

**TCVN 3718-2 : 2007**

Xuất bản lần 1

**QUẢN LÝ AN TOÀN TRONG TRƯỜNG BỨC XẠ  
TẦN SỐ RADIÔ –**

**Phần 2: PHƯƠNG PHÁP KHUYẾN CÁO ĐỂ ĐO TRƯỜNG  
ĐIỆN TỪ TẦN SỐ RADIÔ LIÊN QUAN ĐẾN PHƠI NHIỄM CỦA  
CON NGƯỜI Ở DẢI TẦN TỪ 100 kHz ĐẾN 300 GHz**

*Management of radio frequency radiation fields hazards –*

*Part 2: Recommended methods for measurements of radio frequency electromagnetic fields with respect to human exposure to such fields, 100 kHz – 300 GHz*

**Mục lục**

	<b>Trang</b>
Lời nói đầu .....	5
1 Phạm vi áp dụng .....	7
2 Tài liệu viện dẫn .....	7
3 Định nghĩa .....	8
4 Các lưu ý về phép đo liên quan đến đánh giá nguy hiểm RF .....	11
4.1 Đặc tính của bức xạ trường điện từ tần số radio (EM RF) .....	11
4.2 Tóm tắt các vấn đề gặp phải trong các phép đo .....	14
4.3 Vấn đề đo SAR .....	21
4.4 Lưu ý đối với phép đo dòng điện cảm ứng .....	22
5 Thiết bị đo .....	22
5.1 Hệ thống đo trường ngoài .....	22
5.2 Đặc tính điện mong muốn .....	25
5.3 Đặc tính vật lý mong muốn .....	29
5.4 Thiết bị đo trường ngoài .....	30
5.5 Thiết bị đo dòng điện cảm ứng (cơ thể) .....	48
5.6 Thiết bị đo trường bên trong và SAR .....	51
6 Phép đo trong trường phơi nhiễm có nguy hiểm tiềm ẩn.....	56
6.1 Qui trình đo đối với trường ngoài.....	56
6.2 Phép đo dòng điện cảm ứng trong cơ thể và dòng điện tiếp xúc .....	59
6.3 Qui trình đo trường bên trong (SAR) .....	61
6.4 Sử dụng dữ liệu kiểm tra trường gần để đánh giá SAR tiềm ẩn vượt quá ở người bị phơi nhiễm .....	71
Hình 1 – Ứng dụng lấy trung bình theo thời gian 6 min .....	16
Hình 2 – Thành phần cơ bản của thiết bị khảo sát RF .....	24
Hình 3 – Phương pháp hiệu chuẩn trường tiêu chuẩn trong không gian tự do .....	31

Hình 4 – Suy giảm độ lợi ước tính với một anten điển hình .....	33
Hình 5 – Hệ thống hiệu chuẩn ống dẫn sóng chữ nhật (phương thức TE <sub>10</sub> ) .....	39
Hình 6 – Phần tử điện từ ngang (TEM) lớn điển hình .....	40
Hình 7 – Phần tử gigahéc điện từ ngang điển hình (GTEM) .....	44
Hình 8 – Cuộn dây Helmholtz sinh ra trường H để hiệu chuẩn đầu dò nguy hiểm ở tần số dưới 10 MHz .....	46
Hình 9 – Phương pháp đưa dòng điện vào để hiệu chuẩn đồng hồ đo dòng điện cảm ứng loại đứng trên nó .....	50
Hình 10 – Phương pháp hiệu chuẩn đồng hồ đo dòng điện cảm ứng kiểu kẹp .....	51
Hình 11 – Phần tử đầu dò trường E cấy được điển hình (một trục) .....	52
Hình 12 – Phương pháp điều kiện biên để hiệu chuẩn đầu dò trường E cấy được vào vật liệu mô phỏng mô .....	53
Hình 13 – Dữ liệu về phép đo đương lượng nhiệt điển hình: nhiệt độ theo thời gian – trước, sau và trong quá trình chiếu .....	69
Bảng 1 – Độ dẫn điện (S/m) của mô mô phỏng ở tần số RF .....	63
Bảng 2 – Độ dẫn điện (S/m) của mô sinh học ở tần số RF .....	63
Bảng 3 – Nhiệt dung riêng và khối lượng riêng của vật liệu mô phỏng mô và mô sinh học thực ....	67

## Lời nói đầu

TCVN 3718-2 : 2007 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn TCVN/TC/E9  
*Tương thích điện từ* biên soạn, dựa trên tài liệu IEEE Std C95:3  
của Viện kỹ thuật điện và điện tử (Hoa Kỳ), Tổng cục Tiêu  
chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công  
nghệ công bố.

