

# ỨNG DỤNG CẢM BIẾN TỪ TRỞ KHỔNG LỒ (GMR) ĐỂ KIỂM TRA KHÔNG PHÁ HỦ VẬT LIỆU

ThS. HÀ THỊ THỊNH

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Nam Định

**H**iện nay, phương pháp kiểm tra không phá hủy các mẫu sản phẩm, vật liệu trong kỹ thuật đang được mọi người quan tâm vì phương pháp này không phá hỏng các thiết bị cũng như sản phẩm đem kiểm tra. Ưu điểm nổi bật của phương pháp này còn là không phải gia công mẫu và rút ngắn thời gian kiểm tra, giảm bớt các chi phí cho kiểm tra, đánh giá chất lượng sản phẩm.

Dòng điện xoáy đã được sử dụng từ nhiều thập kỷ trước trong phương pháp kiểm tra không phá hủy. Bản chất của phương pháp này dựa trên đặc tính điện dẫn hoặc độ từ thẩm của vật liệu. Đến nay, nhờ có sự phát triển của công nghệ vi điện tử, có nhiều loại cảm biến mới đã xuất hiện trên thị trường. Cảm biến từ trở khổng lồ GMR (Giant Magneto Resistance) là một trong số đó và bắt đầu được ứng dụng vào công nghệ kiểm tra không phá hủy.

## 1. Phương pháp kiểm tra bằng dòng điện xoáy

Đây là phương pháp đo dựa trên các hiện tượng vật lý và quy luật trường điện từ. Cơ sở lý thuyết của trường điện từ là các phương trình Maxwell [1]:

$$\text{rot } H(r,t) = J(r,t) + J_e(r,t) + \partial D(r,t) / \partial t. \quad (1)$$

$$\text{rot } E(r,t) = -\partial B(r,t) / \partial t. \quad (2)$$

$$\text{div } B(r,t) = 0. \quad (3)$$

$$\text{div } D(r,t) = \rho(r,t). \quad (4)$$

Ở đây: D - Dòng điện dịch; B - Cảm ứng từ; E - Cường độ điện trường; H - Cường độ từ trường;  $\rho$  - Mật độ dòng điện khối; J - Mật độ dòng điện dẫn;  $J_e$  - Mật độ dòng điện nói chung phụ thuộc vào tọa độ, thời gian (tương ứng r, t).

Trong môi trường đẳng hướng tuyến tính, ta có các phương trình sau [1]:

$$B(r,t) = \mu(r).H(r,t). \quad (5)$$

$$D(r,t) = \varepsilon(r).E(r,t). \quad (6)$$

$$J(r,t) = \sigma(r).E(r,t). \quad (7)$$

Ở đây:  $\mu$  - Độ từ thẩm;  $\varepsilon$  - Hằng số điện môi;  $\sigma$  - Điện dẫn.

Hệ phương trình từ (1) đến (7) mô tả mối quan hệ giữa các đại lượng điện từ và điện E; D; H; B;

nguồn tạo từ trường  $J_e$ ;  $\rho$  cũng như tính liên tục của điện trường và từ trường  $\mu$ ;  $\varepsilon$ ;  $\sigma$ .

Nếu cho trước phân bố không gian và sự phụ thuộc thời gian của nguồn tạo từ trường  $J_e$ ;  $\rho$  và biết được các đại lượng đặc trưng của vật liệu thử  $\mu$ ;  $\varepsilon$ ;  $\sigma$  thì với sự hỗ trợ của hệ phương trình trên với các điều kiện ở biên và quá độ, ta có thể xác định được các đại lượng E; D; H; B ở xung quanh mẫu thử. Nhờ các phép đo của các đại lượng điện trường với các cảm biến thích hợp, ta có thể so sánh các đại lượng đặc trưng của vật liệu cũng như các tham số hình học của các mẫu thử khác nhau (nghĩa là sự phân bố không gian của các đại lượng đặc trưng của vật liệu).

