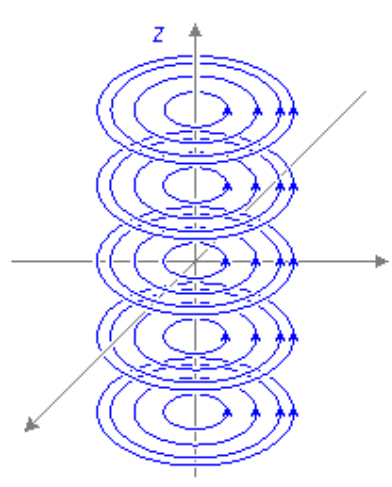
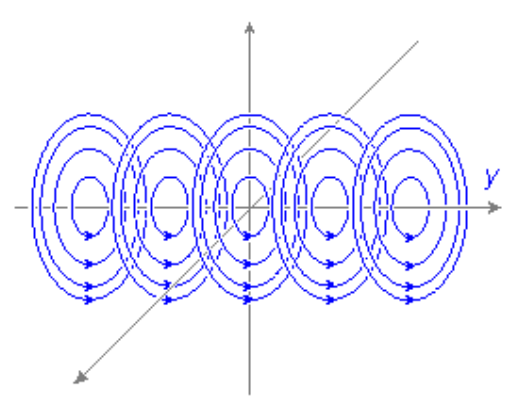
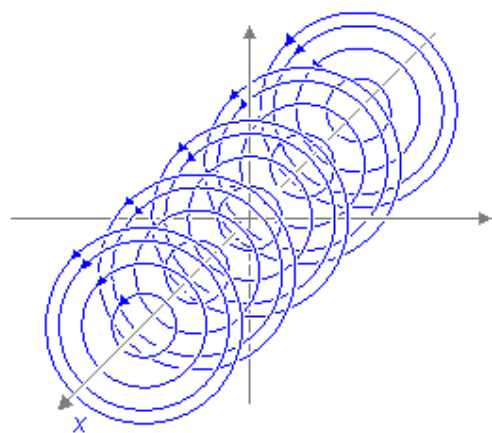
Hình 12.4 trình bày nguyên tắc cơ bản của hệ thống dò tìm moment lưỡng cực từ của nguồn khối. Nó bao gồm một hệ thống cuộn dây lưỡng cực (hình 12.4A) cái mà tạo ra trong trung tâm của nó ba thành phần của từ trường biến thiên \bar{B}_{LM} (hình 12.4B). Chú ý rằng phạm vi nơi mà cuộn dây của hình 12.4A tạo ra từ trường biến thiên là nhỏ hơn vì thế sẽ được giải thích sau, và do đó hình 12.4A và 12.4B không theo tỉ lệ. Ba thành phần từ trường \bar{B}_{LM} tạo ra ba thành phần điện trường biến thiên \bar{E}_{LM} và trường đạo trình \bar{J}_{LM} , được minh họa trong hình 12.5. Điều quan trọng cần lưu ý rằng từ trường biến thiên có dạng hình học giống điện trường biến thiên của đầu dò mà dò tìm moment lưỡng cực điện của nguồn khối. hình 12.24.

Tương tự như biểu thức của điện trường của nguồn khối, biểu thức 7.9, số hạng thứ hai ở vế phải của biểu thức 12.22 biểu diễn sự đóng góp của đường bao và sự không đồng nhất với moment lưỡng cực từ. Đây là sự tương đương với hiệu ứng của đường bao và sự không đồng nhất trong dạng của trường đạo trình. Nói chung, một đầu dò tạo ra một trường đạo trình lý tưởng trong phạm vi nguồn thay thế cho đường bao và sự không đồng nhất của bộ dẫn khối phát hiện ra moment lưỡng cực của nguồn không bị biến dạng.



Hình 12.4 nguyên tắc cơ bản của hệ thống đạo trình dò tìm moment lưỡng cực từ của nguồn khối **(A)** Ba cuộn dây lưỡng cực trục giao **(B)** Ba thành phần của từ trường biến thiên LM trong trung tâm của hệ thống cuộn dây lưỡng cực. Vùng mà cuộn dây tạo ra từ trường biến thiên tuyến tính là nhỏ hơn do đó hình 12.4 A và 12.4 B không theo tỉ lệ.





Hình:12.5 Ba thành phần của trường đạo trình \bar{J}_{LM} của một hệ thống lý tưởng dò tìm moment lưỡng cực từ của nguồn khối.

Ý nghĩa sinh lý học của lưỡng cực từ

Sự phân chia độ nhạy (ví dụ.,trường đạo trình), được minh họa trong hình 12.5, là ý nghĩa sinh lý của phép đo của lưỡng cực từ (tương đương) của một nguồn khối

Tương tự như trong sự dò tìm moment lưỡng cực từ của nguồn khối, định nghĩa của “ý nghĩa sinh lý học” có thể được giải thích trong sự dò tìm của moment lưỡng cực từ của nguồn khối như sau: Khi xem xét các vấn đề phía trước, trường đạo trình minh họa những gì là thành phần (hiệu ứng) của mỗi tế bào hoạt động với tín hiệu của hệ thống đạo trình. Khi đang xem xét một vấn đề nghịch đảo, trường đạo trình minh họa tương tự hầu hết sự phân bố có thể xảy ra và hướng của tế bào hoạt động khi một tín hiệu được tìm thấy trong một đạo trình

Lý thuyết của các phép đo từ sinh học (phần 3)

6. Quá trình đồng bộ trường đạo trình lý tưởng trong sự dò tìm moment lưỡng cực từ của nguồn khối

Điều kiện đầu:

Nguồn: nguồn khối (tại gốc)

Bộ dẫn khối: hữu hạn, đồng nhất với hệ tọa độ cầu đối xứng

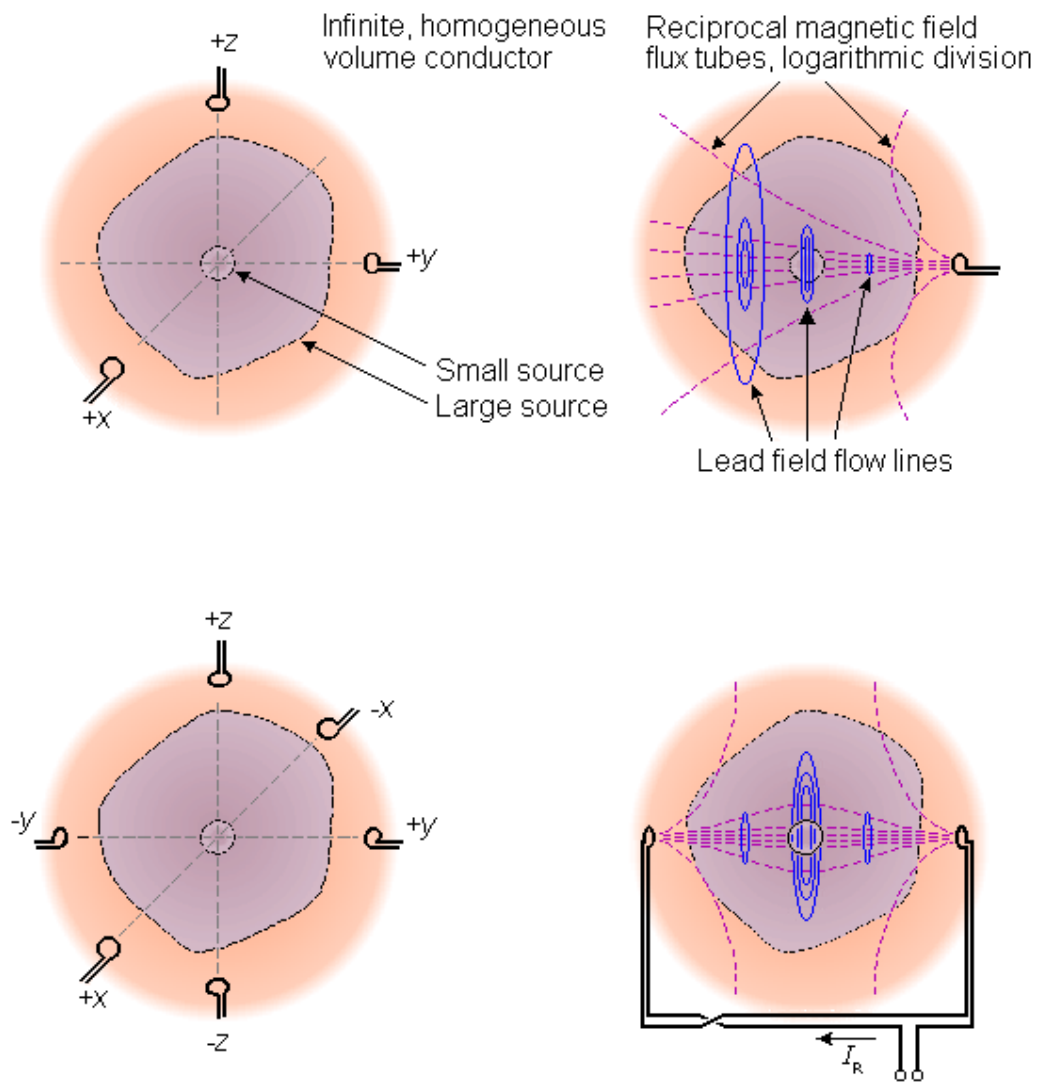
Như trong trường hợp của việc dò tìm moment lưỡng cực điện của nguồn khối, phần 11.6.9, cả đạo trình lưỡng cực và đạo trình đơn cực có thể được sử dụng trong sự đồng bộ trường đạo trình lý tưởng cho việc dò tìm moment lưỡng cực từ của một nguồn khối. Trong trường hợp của một môi trường dẫn khối hữu hạn và điện trường biến thiên đồng nhất, dòng trường đạo trình chảy hướng tâm về trục đối xứng, như được chỉ ra trong hình 12.3. Sau đó không có kết quả thay đổi nếu môi trường dẫn được kết thúc bởi đường bao hình cầu (vì đường chảy đạo trình nằm trong mặt phẳng tiếp tuyến). Mặt cầu bảo đảm dòng đạo trình hiện tại chảy, như hoạt động trong một môi trường đồng nhất hữu hạn, khi từ trường biến thiên đồng nhất được thiết lập theo bất kì hướng tạo độ x -, y -, và z - nào.