TCVN 3718-2 : 2007 là một phần của bộ TCVN 3718.

TCVN 3718 gồm hai phần:

TCVN 3718-1 : 2005, Quản lý an toàn trong trường bức xạ tần số radio – Phần 1: Mức phơi nhiễm lớn nhất trong dải tần từ 3 kHz đến 300 GHz

TCVN 3718-2 : 2007, Quản lý an toàn trong trường bức xạ tần số radio – Phần 2: Phương pháp khuyến cáo để đo trường điện từ tần số radio liên quan đến phơi nhiễm của con người ở dải tần từ 100 kHz đến 300 GHz

## **Quản lý an toàn trong trường bức xạ tần số radiô -**

### **Phần 2: Phương pháp khuyến cáo để đo trường điện từ tần số radiô liên quan đến phơi nhiễm của con người ở dải tần từ 100 kHz đến 300 GHz**

*Management of radio frequency radiation fields hazards –*

*Part 2: Recommended methods for measurements of radio frequency electromagnetic fields with respect to human exposure to such fields, 100 kHz – 300 GHz*

#### **1 Phạm vi áp dụng**

Tiêu chuẩn này đưa ra các phương pháp khuyến cáo để đo trường điện từ tần số radiô mà con người có thể bị phơi nhiễm. Ngoài ra, tiêu chuẩn này còn qui định các phương pháp thích hợp để đo trường và dòng điện cảm ứng trong cơ thể người khi bị phơi nhiễm trong trường này ở dải tần từ 100 kHz đến 300 GHz.

Tiêu chuẩn này không áp dụng cho các nguy hiểm tiềm ẩn do phơi nhiễm trong môi trường có các vật liệu bay hơi, dễ cháy và các thiết bị có khả năng xảy ra nổ trong bức xạ điện từ. Tuy nhiên có thể sử dụng kỹ thuật đo và thiết bị đo mô tả trong tiêu chuẩn này để đo trường ở gần các vật liệu dễ cháy hoặc các thiết bị gây nổ.

#### **2 Tài liệu viện dẫn**

TCVN 3718-1: 2005, Quản lý an toàn trong trường bức xạ tần số radiô – Phần 1: Mức phơi nhiễm lớn nhất trong dải tần từ 3 kHz đến 300 GHz

### 3 Định nghĩa

Tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa nêu trong TCVN 3718-1: 2005 và các định nghĩa dưới đây.

#### 3.1

**anten** (antenna)

cơ cấu được thiết kế để bức xạ (hoặc thu) năng lượng điện từ

#### 3.2

**năng lượng trung bình** ( $\bar{P}$ ) (average power)

mức trung bình theo thời gian của năng lượng lan truyền:

$$\bar{P} = \frac{1}{t_2 - t_1} \left( \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt \right)$$

#### 3.3

**năng lượng đầu ra trung bình điều biến biên độ** (amplitude modulated average power output)

năng lượng tần số radio phân bố trên đầu nối ra của bộ phát, lấy trung bình trong một chu kỳ điều biến

#### 3.4

**mật độ dòng năng lượng trung bình** (average power density)

tích phân mật độ dòng năng lượng tức thời trong khoảng thời gian qui định. Khoảng thời gian có thể liên quan đến nguồn, ví dụ, chu kỳ lặp của nguồn, hoặc liên quan đến việc sử dụng, ví dụ, thời gian trung bình qui định trong hướng dẫn phơi nhiễm. Mật độ dòng năng lượng trung bình được biểu diễn bằng oát trên mét vuông ( $W/m^2$ )

CHÚ THÍCH: Thông thường khi nói đến mật độ dòng năng lượng trung bình, cần phải phân biệt giữa trung bình theo không gian (tại thời điểm cho trước) và trung bình theo thời gian (tại vị trí cho trước).