Trên nguyên lý đo này, người ta xác định nguồn kích từ và phép đo trực tiếp hay gián tiếp các đại lượng điện hoặc từ trường ở xung quanh mẫu thử. Phần lớn phương pháp điện từ để kiểm tra không phá hủy dựa trên nguyên lý đo này, thông qua việc kiểm tra từ thông tản và dòng điện xoáy.

## 2. Nguyên lý đo kiểm tra dùng dòng điện xoáy [3], [6]

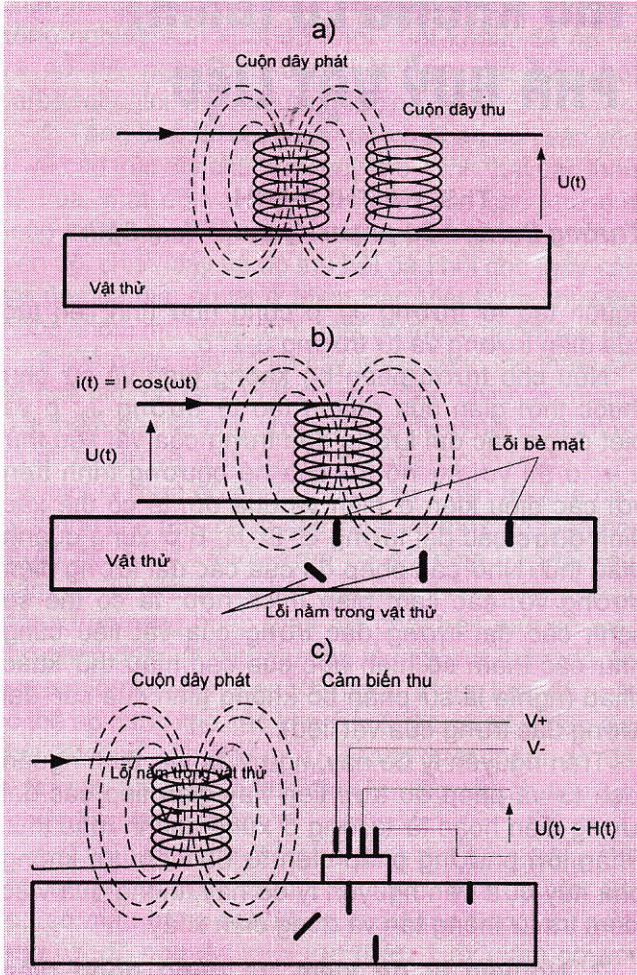
Theo định nghĩa của tiêu chuẩn DIN 54140, trong phương pháp kiểm tra dùng dòng điện xoáy người ta dựa vào hiện tượng cảm ứng điện-từ của vật liệu để kiểm tra bằng phương pháp không phá hủy các mẫu thử. Ở đây, năng lượng điện từ trường với tần số nhỏ hơn 200 Hz được sử dụng để tìm ra tính không đồng nhất và kết cấu thành phần của vật liệu, phát hiện tính chất của vật liệu hoặc so sánh tính chất của vật liệu phụ thuộc vào điện dẫn hay độ từ thẩm của nó. Ngoài ra, cũng có thể xác định được sai lệch về hình dáng và khối lượng của mẫu thử. Phương pháp dùng dòng điện xoáy cho phép:

❖ Kiểm tra khuyết tật các mẫu thử, chỉ ra các vết nứt, lỗ trống... trong mẫu thử;