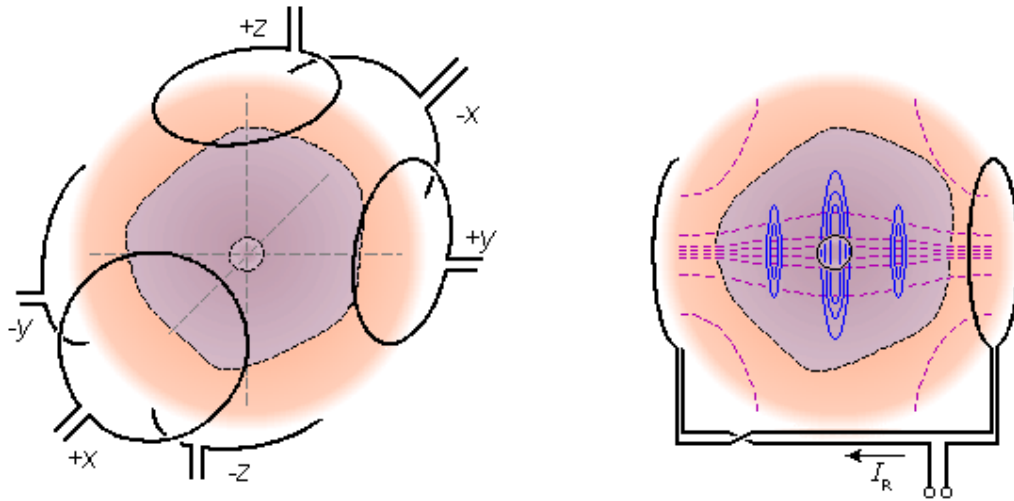
Nếu kích thước của nguồn khối là nhỏ trong quan hệ với khoảng cách điểm quan sát, chúng ta có thể xem xét moment lưỡng cực từ như là sự đóng góp từ một nguồn điểm. Vì thế chúng ta xem xét moment lưỡng cực từ như là một vector riêng. Việc đánh giá như vậy một từ trường lưỡng cực có thể hoàn thành thông qua phép đo đơn cực trên mỗi trục tọa độ như được minh họa trong vế trái của hình 12.6. Nếu kích thước của nguồn khối là lớn, chất lượng của hệ thống đạo trình như đã được nói ở trên là không cao. Bởi vì từ trường biến thiên giảm theo hàm khoảng cách, độ nhạy của từ kế đơn là cao hơn cho nguyên tố gần nguồn hơn so với các nguyên tố xa nguồn hơn. Điều này được minh họa ở vế phải của hình 12.6A. Trong hình 12.6 những đường nét đứt thể hiện ống thông lượng từ trường biến thiên. Các dòng tròn cứng mỏng đại diện cho đường chảy trường đạo trình. Hoạt động của trường đạo trình biến thiên của cuộn từ kế đơn được minh họa một cách chính xác hơn trong hình 20.14, 20.15, 22.3.

Kết quả được nâng cao rất nhiều nếu chúng ta sử dụng cặp đối xứng từ kế tạo ra đạo trình lưỡng cực, như hình 12.6B. Sự sắp xếp đó sẽ tạo ra một

trường đạo trình biến thiên đồng nhất hơn vùng nguồn so với được tạo ra với cuộn đơn của hệ thống đạo trình lưỡng cực (Malmivuo, 1976).

Giống như đối với trường hợp điện, chất lượng của trường đạo trình từ lưỡng cực trong việc đo nguồn khối với kích thước lớn được nâng lên xa hơn bởi sử dụng cuộn dây lớn hơn, kích thước của nó có thể được so sánh với kích thước của nguồn. Điều này được chứng minh trong hình 12.6C.





Hình 12.6: Những dạng đạo trình đơn cực và lưỡng cực trong việc tìm moment lưỡng cực từ tương đương của một nguồn khối. Những đường nét đứt minh họa đường đẳng nhạy. Đường tròn cứng mỏng thể hiện đường chảy trường đạo trình.

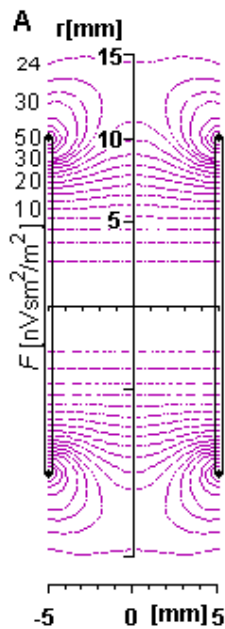
- (A) Nếu kích thước nguồn khối là nhỏ so với khoảng cách phép đo thì phương pháp đơn giản nhất là để tạo ra phép đo với đạo trình điểm trên trục tọa độ.
- (B) Nếu nguồn khối với kích thước lớn chất lượng của trường đạo trình được cải thiện một cách đáng kể bởi việc sử dụng cặp đối xứng của từ kế tạo ra đạo trình lưỡng cực.
- (C) Tăng kích thước của từ kế làm tăng chất lượng đạo trình.

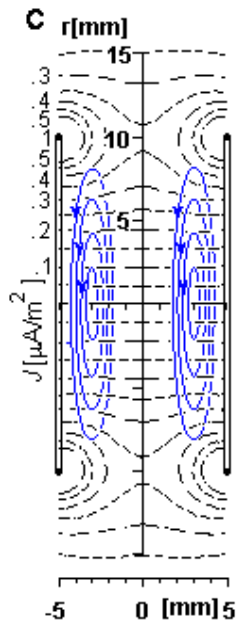
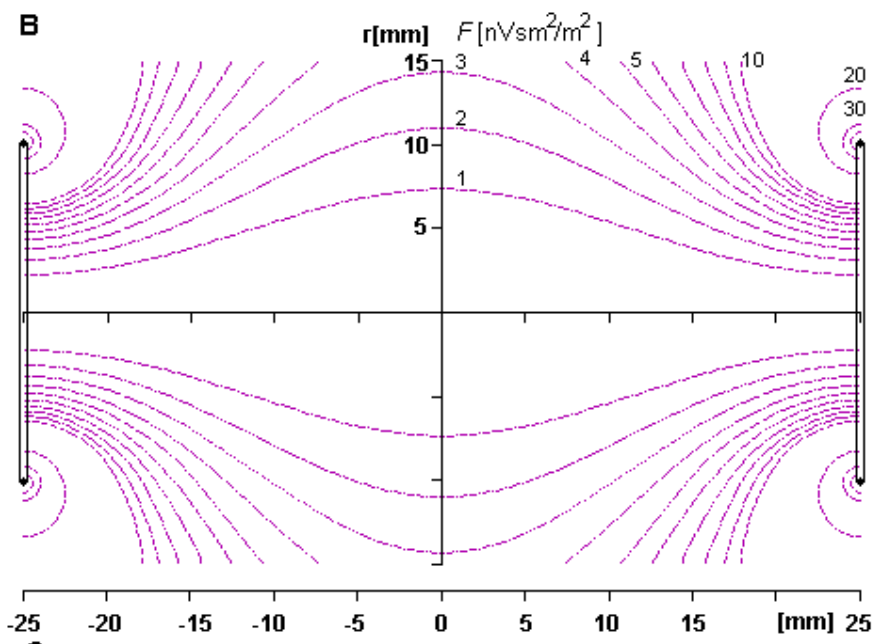
Để mô tả hoạt động của trường đạo trình biến thiên và sự phân bố độ nhạy của đạo trình lưỡng cực như một chức năng của sự tách rời cuộn dây chúng ta minh họa trong hình 12.7 này cho hai cặp cuộn dây với sự phân bố khác nhau. (chú ý rằng, đường đẳng nhạy không giống với đường từ trường biến thiên). Hình 12.7A minh họa từ trường biến thiên như ống thông lượng xoay tròn cho cuộn Helmholtz, đó là một cặp đồng trục của cuộn tròn riêng biệt được tách rời bởi bán kính cuộn. Với sự tách rời cuộn này thành phần bán kính của từ trường kết hợp tại mặt phẳng trung tâm ở mức tối thiểu của nó và từ trường là rất đồng nhất. Cuộn Helmholtz không thể được sử dụng một cách dễ dàng trong việc dò tìm trường từ sinh học, nhưng chúng có thể được sử dụng trong phép đo độ nhiễm từ hoặc phép đo trở kháng. Chúng được sử dụng rất tốt trong việc cân bằng dụng cụ đo trọng sai và cho sự bù trừ từ trường tĩnh của trái đất trong phép đo môi trường. Hình 12.7B minh họa ống thông lượng từ

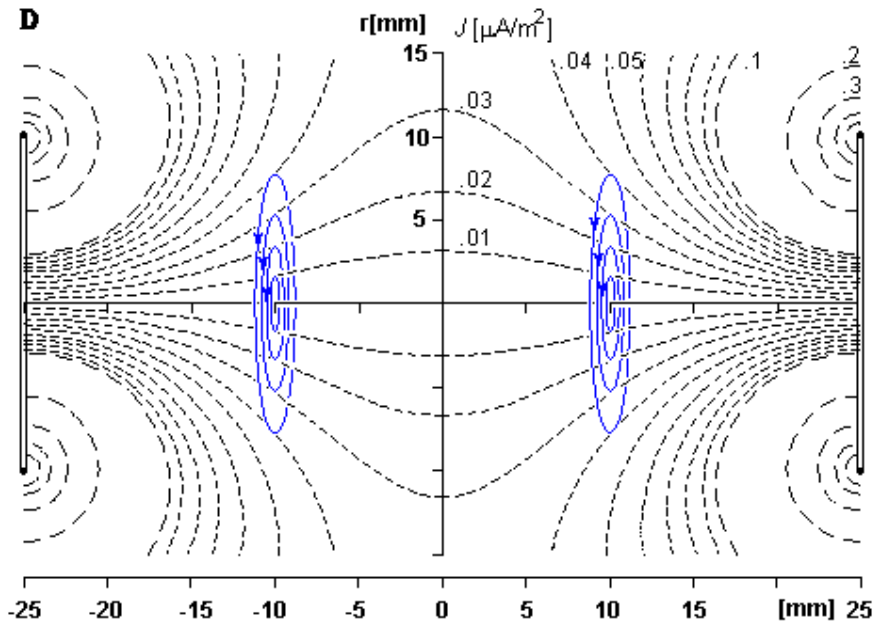
trường biến thiên cho một cặp cuộn dây với sự phân chia $5r$. Hình 12.7C và 12.7D minh họa đường đẳng nhạy cho cuộn dây giống nhau.

Cuối cùng trong chương 20, hình 20.16 minh họa đường đẳng nhạy cho một cặp cuộn dây với sự phân chia $32r$. So sánh hai đạo trình lưỡng cực đó với cuộn Helmholtz có thể chú ý rằng trong chúng vùng nhạy đồng nhất là nhỏ hơn so với trong cuộn Helmholtz. Dựa vào trục đối xứng, tính đồng nhất của đạo trình lưỡng cực là tốt hơn so với đạo trình đơn cực tương ứng.

Sự sắp xếp của đạo trình lưỡng cực phải không được lẫn với hệ thống đo sai số hoặc từ kế khác, mà nó bao gồm hai cuộn dây đồng trục trên cùng một phía của nguồn trong hướng đối diện. Mục đích của sự sắp xếp này là để loại bỏ nhiễu môi trường, không làm tăng chất lượng của trường đạo trình. Việc tìm ra hệ thống đạo trình lưỡng cực với dụng cụ đo trọng sai được minh họa trong hình 12.8. Hình cuối cùng 12.20 minh họa hiệu ứng của cuộn dây thứ hai trong sự phân chia độ nhạy dụng cụ đo trọng sai với vài đường cơ bản.