#### 3.5

**mật độ dòng năng lượng đỉnh** (peak power density)

mật độ dòng năng lượng tức thời lớn nhất xuất hiện trong giai đoạn năng lượng được truyền đi

**3.6**

**mật độ dòng năng lượng sóng phẳng tương đương** (equivalent plane-wave power density)

giá trị chuẩn hoá của bình phương cường độ trường điện hoặc trường từ tại một điểm trong trường gần của nguồn bức xạ. Giá trị biểu thị bằng  $W/m^2$  và được tính như sau:

$$S = |E|^2 / (120\pi) = |H|^2 \times 120\pi$$

**3.7**

**dòng điện bên trong cơ thể** (internal body current)

dòng điện cảm ứng trong cơ thể sinh vật khi phơi nhiễm ở trường tần số radio tần số thấp

**3.8**

**trở kháng sóng (của không gian tự do)** (intrinsic impedance (of free space))

tỷ số giữa cường độ trường điện và cường độ trường từ của sóng điện từ lan truyền. Trở kháng sóng của sóng phẳng trong không gian tự do bằng  $120\pi \Omega$  (xấp xỉ  $377 \Omega$ )

**3.9**

**phơi nhiễm cho phép lớn nhất (MPE)** (maximum permissible exposure)

giá trị hiệu dụng và giá trị đỉnh của cường độ trường điện và trường từ, bình phương của chúng hoặc mật độ dòng năng lượng sóng phẳng tương đương cùng với các trường đó và dòng điện cảm ứng và dòng điện tiếp xúc mà con người có thể bị phơi nhiễm nhưng không bị ảnh hưởng có hại với hệ số an toàn chấp nhận được. Trong một số hướng dẫn, chúng được đề cập là các mức điều tra hoặc mức tham chiếu

**3.10**

**độ sâu thẩm thấu** (penetration depth)

khoảng cách từ biên vào môi trường truyền dọc theo hướng lan truyền trong môi trường truyền đối với sóng điện từ phẳng đập vào biên của môi trường truyền, tại đó cường độ trường của sóng giảm đến  $1/e$  lần các giá trị tại biên của chúng. Độ sâu thẩm thấu được biểu thị bằng mét (m)

**3.11**

**mức năng lượng (power level)**

tỷ số giữa năng lượng tại điểm bất kỳ trong hệ thống truyền dẫn và lượng năng lượng nào đó được chọn làm chuẩn. Tỷ số này thường được biểu diễn bằng đêxiben so với 1 mW (dBm) hoặc đêxiben so với 1 W (dBW)

**3.12**

**đầu dò (probe)**

thiết bị ít gây nhiễu dùng để đo thành phần của trường tần số radiô trong môi trường truyền. Đầu dò bao gồm các bộ phận dưới đây:

- a) (các) cảm biến nhỏ về điện (trong môi trường truyền) để phát hiện thành phần trường tần số radiô cần xét;
- b) phương tiện để chuyển đổi tín hiệu RF thành tín hiệu một chiều tỉ lệ hoặc tín hiệu xoay chiều biến đổi chậm;
- c) đường truyền có tính điện trở trở kháng cao cân bằng để tách tín hiệu chính lưu.

**3.13**

**chiều dài anten đầu dò (probe antenna-length)**

kích thước vật lý lớn nhất của phần tử cảm biến, ví dụ, lưỡng cực hoặc vòng tương ứng với đầu dò trường điện hoặc trường từ hoặc kích thước của phần tử cảm biến lớn nhất trong dàn nhiều phần tử

**3.14**

**rada (radar)**

hệ thống bức xạ sóng điện từ xung hoặc điều biến tần số và sử dụng sự phản xạ của các sóng này từ vật thể ở xa để xác định sự tồn tại và/hoặc vị trí của vật thể đó

**3.15**

**thời gian đáp ứng (response time)**

thời gian yêu cầu để thiết bị đo trường đạt tới giá trị phần trăm qui định của giá trị cuối cùng sau khi được đặt trong trường cần đo. Trong tiêu chuẩn này chọn là 90 % của giá trị cuối cùng