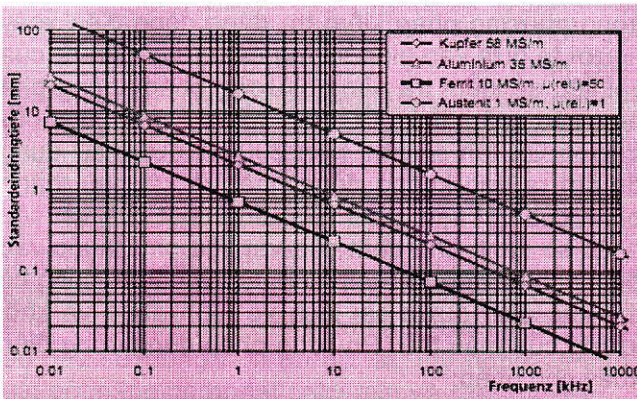
❖ Đặc tính của vật liệu hoặc kiểm tra sự nhầm lẫn các vật liệu;

❖ Xác định các thông số của vật liệu như điện dẫn  $\sigma$  và độ từ thẩm  $\mu$ ;

- ❖ Kiểm tra kích thước hình học, ví dụ bề dày của các tấm kim loại hay cách điện;
- ❖ Phát hiện và định vị các vật thể kim loại.



H.1. Sơ đồ bố trí đo kiểm tra bằng dòng điện xoáy đơn giản [4]



H.2. Độ xuyên sâu tiêu chuẩn của dòng xoáy vào các vật liệu khác nhau [4]

Một dòng điện xoáy chiều cường độ  $I$  với tần số góc  $\omega = 2\pi f$  chạy trong cuộn dây phát, nó sẽ tạo ra một trường điện từ xoáy chiều xung quanh cuộn

dây phát, cũng như trong cuộn dây thu và trong mẫu thử. Từ trường này chịu ảnh hưởng bởi điện dẫn  $\sigma$ , độ từ thẩm  $\mu$  và kích thước hình học của mẫu thử. Ảnh hưởng của hằng số điện môi đến sự phân bố điện trường cũng như tín hiệu thu trong phương pháp này được bỏ qua khi giá trị của mật độ dòng điện dẫn  $J$  lớn hơn giá trị mật độ dòng điện dịch  $\partial D/\partial t$  trong phương trình (1). Ở tần số  $f < 200$  MHz, với hằng số điện môi  $\epsilon < 10^{-10}$  F/m và điện dẫn  $\sigma > 0,01$  MS/m cho phép bỏ qua. Bởi vậy  $\omega\epsilon \ll \sigma$ , với tần số góc  $\omega = 2\pi f$ .

Nếu có một thiết bị thu như một cuộn dây cảm ứng chẳng hạn, thì sẽ xuất hiện một từ trường cảm ứng với điện áp  $U(t)$  trên cuộn dây này (H.1.a). Trong phương pháp kiểm tra bằng dòng điện xoáy, điện áp đặt tại cuộn dây với dòng điện kích thích  $i(t)$  cũng được sử dụng làm đại lượng đo (H.1.b). Ngoài ra, ta cũng có thể sử dụng một cảm biến từ trường là phần tử thu để chuyển đổi cường độ từ trường  $H(t)$  thành điện áp  $U(t)$  (H.1.c).

Khi kích thích cuộn dây bằng dòng điều hòa có tần số  $\omega = 2\pi f$  có biên độ [2]:

$$i = I e^{j\omega t} \text{ và } U = U e^{j\omega t}$$

Hay viết dưới dạng tức thời [2]:

$$i(t) = I \cos(\omega t + \varphi_0) \text{ và } U_{WS}(t) = U \cos(\omega t + \varphi_U)$$

Ở đây các quan hệ về dòng điện và điện áp phức có giá trị [2]:

$$i(t) = I \cos(\omega t + \varphi_0) = \text{Re}\{I \cdot e^{j(\omega t + \varphi_0)}\} = \text{Re}\{I \cdot e^{j\omega t}\}$$

$$U_{WS}(t) = \text{Re}\{U \cdot e^{j\omega t}\}$$

Tương tự đối với điện trở thuần  $R = U/I$  là tỷ số giữa điện áp  $U$  và dòng điện  $I$ , điện trở phức hay tổng trở  $Z$  của cảm biến dòng điện xoáy được tính như sau [2]:

$$Z = U/I + (U/I) e^{j(\varphi_U - \varphi_0)} = \text{Re}\{Z\} + j \cdot \text{Im}\{Z\}$$