Hình 12.7: Ống thông lượng của từ trường biến thiên của

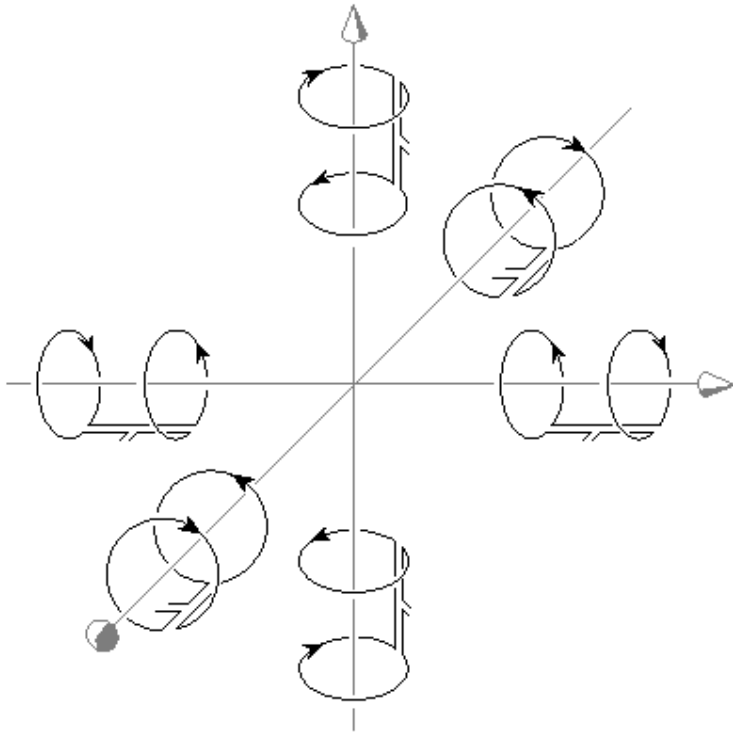
(A) cuộn dây Helmholtz có một sự tách rời cuộn r

(B) đạo trình lưỡng cực với sự tách rời cuộn $5r$ đường đẳng nhạy cho

(C) cuộn dây Helmholtz có một sự tách rời cuộn r

(D) đạo trình lưỡng cực với sự tách rời cuộn $5r$

(chú ý rằng đường đẳng nhạy khác với ống thông lượng của từ trường biến thiên).



Hình 12.8: Hệ thống đạo trình lưỡng cực cho việc dò tìm moment lưỡng cực từ của một nguồn khối được tìm ra với dụng cụ đo trọng sai

7 Sự so sánh trường đạo trình của đạo trình lưỡng cực lý tưởng với việc dò tìm moment lưỡng cực từ và điện của nguồn khối

Điều kiện đầu:

Nguồn: moment lưỡng cực điện và từ của nguồn khối

Bộ dẫn khối: hữu hạn, đồng nhất

Trong phần tóm tắt, chúng ta chú ý chi tiết sau từ trường đạo trình của hệ thống đạo trình lưỡng cực lý tưởng cho việc dò tìm moment lưỡng cực điện và từ của nguồn khối.

7.1 Hệ thống đạo trình lưỡng cực cho việc dò tìm moment lưỡng cực điện

1. Hệ thống đạo trình bao gồm ba thành phần

2. Với một bộ dẫn khối đối xứng cầu, mỗi bộ được tạo ra bởi một cặp điện cực, trục của nó nằm trên hướng của hệ trục tọa độ. Mỗi điện cực nằm trên phía đối diện với nguồn, được chỉ ra trong hình 11.24.

3. Mỗi thành phần, khi dòng được đưa vào một cách biến thiên, một điện trường đồng nhất và tuyến tính được thiết lập trong phạm vi của nguồn khối (xem hình 11.25).

4. Mỗi điện trường biến thiên tạo ra một trường dòng tương tự, mà nó được gọi là trường đạo trình điện \bar{J}_{LE} . (chú ý sự tương đồng trong hình 11.25, minh họa điện trường biến thiên \bar{E}_{LE} của điện trường, và hình 12.7, minh họa từ trường biến thiên \bar{B}_{LM} của từ trường.)

7.2 Hệ thống đạo trình lưỡng cực cho việc dò tìm moment lưỡng cực từ

1. Hệ thống bao gồm ba thành phần

2. Trong trường hợp đối xứng cầu, mỗi thành phần được tạo ra bởi một cặp từ kế (hoặc dụng cụ đo trọng sai) được đặt trong hướng của trục tọa độ đối diện với nguồn, được minh họa trong hình 12.6C (hoặc 12.8).

3. Với mỗi thành phần, khi dòng được đưa vào một cách biến thiên, từ trường đồng nhất và tuyến tính được thiết lập trong phạm vi của nguồn khối, được chỉ ra trong hình 12.4

4. Mỗi từ trường biến thiên tạo ra một điện trường, nhất thiết tiếp tuyến với đường bao. Những điện trường biến thiên này sinh ra một điện trường dòng giống nhau, nó được gọi là trường đạo trình từ \bar{J}_{LM} , được mô tả trong hình 12.5

Những hình 12.8, 12.4, và 12.5 ở trên cho phép chúng ta dễ dàng hơn để có thể nhìn thấy sự tạo ra và hình dạng của trường đạo trình của từ trường.

Lý thuyết của các phép đo từ sinh học (phần 4)

8.Độ nhạy tiếp tuyến và bán kính của hệ thống đạo trình dò tìm moment lưỡng cực điện và từ của một nguồn khối

Điều kiện đầu:

Nguồn: moment lưỡng cực điện và từ của nguồn khối

Bộ dẫn khối: hữu hạn đồng nhất

8.1 Độ nhạy của đạo trình điện

Độ nhạy tiếp tuyến và bán kính của hệ thống đạo trình dò tìm moment lưỡng cực điện của một nguồn khối có thể được ước lượng dễ dàng cho trường hợp nơi mà một trường đạo trình lý tưởng đã từng được thiết lập.

Hình 12.9 mô tả phần mặt cắt của một nguồn khối hình cầu trong một nguồn khối đồng nhất đẳng hướng và hai thành phần của trường đạo trình cho việc dò tìm moment lưỡng cực điện. Đặt Φ là góc giữa đường chảy trường đạo trình điện theo trục hoành và vector bán kính \vec{r} từ tâm của nguồn hình cầu tới điểm tại vị trí mà yếu tố nguồn tiếp tuyến và bán kính \vec{J}_r^i và \vec{J}_t^i , tương ứng, đặt tại đó. Dựa vào biểu thức 11.30, điện thế đạo trình V_{LE} tỉ lệ thuận với hình chiếu của mật độ dòng được đưa vào \vec{J}^i trên dòng chảy đường đạo trình. Độ nhạy của trường đạo trình tổng là tổng độ nhạy của hai đạo trình thành phần; vì thế với thành phần bán kính \vec{J}_r^i ta có:

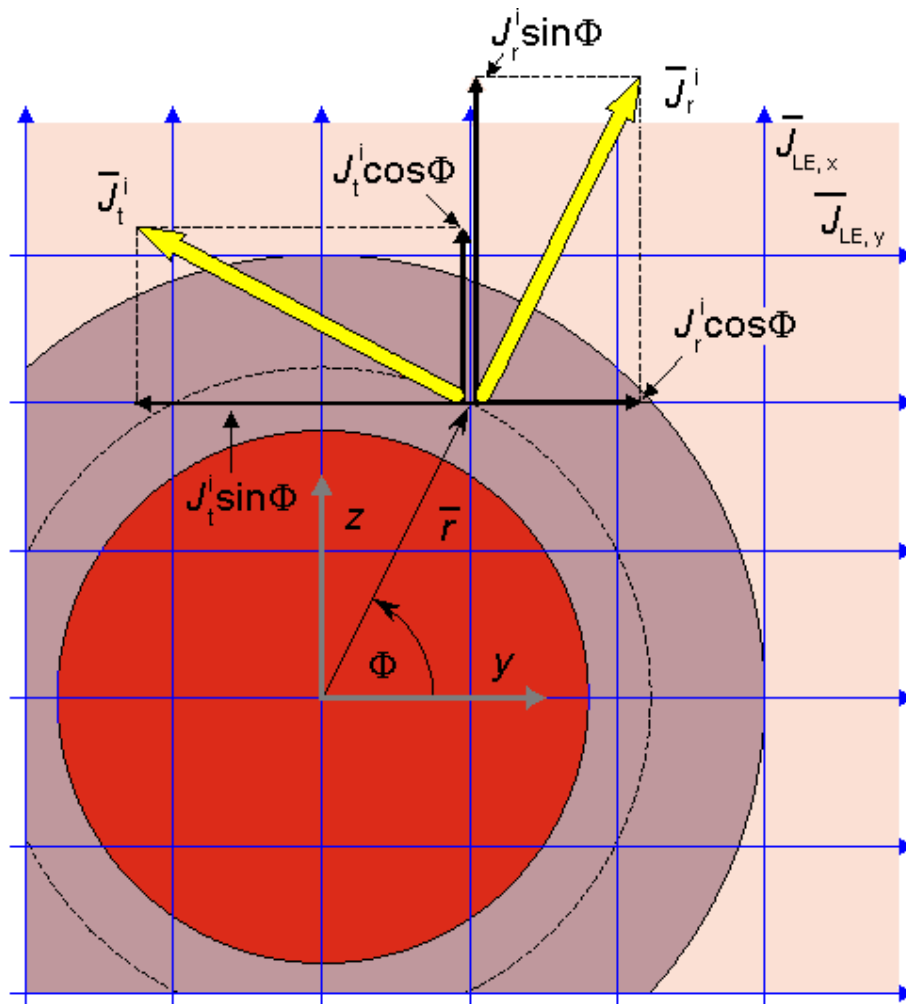
$$V_{LE} (J_r^i) = J_r^i (\sin \phi + \cos \phi) \quad (12.26)$$

Trong khi với thành phần tiếp tuyến ta có

$$V_{LE} (J_t^i) = J_t^i (\sin \phi + \cos \phi) \quad (12.27)$$

Trong những biểu thức trên trường đạo trình thành phần được giả sử là đồng nhất và độ lớn đơn vị

Chúng ta chú ý từ biểu thức 12.26 và 12.27 độ nhạy tổng của hai thành phần của đạo trình điện với thành phần nguồn dòng bán kính và tiếp tuyến \vec{J}^i là bằng nhau và không phụ thuộc vào vị trí của chúng.



Hình 12.9: Mối quan hệ độ nhạy của hệ thống đạo trình điện với lưỡng cực dòng bán kính và tiếp tuyến \bar{J}_r^i và \bar{J}_t^i

8.2 Độ nhạy của đạo trình từ

Từ biểu thức 12.13 và từ định nghĩa moment từ lưỡng cực của nguồn khối (xem biểu thức 12.22), nó có thể được xem là hệ thống đạo trình từ và thành phần của nó chỉ nhạy với thành phần tiếp tuyến của nguồn. Độ lớn của độ nhạy là, như đã chú ý trước đây, tỉ lệ thuận với khoảng cách từ trục đối xứng.

9 Thành phần đặc biệt của trường đạo trình từ

Điều kiện đầu:

Nguồn:

Bộ dẫn khối: hữu hạn, không đồng nhất, đối xứng trụ.

Thành phần đặc biệt của trường đạo trình điện, được liệt kê ở phần 11.6.10, cũng thuộc trường đạo trình từ. Trường đạo trình từ cũng có một số thành phần đặc biệt được tổng kết dưới đây.

1. Nếu bộ dẫn khối bị cắt hoặc đường bao của tính không đồng nhất được chèn vào theo đường chảy dòng trường đạo trình, hình dạng của trường đạo trình không thay đổi (Malmivuo, 1976). Điều này giải thích tại sao hoặc là bộ dẫn nguồn khối hình trụ hoặc là hình cầu, thì hình dạng của trường đạo trình từ đối xứng là không bị ảnh hưởng. Có hai hệ quả quan trọng sau:

1.1 Bởi vì tim có thể được xem như có dạng như hình cầu, khối lượng máu trong tim có độ dẫn cao, có thể được coi như là hình cầu và đồng tâm, không thay đổi hình dạng của trường đạo trình. Điều này có nghĩa là hiệu ứng Brody không tồn tại trong từ tâm đồ (xem chương 18).

1.2 Độ dẫn kém của sọ không ảnh hưởng đến việc dò từ của hoạt động não khi nó hoạt động với việc dò điện (xem hình 12.10).