**3.16****trung bình theo không gian (spatial average)**

khi áp dụng cho phép đo trường điện hoặc trường từ để đánh giá phơi nhiễm toàn bộ cơ thể thì trung bình theo không gian là trung bình bình phương của trường trên diện tích tương đương với mặt cắt thẳng đứng của cơ thể người trưởng thành. Trung bình theo không gian có thể được đo bằng cách quét (bằng đầu dò đo thích hợp) diện tích phẳng tương đương với diện tích được chiếm bởi người trưởng thành đang đứng (diện tích hình chiếu đứng). Trong hầu hết các trường hợp, quét theo chiều thẳng đứng của trường đến độ cao 2 m là đủ

**3.17****mức hấp thụ riêng đỉnh trung bình theo không gian (peak spatial-average specific absorption rate) (SAR)**

SAR cục bộ lớn nhất lấy trung bình trên thể tích hoặc khối lượng qui định, ví dụ, 1 g hay 10 g mô bất kỳ có dạng hình lập phương. SAR được biểu diễn bằng đơn vị oát trên kilôgam (W/kg)

**4 Các lưu ý về phép đo liên quan đến đánh giá nguy hiểm RF****4.1 Đặc tính của bức xạ trường điện từ tần số radio (EM RF)****4.1.1 Tham số quyết định bởi nguồn**

Nguồn bức xạ điện từ có các đặc tính khác nhau rất nhiều đòi hỏi tính đa dụng của thiết bị quan sát. Các đặc tính đó là:

- a) Điều biến – Đặc tính riêng của tín hiệu cả ở miền thời gian và tần số.
- b) Dạng bức xạ – Trong trường gần, dạng bức xạ thay đổi theo khoảng cách so với nguồn, trong khi đó, ở trường xa, không có sự thay đổi đáng kể theo khoảng cách. Tại điểm bất kỳ cho trước trong không gian, cường độ trường thay đổi liên tục nếu sử dụng kỹ thuật quét cơ hoặc điện từ.
- c) Tần số – Năng lượng có thể tồn tại trên dải tần rất rộng và có thể chiếm chủ yếu ở trường E hoặc trường H.

d) Phân cực – Trong trường xa của một nguồn bức xạ duy nhất, chỉ có một phân cực trong diện tích rộng (tuyến tính thẳng đứng, tuyến tính ngang, elip hoặc tròn). Tuy nhiên, trong trường gần, tại một điểm cho trước bất kỳ có thể tồn tại phân cực bất kỳ và phân cực thay đổi theo sự thay đổi nhỏ về vị trí so với nguồn RF.

#### **4.1.2 Dạng nhiễu**

Trong môi trường bất kỳ, nơi thực hiện phép đo RF, cường độ trường thường thay đổi theo vị trí. Sự thay đổi như vậy xảy ra vì các dạng nhiễu sinh ra do kết hợp năng lượng nhận được trực tiếp từ (các) nguồn và phản xạ (hay bức xạ lại) từ vật thể tự nhiên hay nhân tạo (bức xạ nhiễu hướng). Ví pha của tín hiệu phản xạ có thể ở góc bất kỳ so với pha của tín hiệu trực tiếp, ảnh hưởng của phản xạ có thể làm tăng hoặc làm giảm cường độ tín hiệu mà lẽ ra đã có ở khu vực khi không có tín hiệu phản xạ. Khoảng cách giữa điểm lớn nhất và nhỏ nhất là hàm của bước sóng và vì vậy chúng có thể thay đổi từ một phần của centimét đến nhiều mét. Tại khu vực có các bộ phát làm việc ở các tần số khác nhau, dạng cường độ trường có khả năng trở nên đặc biệt phức tạp.

Nguồn quét, như radar và các nguồn khác, hoạt động không liên tục, tạo ra thay đổi theo thời gian bởi chính dạng nhiễu của nó. Lập kế hoạch chương trình đo phải xem xét cả sự thay đổi theo không gian và thời gian. Yêu cầu này là quan trọng cả về quan điểm thu thập dữ liệu thích hợp của mục tiêu cũng như đảm bảo rằng người lao động được bảo vệ khỏi bị phơi nhiễm quá mức.