Cả phần thực cũng như phần ảo (hay biên độ và góc pha) của tổng trở phức của cảm biến dòng điện xoáy (WS) là quan trọng trong việc đánh giá phép đo dùng dòng điện xoáy. Do đó, nhờ bộ điều biến đồng bộ pha trong các thiết bị đo dòng điện xoáy, ta có thể thu được điện áp  $U_{WS}(t)$  từ phần tử thu và được mô tả bằng đồ thị trên mặt phẳng phức.

Tùy thuộc vào nhiệm vụ kiểm tra, các tín hiệu của cảm biến sẽ được chia thành tín hiệu đo hay là nhiễu. Cảm biến dòng điện xoáy bao gồm một phần tử phát (cuộn dây phát) kết hợp với một phần tử thu (ví dụ cuộn dây thu hay cảm biến từ trường). Trong thực tế, có thể đưa vào nhiều phần tử phát hoặc thu (cảm biến vi sai, cảm biến vi sai nhiều cấp) có thể chứa thêm lõi ferit cũng như có màn chống nhiễu.

### 3. Độ xuyên sâu của dòng điện xoáy [3], [6]

Hạn chế chủ yếu của phương pháp kiểm tra bằng dòng điện xoáy là gây ra hiệu mặt ngoài (hiệu ứng Skin). Ở mẫu thử dẫn điện, độ xuyên sâu của

từ trường tăng, khi biên độ của từ trường xoay chiều (hay mật độ dòng xoáy) giảm. Qua đó, các tham số về kích thước hình học, từ và điện ở gần bề mặt có biên độ tín hiệu lớn sẽ được thể hiện rõ ràng hơn các tham số ở bên trong vật thử. Nếu biết được điện dẫn  $\sigma$ , độ từ thẩm  $\mu$  của vật thử cũng như tần số đo  $\omega$ , thì ta có thể tính được độ xuyên sâu của dòng điện xoáy theo công thức (8) sau:

Độ xuyên sâu tiêu chuẩn [3]:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu}} \quad (8)$$

Độ xuyên sâu đặc trưng cho độ sâu trong vật thử ở biên độ của từ trường xoay chiều (và mật độ dòng xoáy) giảm đi một giá trị bằng  $1/e$  (khoảng 36,8 %) giá trị ở bề mặt vật thử.

Độ xuyên sâu tiêu chuẩn theo (8) đối với các vật liệu như thép ferrit, austenit, nhôm, đồng cho trên H.2 đối với tần số trong phạm vi giữa 100 Hz và 10 MHz [1].

Tùy thuộc vào ứng dụng, độ xuyên sâu hiệu quả của dòng xoáy có thể được xác định gấp nhiều lần độ xuyên sâu tiêu chuẩn  $\delta$  tính theo công thức (8). Ví dụ, khi đo điện dẫn thì bề dày của vật thử sẽ được bỏ qua, khi bề dày có giá trị lớn hơn  $3\delta$ .

Đồ thị trên H.2 cho biết độ xuyên sâu của dòng xoáy trong nhôm được tính toán theo mô hình phân tích của (Cheng/Dodd/Deeds, [2]) đối với cuộn dây thử nghiệm có đường kính ngoài khác nhau theo phương pháp đo tiếp xúc.