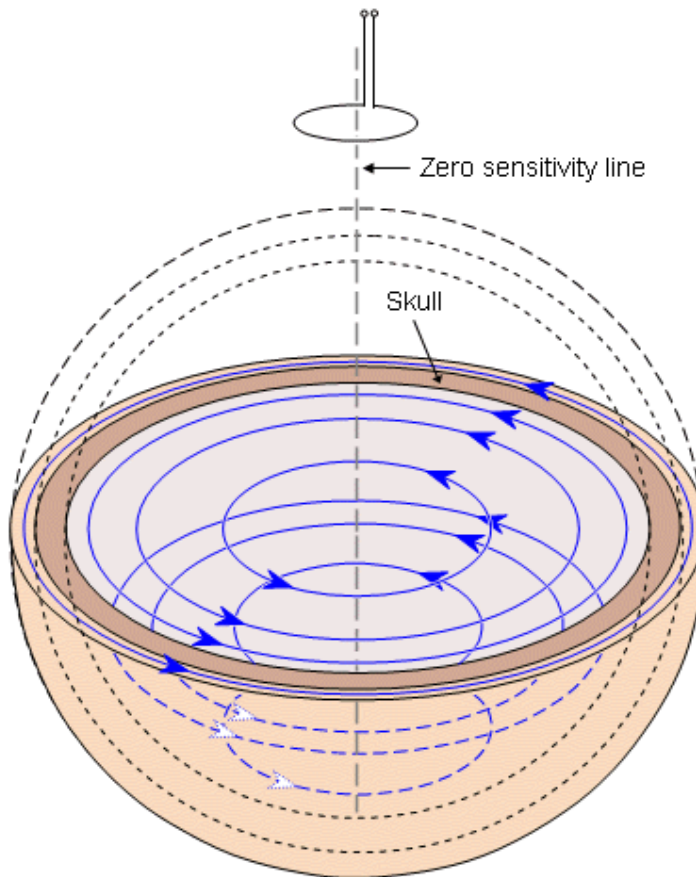
2. Trường đạo trình từ trong bộ dẫn khối chỉ ra đối xứng cầu luôn luôn có hướng tiếp tuyến. Điều này có nghĩa là độ nhạy của đạo trình từ trong một bộ dẫn khối hình cầu với lưỡng cực điện bán kính là luôn bằng 0. Thực tế này có tầm quan trọng đặc biệt trong MEG (xem hình 12.11).

3. Nếu điện cực của đạo trình điện lưỡng cực đối xứng được đặt trên trục đối xứng của đầu dò từ trường lưỡng cực được sắp xếp cho một bộ dẫn khối, trường đạo trình của đạo trình điện và từ là bình thường với mỗi trường thông qua bộ dẫn khối, như minh họa trong hình 12.12 (Malmivuo, 1980). (cùng giữ cho đạo trình đơn cực là tốt, mặc dù không được chỉ ra trong hình).

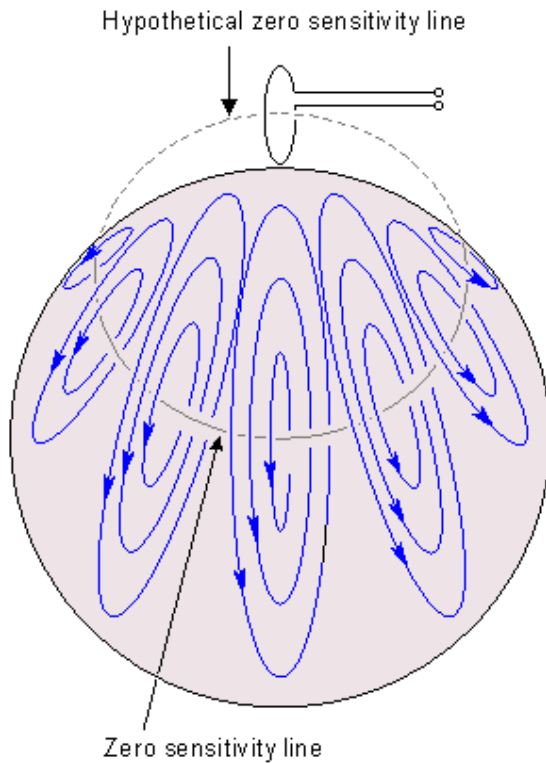
4. Trường đạo trình của tất cả đạo trình từ bao gồm ít nhất một đường nhạy 0, nơi mà độ nhạy của lưỡng cực điện bằng 0. Đường này tồn tại trong tất cả các bộ dẫn khối, trừ khi có một lỗ trong bộ dẫn khối trong vùng này (Eskola, 1979, 1983; Eslola và Malmivuo, 1983). Tự đường nhạy 0 nó đã là một công cụ trong việc hiểu biết hình dạng của đạo trình từ (như được minh họa trong hình 12.13).

5. Lý thuyết biến thiên cũng được áp dụng cho trường hợp tương hỗ. Điều này có nghĩa rằng trong một mô hình bể chứa nó có thể cung cấp một dòng “tương hỗ một cách biến thiên” cho lưỡng cực trong bộ dẫn khối và để đo tín hiệu từ đạo trình. Tuy nhiên, kết quả có thể không được lý giải như đã từng thu được bằng cách cung cấp dòng biến thiên cho đạo trình với tín hiệu được đo từ lưỡng cực. Lợi ích của sự sắp xếp “tương hỗ

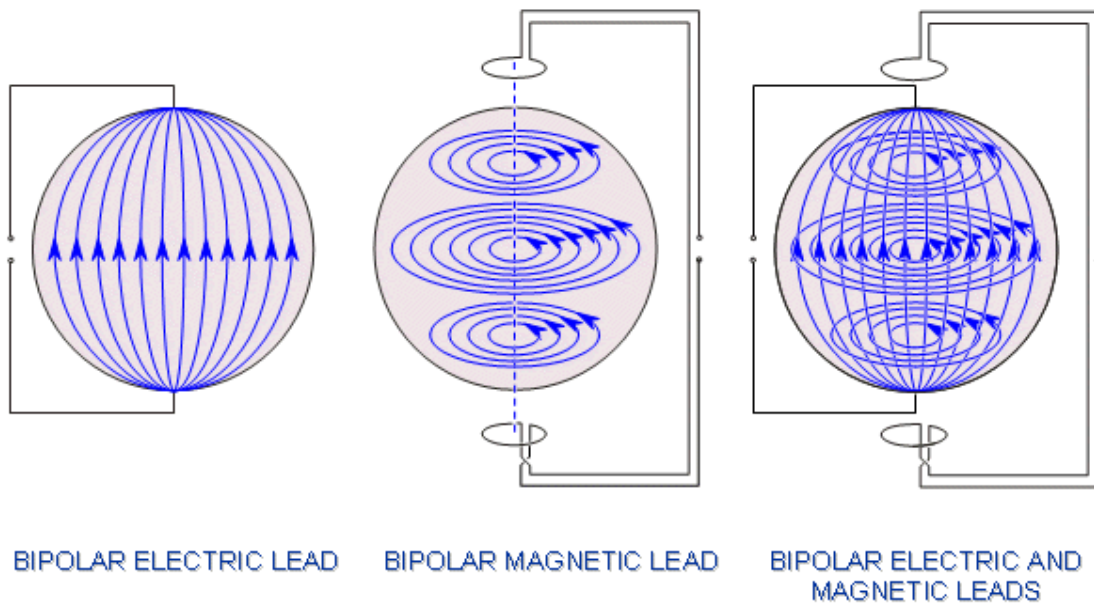
biến thiên” là vì lý do kỹ thuật tỉ số nhiễu tín hiệu có thể được cải thiện trong khi chúng ta vẫn có lợi ích của việc lý giải kết quả như sự phân chia của dòng trường đạo trình trong bộ dẫn khối (Malmivuo, 1976).



Hình 12.10: Độ dẫn kém của sọ không ảnh hưởng đến việc dò tìm từ tính của hoạt động điện của não.

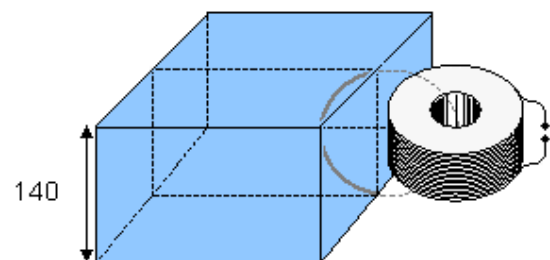
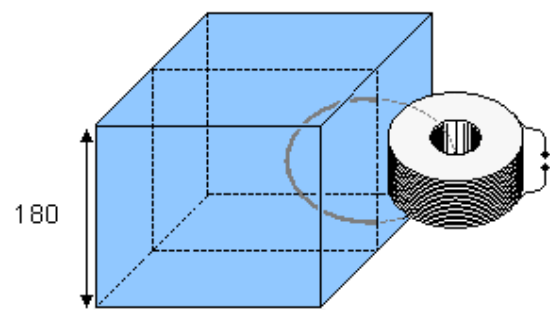
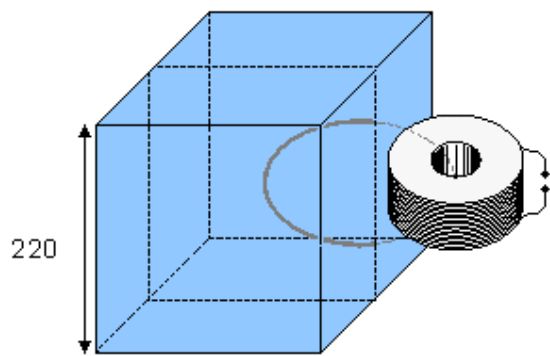
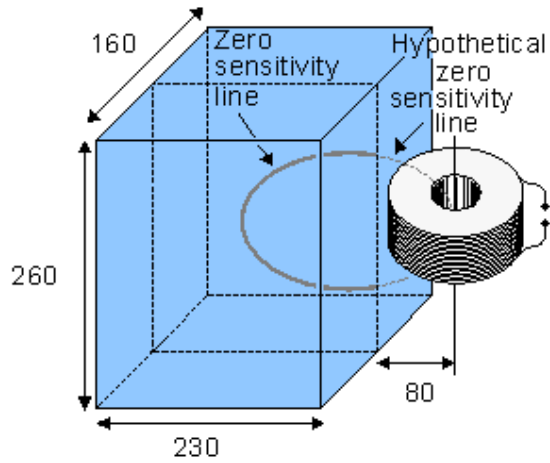


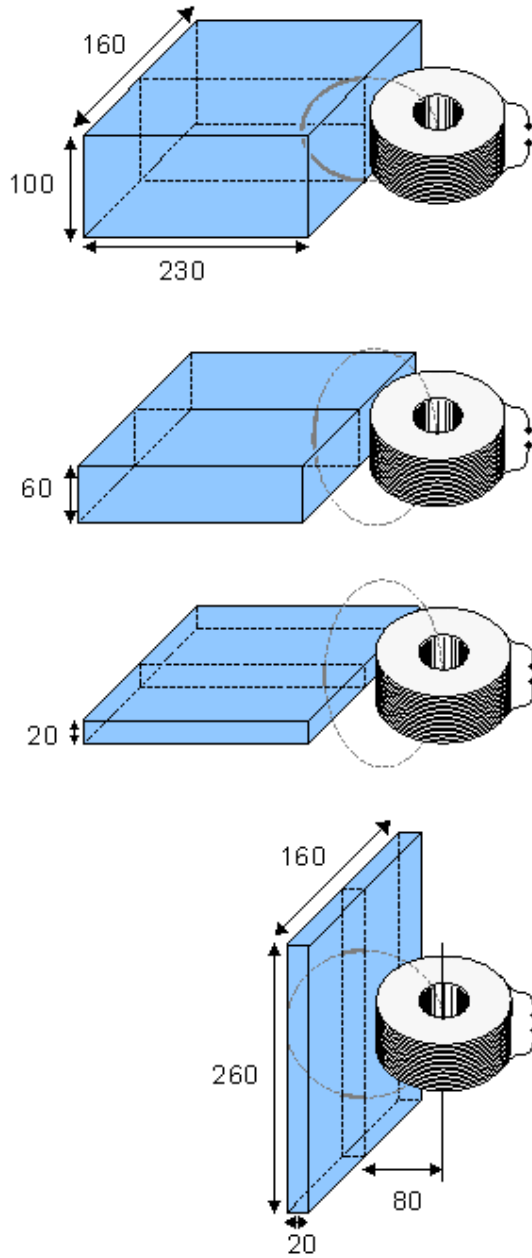
Hình 12.11: Trường đạo trình từ trong bộ dẫn khối chỉ ra đối xứng cầu luôn luôn có hướng tiếp tuyến. Hình vẽ cũng minh họa dạng xấp xỉ của đường nhạy 0 trong bộ dẫn khối. (Đường nhạy 0 có thể được tưởng tượng ra để tiếp tục giả thuyết về cuộn dây từ kế).