## 4. Cảm biến GMR [5], [6]

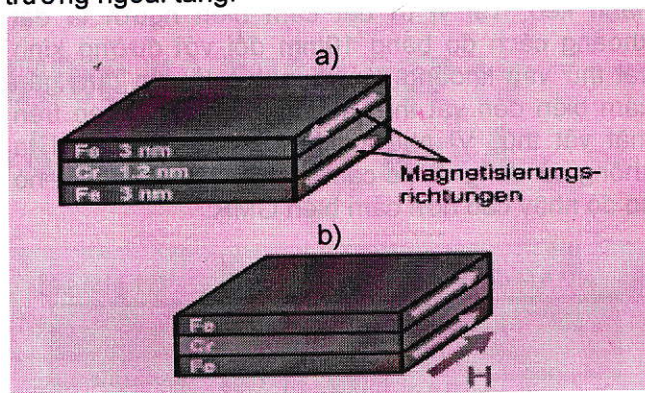
### 4.1. Hiệu ứng GRM

Hiệu ứng từ trở khổng lồ GMR được tìm ra vào năm 1988 bởi nhóm nghiên cứu độc lập tại Đại học Paris Sud (Baibichs 1988) và Trung tâm nghiên cứu Juelich ở Đức (Binasch 1989). Một đăng ký phát minh của GSP Guenberg đề ngày 16/6/1988 về hiệu ứng GMR đã được nhận giải thưởng Nobel về vật lý vào năm 2007. Hiệu ứng của GMR có cấu trúc lớp Fe/Cr/Fe được trình bày trên H.3.

Lớp Crom không từ tính phải có bề dày rất nhỏ (khoảng 1 nm) sao cho các lớp vật liệu từ tính có mối liên hệ từ với nhau. Tại các lớp vật liệu không từ tính có bề dày đặc biệt (1,2 Nanometer), hướng từ hóa ngược chiều trong hai lớp vật liệu từ tính được điều chỉnh nhờ năng lượng tối thiểu. Khi có một từ trường ngoài tác động, nó sẽ bắt buộc từ trường trong hai lớp có cùng hướng.

Sự tần các điện tử ở lớp phân cách của cấu trúc nhiều lớp tạo nên điện trở phụ thuộc vào góc giữa chiều từ hóa ở lớp trên và lớp dưới. Khi chiều từ hóa ngược nhau, thì điện trở lớn nhất, còn khi từ hóa cùng chiều thì điện trở là nhỏ nhất. Do đó, điện

trở của cấu trúc lớp mô tả trên H.3, giảm khi từ trường ngoài tăng.



H.3. Cấu tạo và nguyên làm việc của một cấu trúc GMR đơn giản: a - Không có từ trường, từ hóa ngược chiều, điện trở lớn, điện trở lớn; b - Có từ trường, từ hóa cùng chiều, điện trở nhỏ, điện trở nhỏ [5].

Khi cường độ từ trường bão hòa, sự thay đổi từ trường ngoài không làm thay đổi điện trở của các lớp, vì các lớp vật liệu sắt từ đã được từ hóa hoàn toàn.

### 4.2. Kỹ thuật kiểm tra dòng dòng điện xoáy với cảm biến GMR

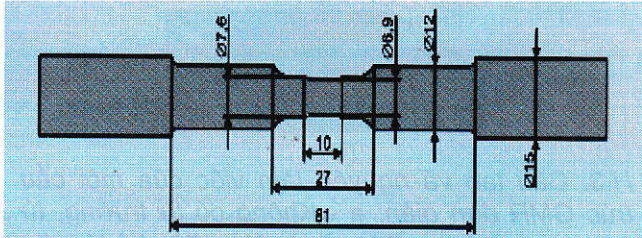
#### a. Đặc tính của vật liệu từ tính trong thử nghiệm độ mỏi

Nhờ việc xác định tải trọng hay biến dạng theo chu kỳ của các chi tiết hay mẫu thử gây nên sự thay đổi tính chất của vật liệu trong phòng thí nghiệm vật liệu, ta có thể đánh giá được tuổi thọ của chi tiết. Ví dụ như tính mỏi của các chi tiết chế tạo từ thép hợp kim được phản ảnh thông qua thay đổi tính chất điện và từ của chúng.

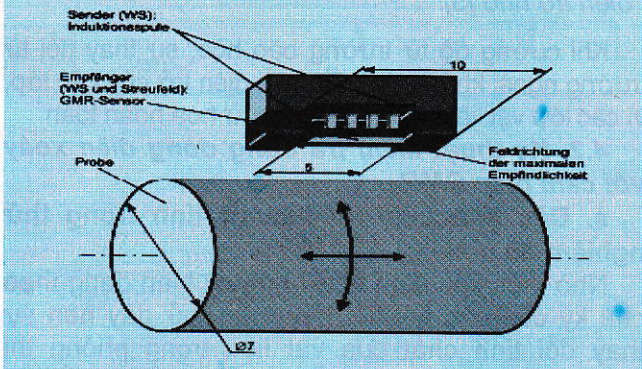
Trong phương pháp đo không phá hủy, mối quan hệ thay đổi biến dạng của thép austenit X6CrNiTi 1810 được thực hiện bằng cảm biến GMR, đo đồng thời dòng điện xoáy và từ thông tần. Nhờ có kích thước nhỏ và độ nhạy cao đối với sự thay đổi từ tính của mẫu thử nên cảm biến này có thể sử dụng để đo quá trình mỏi của chi tiết và kết quả đã được công bố vào năm 2000 (Lang 2000 [3]).

Thép austenit thể hiện đặc tính là vật liệu ở trạng thái mang tải mỏi, sẽ chịu sự biến đổi pha, ở đây trọng tâm diện tích khối của pha austenit được biến đổi thành trọng tâm không gian của pha  $\alpha$  - martensit (martensit biến dạng nguội). Vì pha martensit là từ tính, nên có khả năng làm tăng khuyết tật của vật liệu do tải có tính chu kỳ đặc trưng qua sự thay đổi từ tính. Bên cạnh sự thay đổi độ từ thẩm, ở đây còn xuất hiện tính từ hóa riêng của vật liệu vì sự biến đổi pha này còn chịu tác dụng của từ trường trái đất.

H.4 chỉ ra kích thước hình học của vật thử làm bằng thép X6CrNiTi 1810 trong thí nghiệm tiến hành kéo. Tại vị trí đặt cảm biến người ta đặt khoảng cách đo bằng 10mm đối với đường kính vật thử vào khoảng 7 mm, nghĩa là cần đưa gần cảm biến đến vật thử, sử dụng phạm vi hẹp trên mặt vật thử. Vì những khó khăn trên, người ta không sử dụng được cảm biến SQUID mặc dù nó có độ nhạy cao hơn cảm biến GMR.



H.4. Kích thước hình học của chi tiết kiểm tra mỏi [4]

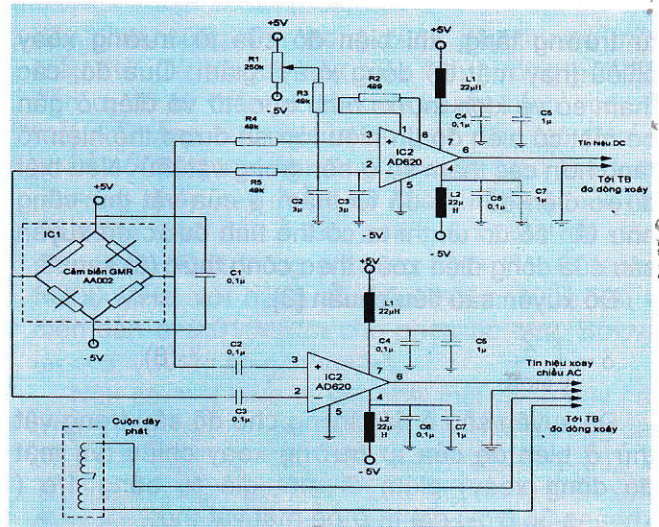


H.5. Sơ đồ kết hợp đo đồng thời dòng xoáy và từ thông tản dùng cảm biến GMR [4]