Hình 12.12: Nếu điện cực của đạo trình điện lưỡng cực đối xứng được đặt trong trục đối xứng của đầu dò từ trường lưỡng cực được sắp xếp cho

bộ dẫn khối hình cầu , những trường đạo trình này của đạo trình điện và từ là bình thường với mỗi trường thông qua bộ dẫn khối.





Hình 12.13: Đường nhảy 0 trong bộ dẫn khối có hình dạng thay đổi. Kích thước được đưa đến hàng mm (Eskola, 1979, 1983; Eskola and Malmivuo, 1983). Như trong hình 12.11, đường nhảy 0 được minh họa để tiếp tục lý thuyết về cuộn dây từ kế.

10 .Sự độc lập của trường điện sinh học và từ sinh học và phép đo

10.1 Sự độc lập của nguồn dòng và nguồn xoáy

Thuyết của Helmholtz (Morse and Feshbach, 1953; Plonsey and Collin, 1961) nói:

“trường vector chung, không xuất hiện ở vô cực, có thể được biểu diễn hoàn toàn như tổng của hai trường vector riêng biệt; một là không xoáy (curl 0) và một là thuộc solenoit (không phân kì).”

Mật độ dòng được đưa vào là trường vector không xuất hiện ở vô cực và, dựa và lý thuyết, có thể được tính như tổng của hai thành phần:

$$\vec{J}^i = \vec{J}_F^i + \vec{J}_V^i \quad (12.28)$$

ở đây F và V viết tắt cho dòng và xoáy, tương ứng. Từ định nghĩa, những trường vector này thỏa mãn $\nabla \times \vec{J}_F^i = 0$ và $\nabla \times \vec{J}_V^i = 0$.

Đầu tiên chúng ta ví dụ về tính độc lập của tín hiệu điện và trường trong trường hợp đồng nhất hữu hạn, khi số hạng thứ hai ở vế phải của biểu thức 7.10 và 12.6, được gây ra bởi tính đồng nhất, là bằng 0. Biểu thức này có thể được viết lại cho điện thế:

$$4\pi\sigma\Phi = \int_{\nu} \nabla \left(\frac{1}{r} \right) \cdot \vec{J}^i d\nu = \int_{\nu} \frac{\nabla \cdot \vec{J}^i}{r} d\nu \quad (12.19)$$

Và cho từ trường:

$$4\pi\bar{H} = - \int_{\nu} \nabla \left(\frac{1}{r} \right) \cdot \vec{J}^i d\nu = - \int_{\nu} \frac{\nabla \cdot \vec{J}^i}{r} d\nu \quad (12.20)$$

Thế biểu thức 12.18 vào biểu thức 12.19 và 12.30 chỉ ra rằng dưới điều kiện đồng nhất là không cận, trường điện sinh học sinh ra từ $\nabla \times \vec{J}_F^i$, đó là nguồn dòng (biểu thức 7.5), và trường từ sinh học sinh ra từ $\nabla \times \vec{J}_V^i$, đó là nguồn xoáy (biểu thức 12.17). Kể từ khi phát hiện trường từ sinh học đầu tiên, từ tâm đồ, bởi Baule và McFee in 1963 (Baule and McFee, 1963), những chứng minh được bàn ở trên đưa ra rất nhiều sự lạc quan giữa các nhà khoa học. Nếu sự độc lập này được khẳng định, sự dò tìm từ tính của hoạt động điện sinh học có thể mang đến nhiều thông tin mới mà không thấy ở phép đo điện.

Rush là người đầu tiên nhận thấy rằng sự độc lập của tín hiệu điện và từ chỉ là một khả năng toán học và vật lý hạn chế xảy ra mà nó yêu cầu nguồn dòng và nguồn xoáy, và hậu quả là trường điện và từ, về cơ bản là phụ thuộc lẫn nhau trong bộ dẫn khối đồng nhất (Rush, 1975). Điều này có thể được minh họa một cách dễ dàng với một ví dụ được ghi nhận, ví dụ, khi tâm nhĩ của tim co, hoạt động điện sinh học của nó tạo ra một điện trường được ghi lại như là sóng P trong ECG. Cùng thời gian đó

hoạt động điện của nó tạo ra một từ trường được tìm thấy như sóng P của MCG. Tương tự QRS-complexes điện và từ và sóng T được tương quan với nhau, một cách tương ứng. Vì thế, sự độc lập hoàn toàn giữa ECG và MCG là không thể.

Trong một số thông tin mới đây, Plonsey (1982) đã chỉ ra rằng nguồn tế bào chính có thể nhỏ so với nguồn tế bào thứ cấp và điều cuối cùng có thể được đặc trưng như một nguồn hai lớp cho cả thành phần vector từ và điện vô hướng.

10.2 Sự giải thích lý thuyết trường đạo trình của sự độc lập của phép đo trường

Vấn đề về sự độc lập của điện trường và từ trường của nguồn khối và sự giải thích về lý thuyết của Helmholtz có thể được giải thích tốt hơn việc sử dụng lý thuyết trường đạo trình. Chúng ta bàn luận vấn đề này trong sự liên kết với lưỡng cực điện và từ tương đương của nguồn khối. Tất nhiên, sự thảo luận này có thể được dễ dàng mở rộng tốt với nhiều nguồn phức tạp hơn.

Như được giải thích trong phần 11.6.6 trường đạo trình điện được đưa ra bởi biểu thức 11.54. Như được trình bày trong phần 11.6.7, hệ thống đạo trình dò tìm moment lưỡng cực điện của một nguồn khối bao gồm ba điện trường biến thiên \vec{E}_{LE} trực giao, tuyến tính và đồng nhất, sinh ra ba trường đạo trình điện \vec{J}_{LE} trực giao, tuyến tính và đồng nhất. Ba đạo trình này là độc lập với nhau và chúng dò tìm ba thành phần trực giao của nguồn dòng.

Như được thảo luận trong phần 12.3 trường đạo trình từ được đưa ra bởi công thức 12.11. nó đã chỉ ra trong phần 12.5 rằng hệ thống đạo trình dò tìm moment lưỡng cực từ của một nguồn khối bao gồm ba từ trường biến thiên \vec{B}_{LM} trực giao, tuyến tính và đồng nhất, nó sinh ra ba trường đạo trình từ \vec{J}_{LM} trực giao, tuyến tính và đồng nhất. Ba đạo trình đó cũng độc lập với nhau và chúng dò tìm ba thành phần trực giao của nguồn xoáy.

Trong ví dụ đã được đề cập trước đây, nhờ vào thuyết Helmholtz, ba trường đạo trình điện độc lập là độc lập với ba trường đạo trình từ độc lập. Nói cách khác, không đạo trình nào trong sáu đạo trình trên là sự kết hợp tuyến tính của năm đạo trình còn lại. Tuy nhiên, trong trường hợp nguồn khối sinh lý, điện trường và từ trường và ba thành phần trực giao của chúng mà sáu đạo trình đó dò ra là không độc lập hoàn toàn, bởi vì khi nguồn hoạt động, nó sinh ra tất cả ba phép cộng ba thành phần của

điện trường và từ trường trong cách mà kết nối chúng với nhau. Vì thế, trong khi tất cả sau đạo trình này của hệ thống đạo trình vector điện từ có khả năng phát hiện sự độc lập của một nguồn, khả năng đó không cần thiết được nhận ra.

Nó sẽ được chỉ ra trong chương 20 với sự thảo luận về từ tâm đồ mà khi đo moment lưỡng cực điện và từ của một nguồn, cả những phương pháp bao gồm ba đạo trình độc lập và bao gồm khối lượng thông tin giống nhau từ nguồn. Tuy nhiên, thông tin của những phép đo này là khác nhau và vì thế những nhóm bệnh nhân khác nhau được chẩn đoán phù hợp với phương pháp không giống nhau. Nếu trong chẩn đoán tín hiệu điện và từ được sử dụng một cách đồng thời, nhóm bệnh nhân được chẩn đoán phù hợp có thể được kết hợp và tất cả quá trình chẩn đoán sẽ giảm bớt. Điều này cũng có thể được giải thích bởi chú ý rằng trong phương pháp kết hợp chúng ta có tổng đại số $3 + 3 = 6$ đạo trình độc lập. Điều này giảm tổng khối lượng thông tin thu được từ nguồn.

Lý thuyết của các phép đo từ sinh học (phần 5)

11 .Sự phân bố của đạo trình từ cơ bản

Điều kiện đầu:

Nguồn: nguồn khối

Bộ dẫn khối: hữu hạn, không đồng nhất, đối xứng trụ

11.1 Biểu thức của phép tính sự phân bố độ nhạy của đạo trình từ cơ bản

Bởi vì trong bộ dẫn khối hữu hạn đồng nhất đường chảy trường đạo trình từ xoay tròn quanh trục đối xứng, rất dễ để tính dự phân bố độ nhạy của một đạo trình từ trong một bộ dẫn khối đối xứng trụ, mà trục đối xứng của nó trùng với trục của từ kế. Sau đó kết quả có thể được trình bày như một hàm của khoảng cách từ trục đối xứng với khoảng cách từ đầu dò như một tham số (Malmivuo, 1976).

Hình 12.14 minh họa cuộn dây từ kế L_1 và một đường chảy dòng trường đạo trình được đặt đồng trục L_2 . Từ thông F_{21} kết nối vòng lặp L_2 nhờ vào dòng được đưa vào biên thiên I_r trong cuộn dây từ kế được tính toán một cách dễ dàng nhất sử dụng thế vector từ \vec{A} tại vòng lặp L_2 (Smythe, 1968, p. 290).