Sơ đồ đo bằng cảm biến GMR [2] được mô tả trong H.5. Cuộn dây lõi ferrit dạng chữ U, khoảng cách giữa các cực bằng 5 mm để tạo ra dòng xoáy kích thích. Cảm biến GMR của Hãng NVE AA002-02 (Mỹ) được đặt giữa hai cực của cuộn dây và có hướng sao cho đo được sự thay đổi của thành phần từ trường tiếp tuyến. Cảm biến GMR kết hợp được vận hành trong thiết bị đo dòng điện xoáy. Nó đo được đồng thời cả tín hiệu của dòng điện xoáy và từ thông tản. Trong trường hợp kích thích dòng xoáy, cảm biến cung cấp giá trị phần thực và phần ảo của điện áp thu là phản ứng của điện trường xoay chiều hình sin với tần số 1 kHz, nhờ đó ta có thể đánh giá được sự thay đổi điện dẫn cũng như từ thẩm của mẫu thử. Trong trường hợp đo từ thông tản, cảm biến cấp một tín hiệu một chiều tương ứng với sự thay đổi từ tính của mẫu thử trong trạng thái mỏi.

**b. Thiết kế sơ đồ mạch đo**

H.6 mô tả sơ đồ mạch tiền khuếch đại GMR để đo đồng thời tín hiệu một chiều và xoay chiều của cảm biến GMR.



H.6. Sơ đồ mạch tiền khuếch đại để đo đồng thời tín hiệu DC và AC của cảm biến GMR [5]

Kết quả nghiên cứu đo không phá hủy với cảm biến GMR được công bố vào năm 2000 của tác giả Lang (2000) và Dobmann (2002). So sánh với phương pháp đo dòng điện xoáy đơn giản (chỉ nhận biết tín hiệu xoay chiều), thì cách thu nhận đồng thời cả tín hiệu DC và tín hiệu AC của cảm biến GMR cấp nhiều thông tin hơn về từ tính của vật thử. Tuy nhiên, để thu nhận được các tín hiệu DC của cảm biến GMR phải có biện pháp đặc biệt để giảm độ nhạy với nhiệt độ cũng như từ trễ của cảm biến GMR.

**5. Kết luận**

Bài báo đã trình bày cơ sở lý thuyết của phương pháp kiểm tra không phá hủy bằng dòng điện xoáy, đồng thời giới thiệu nguyên lý làm việc của cảm biến GMR. Việc thay thế cuộn dây thu bằng cảm biến GMR có nhiều ưu điểm do cảm biến này có độ nhạy lớn, kích thước nhỏ và giá thành rẻ. Sơ đồ mạch tiền khuếch đại đã được thiết kế và có thể thực hiện một cách dễ dàng, riêng cảm biến GMR trước mắt cần nhập ngoại. □

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Nguyễn Bình Thành, Nguyễn Trần Quân, Lê Văn Bằng (1971). Cơ sở lý thuyết trường điện từ, NXB ĐH & THCN, Hà Nội.
2. Nguyễn Bình Thành, Nguyễn Trần Quân, Lê Văn Bằng (1970). Cơ sở lý thuyết mạch điện. Tập 1,2, NXB ĐH & THCN, Hà Nội.
3. Đào Văn Tân (1975). Prüfung von der Abmessungen und Eigenschaften ferromagnetischer Proben durch Frequenz- und Schwingungsdauermessungen unter Einsatz digitaler Messtechnik. Dissertation in DDR.