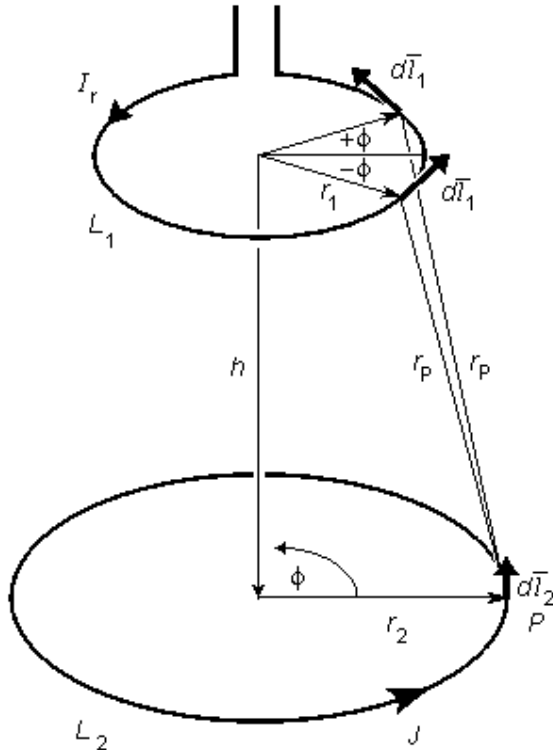
Định luật Faraday phát biểu rằng một từ trường thay đổi theo thời gian bao gồm lực điện động mà tích phân đường của nó xung quanh một vòng khép kín bằng độ thay đổi của từ thông qua vòng mạch điện kín.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = \frac{dF}{dt} \quad (12.31)$$

ở đây $F = \int \vec{B} \cdot \vec{n} da$ da là từ thông được đánh giá bằng tích phân của thành phần bình thường của cảm ứng từ \vec{B} cắt qua mặt phẳng của vòng. Với một vòng tròn tích phân ở vế trái của biểu thức 12.31 bằng $2\pi r E$, ở đây r là bán kính của vòng, và chúng ta thu được mật độ dòng

$$J = \sigma E = \frac{\sigma}{2\pi r} \frac{dF}{dt} \quad (12.32)$$

ở đây σ là độ dẫn của môi trường. Mật độ dòng có hướng tiếp tuyến. Bây giờ vấn đề được giảm bớt cho việc xác định từ thông kết nối một vòng tròn trong môi trường nhờ vào một dòng điện được đưa vào một cách biến thiên trong cuộn từ kế được đặt đồng trục.



Hình 12.14: Dạng hình học cho phép tính độ nhạy cầu của một từ kế trong trường hợp trục đối xứng trụ

Phương trình cơ bản cho phép tính thế vector tại điểm P dựa vào một dòng \$I\$ sau trong một bộ dẫn khối mỏng là

$$\vec{A}_P = \frac{\mu}{4\pi} \oint \frac{I d\vec{l}}{r_P} \quad (12.33)$$

ở đây μ là độ từ thâm của môi trường;

r_P là khoảng cách từ yếu tố bộ dẫn khối đến điểm P

Biểu thức này có thể được sử dụng để tính thế từ vector tại điểm P trong hình 12.14. Từ trục đối xứng chúng ta biết rằng trong tọa độ cầu độ lớn của là độc lập với góc Φ . Vì thế, để đơn giản, chúng ta chọn điểm P sao cho $\Phi = 0$. chú ý rằng những yếu tố ở khoảng cách bằng nhau của độ dài $d\vec{l}_1$ tại $+\Phi$ và $-\Phi$ được ghép thành cặp, kết quả là bình thường cho hr . Vì

thế \bar{A} chỉ có một thành phần A_ϕ . Nếu biểu diễn dl_ϕ theo thành phần $d\bar{l}_1$, sau đó biểu thức 12.33 có thể được viết lại như sau:

$$A_\phi = \frac{\mu I_R}{4\pi} \oint_{L_1} \frac{dl_\phi}{r_P} = \frac{\mu I_R}{4\pi} \oint_{L_1} \frac{dl_1 \cos \phi}{r_P} = \frac{\mu I_R}{2\pi} \int_0^\pi \frac{r_1 \cos \phi d\phi}{(r_1^2 + r_2^2 + h^2 - 2r_1 r_2 \cos \phi)^{\frac{1}{2}}} \quad (12.34)$$

Từ thông F_{21} có thể được tính từ thế vector:

$$F_{21} = \oint_{L_2} \bar{A}_2 \cdot d\bar{l}_2 = 2\pi r_2 A_\phi \quad (12.35)$$

Nếu thế $\phi = \pi - 2\alpha$, nó trở thành

$$F_{21} = \mu I_R \sqrt{r_1 r_2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{k (2 \sin^2 \alpha - 1)}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \alpha}} d\alpha = \mu I_R \sqrt{h^2 + (r_1 + r_2)^2} \left[\left(1 - \frac{k^2}{2}\right) K(k) \right] \quad (12.36)$$

ở đây

$$k^2 = \frac{4r_1 r_2}{h^2 + (r_1 + r_2)^2} \quad (12.37)$$

Và $K(k)$ và $E(k)$ là tích phân ellip đầy đủ của dạng thứ nhất và thứ hai, một cách tương ứng. chúng được tính từ biểu thức 12.38A,B. (Abramowitz and Stegun, 1964, p. 590) and $K(k)$ and $E(k)$ are complete elliptic integrals of the first and second kind, respectively. These are calculated from equations 12.38A,B. (Abramowitz and Stegun, 1964, p. 590)

$$K\left(k, \frac{\pi}{2}\right) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - k^2 \sin^2 \phi)^{-\frac{1}{2}} d\phi \quad (12.38a)$$

$$E\left(k, \frac{\pi}{2}\right) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} (1 - k^2 \sin^2 \phi)^{\frac{1}{2}} d\phi \quad (12.38b)$$

Giá trị $K(k)$ và $E(k)$ cũng có thể được tính bằng dãy sau

$$K\left(k, \frac{\pi}{2}\right) = \frac{\pi}{2} \left[1 + \left[\frac{1}{2}\right]^2 k^2 + \left[\frac{3}{2 \cdot 4}\right]^2 k^4 + \left[\frac{3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right]^2 k^6 + \dots \right] \quad (12.39a)$$

$$E\left(k, \frac{\pi}{2}\right) = \frac{\pi}{2} \left[1 - \left[\frac{1}{2}\right]^2 k^2 - \left[\frac{3}{2 \cdot 4}\right]^2 \frac{k^4}{3} - \left[\frac{3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right]^2 \frac{k^6}{5} + \dots \right] \quad (12.39b)$$

Phép tính $K(k)$ and $E(k)$ nhanh hơn từ dãy, nhưng chúng cho những kết quả không chính xác tại khoảng cách nhỏ từ cuộn dây và vì thế việc sử dụng biểu thức 12.38A, B được khuyến dùng.

Thế biểu thức 12.36 vào 12.32 cho mật độ dòng trường đạo trình như một hàm của độ thay đổi của dòng cuộn dây trong từ kế có dòng được đưa và biến thiên

$$J_{LM} = \frac{\sigma 4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi r_2} \sqrt{h^2 + (r_1 + r_2)^2} \left[\left(1 - \frac{k^2}{2}\right) K(k) - E(k) \right] \frac{dI_R}{dt} \quad (12.40)$$

Bởi vì chúng ta quan tâm đến sự phân bố độ nhạy và không chú ý đến độ nhạy tuyệt đối với tần số trung tâm hoặc giá trị độ dẫn, kết quả của biểu thức 12.40 có thể được chuẩn hóa bằng định nghĩa (tương tự như làm với phần 12.3.1 trong sự chuyển biểu thức cho trường đạo trình từ)

$$\frac{dI_R}{dt} = 1 \\ \sigma = 1 \quad (12.41)$$

Và chúng ta thu được biểu thức từ việc tính toán mật độ dòng trường đạo trình cho một từ kế cuộn dây đơn trong bộ dẫn khối đồng nhất hữu hạn:

$$J_{LM} = \frac{2\pi \cdot 10^{-7}}{r_2} \sqrt{h^2 + (r_1 + r_2)^2} \left[\left(1 - \frac{k^2}{2}\right) K(k) - E(k) \right] \quad (12.42)$$

ở đây tất cả khoảng cách được đo ra m, và mật độ dòng trong $[A/m^2]$.

Nếu khoảng cách h là lớn so với bán kính cuộn dây r_1 và bán kính đường chảy dòng trường đạo trình r_2 , cảm ứng từ bên trong đường sức có thể được xem như là không đổi, và biểu thức 12.42 được đơn giản hóa rất nhiều. Giá trị của từ thông trở thành πr^2 . Thế nó vào biểu thức 12.32, ta có

$$J_{LM} = \frac{\sigma r dB}{2 dt} \quad (12.43)$$

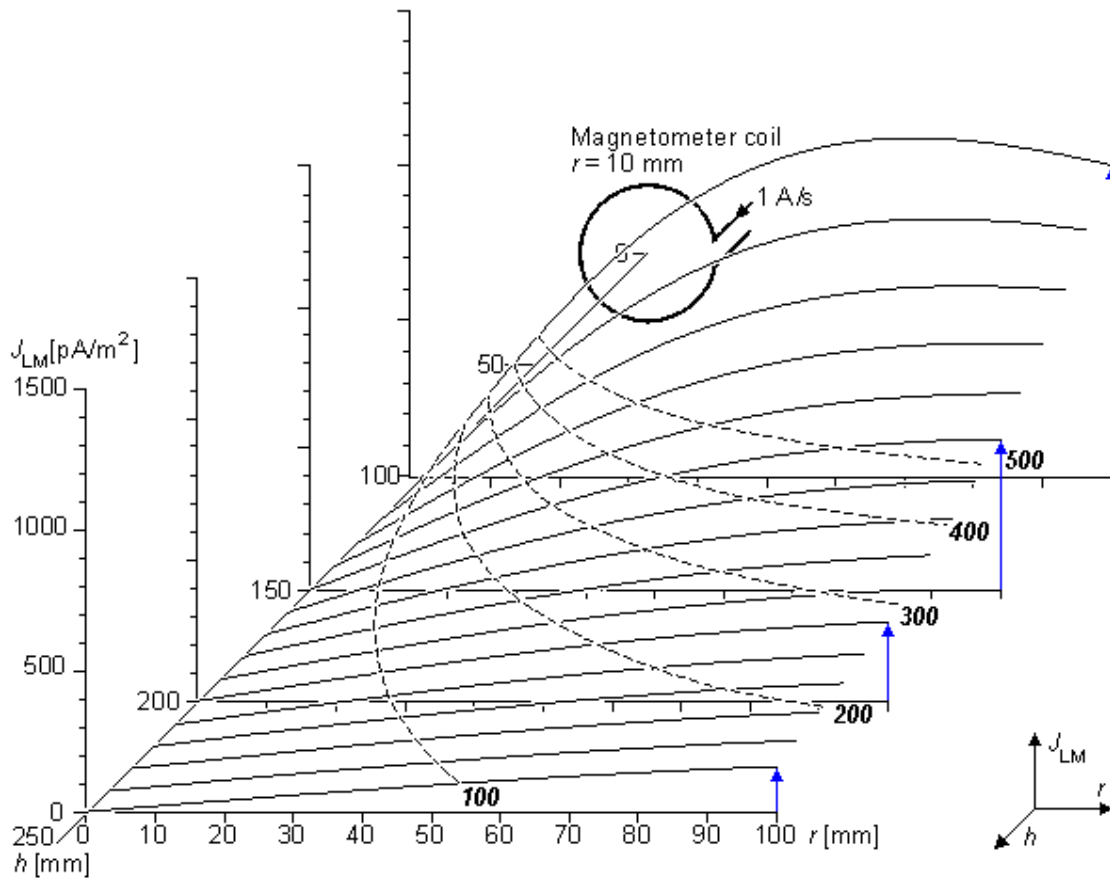
Cảm ứng từ có thể được tính trong trường hợp này như cho một nguồn lưỡng cực. Biểu thức 12.43 chỉ ra một cách rõ ràng rằng trong vùng cảm ứng từ không đổi và độ dẫn không đổi, mật độ dòng trường đạo trình tỉ lệ thuận với khoảng cách bán kính từ trục đối xứng. Chú ý rằng biểu thức này phù hợp với biểu thức 12.11.