(Xem tiếp trang 16)

**4. Kết luận**

So sánh kết quả phát hiện khoáng vật bằng chương trình RS-MINERALS và các phần mềm xử lý ảnh thương mại thông dụng hiện nay (ERDAS Imagine 2014, ENVI 5.1) cho thấy, kết quả nhận được là như nhau. Tuy nhiên, do được thiết kế thành các module chuyên biệt, chương trình RS-MINERALS cho phép tính toán một cách đơn giản với thời gian được rút ngắn đáng kể. Như vậy, chương trình RS-MINERALS có thể được sử dụng hiệu quả trong xử lý ảnh vệ tinh Landsat nhằm phát hiện vị trí phân bố khoáng vật sét, đá và sắt phục vụ công tác điều tra, thăm dò cũng như thành lập, hiện chỉnh bản đồ khoáng sản. □

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Crosta A.P., Moore J.M. (1989). Enhancement of LANDSAT Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State Brazil: a prospecting case history in greenstone belt terrain, Proceedings of the 9th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary (Ann Arbor, MI: Environmental Research Institute of Michigan), pp. 1173-1187.
2. Amro F. Alasta (2011). Using remote sensing data to identify iron deposits in central western Libya, International conference on Emerging trends in Computer and Image processing, Bangkok, pp. 56-61.
3. Hankan Mete Dogan (2012). Mineral composite assessment of Kelkit River Basin in Turkey by means of remote sensing, Journal Earth System Science, 118(6), pp.701-710.
4. Md. Bodruddoza Mia, Yasuhiro Fujimitsu (2012). Mapping hydrothermal altered mineral deposits using LANDSAT 7 ETM+ image in and around Kuju volcano, Kyushu, Japan, Journal Earth System Science, 121(4), pp.1049-1057.
5. Fraster S.J., Green A.A. (1997). A software

defoliant for geological analysis of band ratio, International journal of remote sensing, Vol.8, 525-532.

6. Trịnh Lê Hùng (2013). Phương pháp tỉ số ảnh và ứng dụng trong phát hiện khoáng chất sét, oxit, kim loại màu, Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 04, trang 19-23.

7. Trịnh Lê Hùng (2014). Ứng dụng viễn thám trong phát hiện các hợp phần chứa sắt và khoáng vật sét trên cơ sở kỹ thuật Crosta, Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 01, trang 36-40.

8. Trịnh Lê Hùng (2013). Phương pháp phân tích thành phần chính trong nghiên cứu sự phân bố khoáng vật sét, oxit sắt bằng tư liệu ảnh vệ tinh LANDSAT, Tạp chí Khoa học ĐHSP TPHCM, số 10, trang 147-156.

9. Đào Khánh Hoài, Nguyễn Sách Thành, Nguyễn Văn Hùng (2013). Ứng dụng phương pháp phân tích thành phần chính có hướng trong phát hiện các khoáng chất sét và đá, Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 2B, trang 67-70.

10. Bản đồ khoáng sản Thái Nguyên tỉ lệ 1:200 000, <http://idm.gov.vn>

**Người biên tập: Võ Trọng Hùng**

**SUMMARY**

This article presents study on application of remote sensing data, which helps to detect minerals and develop program RS-MINERALS using Matlab programming language for detecting clay minerals and iron oxide. The results which are obtained in this study can be used to create distribution clay mineral, iron oxide map, and to serve mineral mining and exploration.

**ỨNG DỤNG CẢM BIẾN...**

*(Tiếp theo trang 58)*

4. Andre Yashan (2008). Über die Wirbelstromprüfung und magnetische Streufluss Prüfung mittels GMR sensoren. Saarlandes.
5. Albrecht Jander (2005). Magneto-resistive Sensor for Nondestructive Evaluation, Conference 10 th SPIE.
6. Javier Garcia-Martin (2011). Non-Destructive techniques based on Eddy Current Testing;
7. [www.mdpi.com/journal/sensors](http://www.mdpi.com/journal/sensors)

**Người biên tập: Đào Đức Tạo**

**SUMMARY**

Nondestructive techniques are used widely in the industry in order to control the quality of materials and samples. Eddy current testing is one of the most extensively used for the non-destructive techniques. The paper presents an overview of eddy current testing, the Giant Magneto Resistance sensors and their applicable using for nondestructive evaluation.