11.2 Mật độ dòng trường đạo trình của một trường đạo trình đơn cực của từ kế một cuộn dây

Do đối xứng, mật độ dòng trường đạo trình là độc lập với góc Φ trong hình 12.14. Vì thế, mật độ dòng trường đạo trình có thể được đặt như một hàm của khoảng cách bán kính r từ trục đối xứng với khoảng cách h từ từ kế như là một tham số. Hình 12.15 chỉ ra sự phân bố mật độ dòng trường đạo trình của đạo trình đơn cực được tạo ra bởi từ kế một cuộn dây với bán kính cuộn dây là 10mm trong một bộ dẫn khối đối xứng trụ được tính từ biểu thức 12.42. Mật độ dòng trường đạo trình có hướng tiếp tuyến. (với thang đo tỉ lệ, hình vẽ có thể được sử dụng cho nghiên cứu những khoảng cách phép đo khác nhau)

Hình 12.15 chỉ ra rằng trong một đạo trình đơn cực mật độ dòng trường đạo trình là phụ thuộc mạnh mẽ vào khoảng cách cuộn dây từ kế. Nó cũng chỉ ra rằng kích thước nhỏ của vùng mà mật độ dòng trường đạo trình giảm xấp xỉ tuyến tính như một hàm của khoảng cách bán kính từ trục đối xứng, nhất là gần cuộn dây.

Đường nét đứt trong hình 12.15 là những đường đẳng nhạy; tham gia các điểm nơi mà mật độ dòng trường đạo trình là 100, 200, 300, 400, và $500\text{pA}/\text{m}^2$, tương ứng, như được chỉ ra bởi những số in nghiêng.



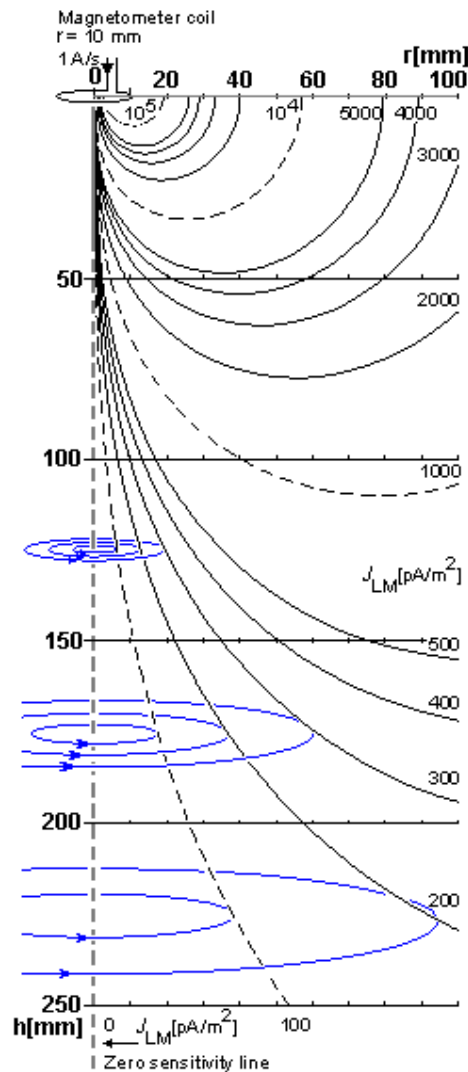
Hình 12.15: Sự phân chia mật độ dòng trường đạo trình của một từ kế một cuộn dây với bán kính cuộn dây là 10mm trong một bộ dẫn khối đối xứng trụ được tính từ biểu thức 12.42. Những đường nét đứt là đường đẳng nhạy; tham gia các điểm nơi mà mật độ dòng trường đạo trình là 100, 200, 300, 400, và 500 pA / m², tương ứng, như được chỉ ra bởi những số in nghiêng.

Hình 12.16 minh họa đường đẳng nhạy cho một từ kế một cuộn dây của hình 12.15; bán kính cuộn dây là 10mm, và bộ dẫn khối là đối xứng cầu.

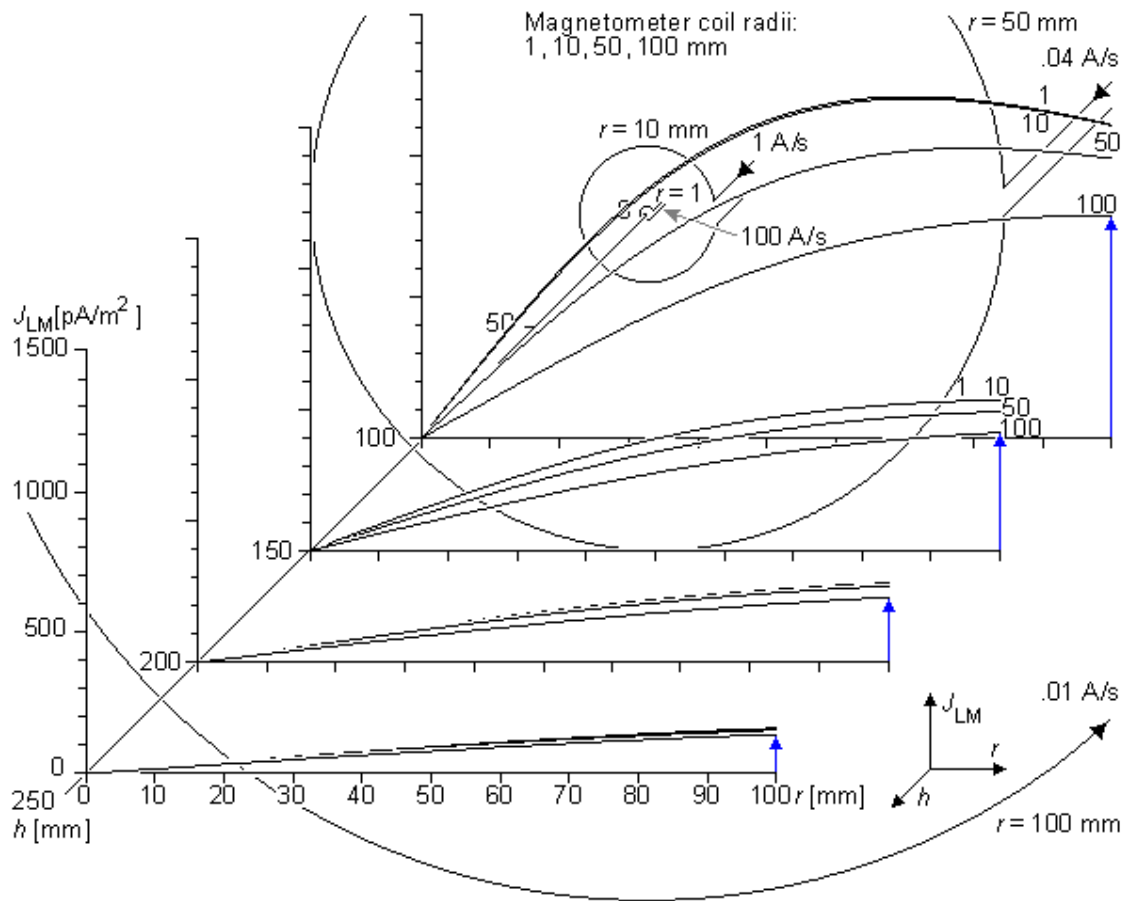
Trục tung chỉ ra khoảng cách h từ từ kế và trục hoành khoảng cách bán kính r từ trục đối xứng. Trục đối xứng, được vẽ với đường nét đứt đậm, là đường nhạy 0. Đường sức dòng trường đạo trình là những vòng tròn đồng tâm quang trục đối xứng. Để minh họa điều này, hình vẽ chỉ ra ba đường sức thể hiện mật độ dòng 100, 200, và 300 pA/m² tại mức $h = 125$ mm, 175mm, và 225mm. Như trong hình trước, giá trị mật độ dòng trường đạo trình được tính từ dòng biến thiên của $I_R = 1$ A/s.

Hiệu quả của bán kính cuộn dây trong đạo trình đơn cực trong mật độ dòng trường đạo trình được chỉ ra trong hình 12.17. Trong hình này, mật

độ dòng trường đạo trình được minh họa cho cuộn dây với bán kính 1mm, 10mm, 50mm, 100mm. Dòng điện được đưa vào trong cuộn dây được chuẩn hóa trong quan hệ với vùng cuộn dây để thu được moment lưỡng cực không đổi. Bán kính 10mm được đưa vào với một dòng $dI/dt = 1$ [A/s].



Hình 12.16: Đường đẳng nhạy cho một từ kế một cuộn dây của hình 12.15; bán kính cuộn dây là 10mm, và bộ dẫn khối là đối xứng trục. Trục tung chỉ ra khoảng cách h từ từ kế và trục hoành bán kính r từ trục đối xứng. Trục đối xứng được vẽ với đường nét đứt đậm là đường nhạy 0. Đường nét liền mỏng biểu diễn đường sức dòng trường đạo trình.



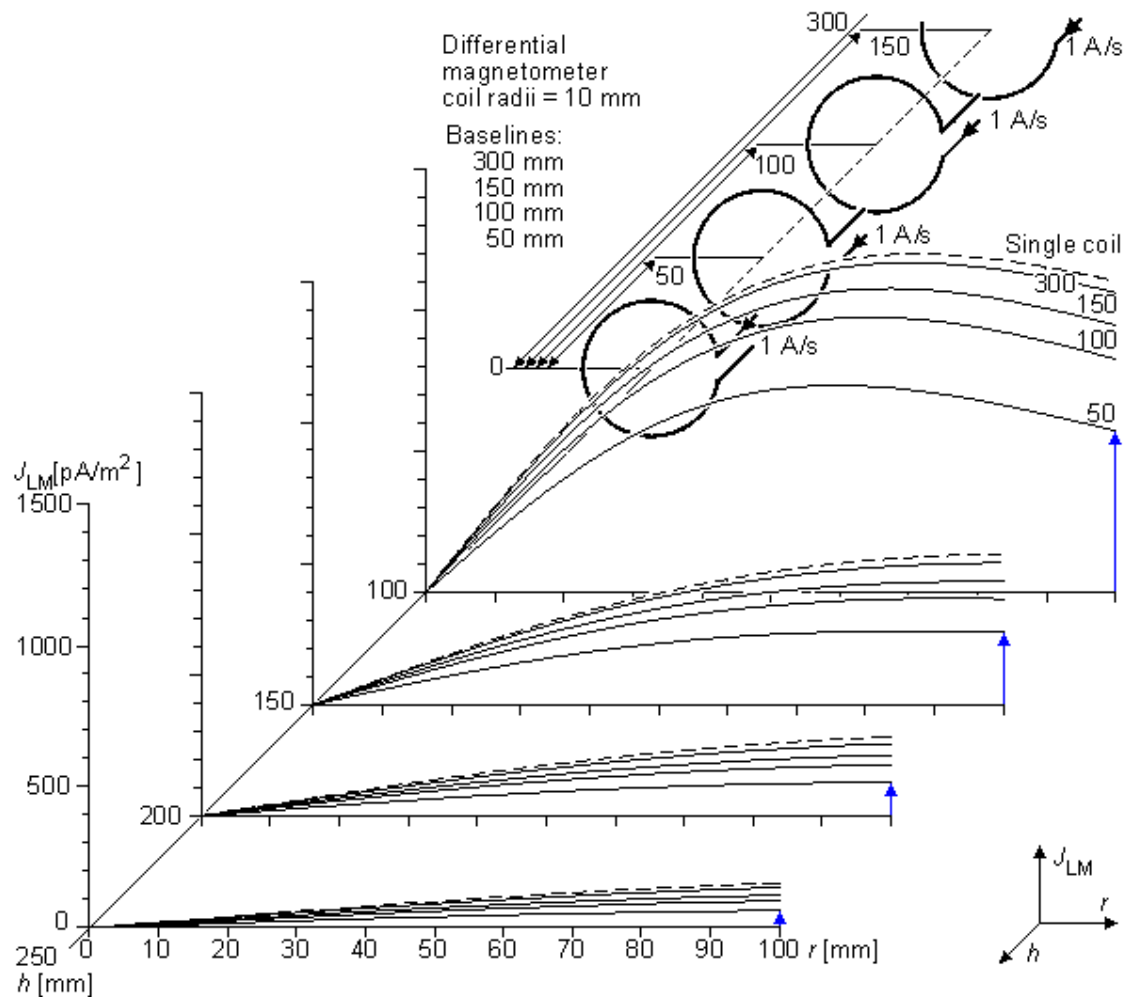
Hình 12.17: Mật độ dòng trường đạo trình với bán kính cuộn dây là 1 mm, 10 mm, 50 mm, 100 mm. Dòng điện được đưa vào cuộn dây được chuẩn hóa trong quan hệ với vùng cuộn dây để thu được moment lưỡng cực không đổi.

11.3 Hiệu ứng của cuộn dây ở xa với trường đạo trình của đạo trình điểm

Bởi vì tỉ số nhiễu tín hiệu nhỏ của tín hiệu từ sinh học, phép đo thường được tạo ra với một trọng sai kế thứ nhất hoặc thứ hai. Trọng sai kế first-order là một từ kế bao gồm hai cuộn dây đồng trục được tách nhau bởi khoảng cách trung tâm, được gọi là đường cơ sở. Cuộn dây được cuốn vào hướng đối diện. Bởi vì từ trường của nguồn ở xa (nhiều) được tính trong cả hai cuộn dây, chúng được loại bỏ. Từ trường ở gần với một cuộn dây tạo ra một tín hiệu mạnh trong cuộn dây ở gần gốc (ví dụ, cuộn dây gần nguồn) hơn là với nguồn ở xa (xa nguồn hơn), và sự khác biệt của những trường này được tìm ra. Độ nhạy trọng sai kế với nguồn bị giảm bớt bởi cuộn dây ở xa bởi số lượng lớn ngắn hơn đường cơ sở. Cuộn dây ở xa cũng làm tăng hiệu ứng lân cận- đó là, độ nhạy của trọng sai kế khác

nhau như một hàm của khoảng cách tới nguồn giảm nhanh hơn so với độ nhạy của từ kế một cuộn dây.

Hình 12.18 minh họa mật độ dòng trường đạo trình cho đạo trình đơn cực được tìm ra với những từ kế khác nhau (ví dụ, trọng sai kế). Mật độ dòng trường đạo trình J được minh họa với những đường cơ bản khác nhau như một hàm của khoảng cách r từ trục đối xứng với khoảng cách từ kế h như một tham số. Những từ kế khác nhau có một bán kính cuộn dây là 10mm và một đường cơ sở là 300mm, 150mm, 100mm, 50mm..

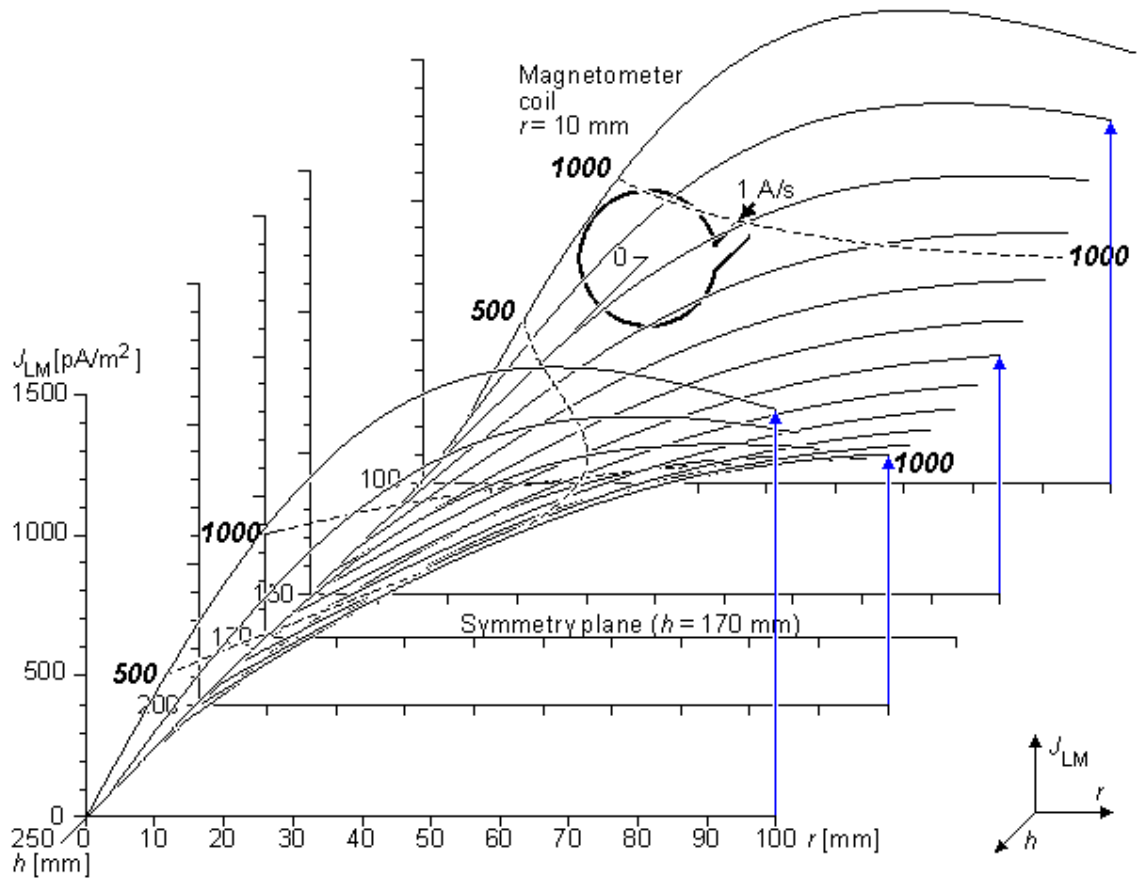


Hình 12.18: Mật độ dòng trường đạo trình cho những đạo trình đơn cực được nhận ra với các từ kế khác nhau bán kính là 10mm và với đường cơ sở 300mm, 150mm, 100mm, 50mm.

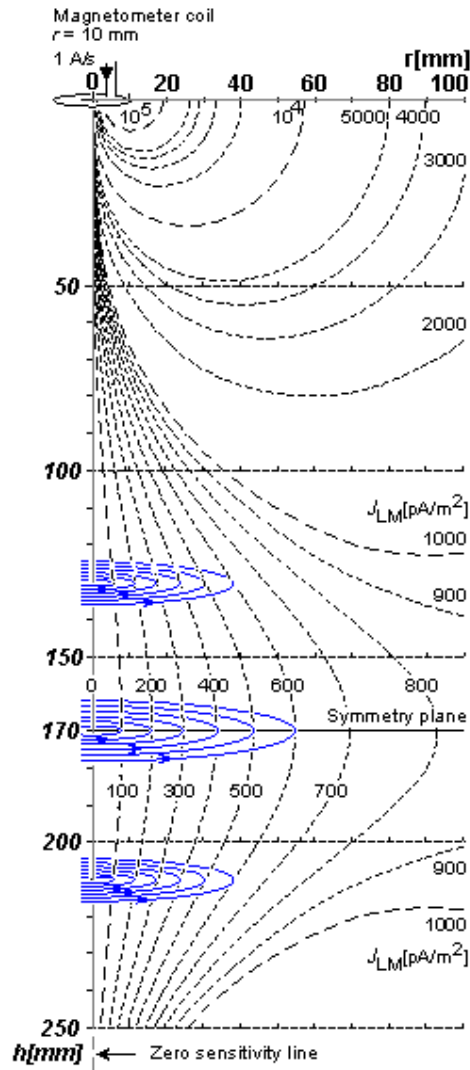
Mật độ dòng trường đạo trình của đạo trình lưỡng cực

Như được thảo luận trong phần 12.7 và được minh họa trong hình 12.5, khi dò tìm moment lưỡng cực của một nguồn khối với kích thước lớn hơn so với khoảng cách phép đo, trường đạo trình với vùng nguồn là lý tưởng hơn nhiều nếu một đạo trình lưỡng cực thay thế cho một đạo trình đơn cực được sử dụng. Hình 12.19 chỉ ra mật độ dòng trường đạo trình của một đạo trình lưỡng cực trong một bộ dẫn khối đối xứng trụ được tìm ra với hai từ kế một cuộn dây đồng trục có bán kính cuộn dây là 10mm. Khoảng cách giữa các cuộn dây là 340mm. Chú ý rằng, trong việc sắp xếp trường đạo trình lưỡng cực những cuộn dây được cuốn cùng chiều với nhau và nguồn được đặt ở giữa các cuộn dây. Mật độ dòng trường đạo trình như một hàm của khoảng cách bán kính là thấp nhất trong mặt phẳng đối xứng, ví dụ., trong mặt phẳng được đặt ở giữa hai cuộn dây. Bởi vì hai cuộn dây bù trừ hiệu ứng lân cận của mỗi cuộn dây khác, mật độ dòng trường đạo trình không thay đổi nhiều như một hàm của khoảng cách từ cuộn dây trong trong mặt phẳng đối xứng gần. Điều này được minh họa với đường đẳng nhạy 500 pA/m² . Do đó đạo trình lưỡng cực tạo ra một trường đạo trình rất lý tưởng cho việc dò tìm moment lưỡng cực của nguồn khối.

Hình 12.20 minh họa mật độ dòng trường đạo trình với đạo trình lưỡng cực của hình 12.9 với đường đẳng nhạy. Hình vẽ này vẫn chỉ ra rõ ràng hơn so với hình vẽ trước hiệu ứng bù của hai cuộn dây trong mặt phẳng lân cận, nhất là với khoảng cách bán kính ngắn. Dòng trường đạo trình chảy tiếp tuyến xung quanh trục đối xứng. Đường sức được biểu diễn trong hình với đường liền nét mảnh..



Hình 12.19: Sự phân chia mật độ của trường đạo trình của đạo trình lưỡng cực trong bộ dẫn khối đối xứng trục được dò ra với hai từ kế một cuộn dây có bán kính 10mm. Khoảng cách giữa các cuộn dây là 340mm. Những đường nét đứt là những đường đẳng nhạy, tham gia vào những điểm nơi mà mật độ dòng trường đạo trình là 500 và 1000pA/m², tương ứng, như được chỉ ra với các số in nghiêng.



Hình 12.20: Những đường đẳng nhạy cho đạo trình lưỡng cực của hình 12.19. Bán kính cuộn dây là 10mm và khoảng cách các cuộn dây là 340mm. Trục tung chỉ khoảng cách h từ từ kế đầu tiên và trục hoành là khoảng cách bán kính r từ trục đối xứng. Trục đối xứng được vẽ với đường nét đứt đậm, đây là đường nhạy 0. Đường sức dòng trường đạo trình tạo thành vòng tròn khép kín quanh trục đối xứng và được minh họa với đường liền nét mảnh.