#### **4.1.3 Rò bức xạ**

Rò bức xạ từ thiết bị điện tử tạo ra các vấn đề đặc biệt vì nguồn năng lượng có thể không xác định được rõ ràng. Có thể bắt nguồn từ nút vỏ bọc hoặc các cáp liên kết ống dẫn sóng nối không đảm bảo. Sự phân cực của trường điện từ và vị trí rò thường là không biết trước. Đây là trường hợp đặc biệt của trường gần nói chung, và có thể có vấn đề tương tự đối với tất cả các phép đo trường gần, ở cả trường bức xạ chủ ý hay ngẫu nhiên. Trong khi anten RF (loại lưỡng cực, loại hình loa) bao gồm kết cấu được thiết kế có chủ ý để bức xạ hoặc nhận năng lượng điện từ có hiệu quả thì các thiết bị được thiết kế để chế biến vật liệu bằng năng lượng RF (lò nung điện môi và lò cảm ứng RF, thiết bị phẫu thuật dùng điện và máy hàn hồ quang) không được thiết kế có chủ ý để bức xạ, nhưng có thể có kết cấu hoạt động như anten. Người làm việc với thiết bị này có thể bị phơi nhiễm cường độ cao vì ở gần các phần tử bức xạ này.

Rất khó để có được phương pháp xử lý theo lý thuyết chung đầy đủ về vấn đề rò và nó nằm ngoài phạm vi của tiêu chuẩn này. Kỹ thuật kiểm tra rò bức xạ khác với các kỹ thuật về trường bức xạ từ anten. Trong trường hợp rò, vị trí của nguồn thông thường được tìm thấy bằng phương pháp thử và sai. Bộ phát hiện không định hướng, không phân cực "đẳng hướng" thường là thoả mãn để dò trong khu vực lân cận của thiết bị mà anten chính có thể cho kết quả đọc không chính xác vì không thể đáp ứng với tín hiệu nhiều hướng và vì hệ số suy giảm độ lợi tuy đã biết nhưng không chính xác trong vùng trường gần. Tuy nhiên, ở tần số vi sóng, hệ thống định hướng gồm có anten hình loa nhỏ hoặc đầu dò dẫn sóng, điện trở nhiệt, bộ suy giảm và đồng hồ đo năng lượng dễ lắp ráp và có thể hữu ích cho việc định vị nguồn rò khi không đòi hỏi biết chính xác mức độ rò. Tuy nhiên, cả thành phần phân cực thẳng và ngang cần được đo riêng bằng cách quay đầu dò 90° quanh trục của nó.

Trong trường hợp nguồn rò sinh ra phơi nhiễm không đồng nhất cao đối với con người, phép đo dòng điện cảm ứng bằng bộ chỉ thị phơi nhiễm là chính xác hơn so với phép đo cường độ trường điện và trường từ. Dòng điện cảm ứng cho phép đo ghép điện dung giữa nguồn và cá nhân gần đó mà phép đo cường độ trường không thực hiện được. Ví dụ, trong trường hợp khi bàn tay bị phơi nhiễm ở trường điện từ mạnh cụ thể, dòng cảm ứng chạy qua ngón tay, bàn tay và cổ tay có thể trở thành yếu tố hạn chế khi thể hiện dưới dạng kết quả SAR.

#### 4.1.4 Xem xét khác

Trong trường gần, tồn tại ba thành phần vuông góc của trường điện có pha và biên độ tương ứng bất kỳ. Tương tự, có ba thành phần vuông góc của trường từ có pha và biên độ bất kỳ. Trường điện có phân cực hình elip trong mặt phẳng bất kỳ và trường từ, thường có phân cực elip trong mặt phẳng khác. Vì vậy, trong trường gần, phép đo pha và biên độ của một trong ba thành phần của trường điện (từ) thường không cung cấp đủ thông tin để xác định trường từ (điện) tại cùng một điểm. Vì vậy, cần sử dụng thiết bị đo có thể đo cả trường điện hoặc trường từ và đáp ứng đồng thời ở tất cả các cực tính. Thiết bị đo trường sử dụng ba lưỡng cực vuông góc hoặc mạch vòng phát hiện biên độ, nhưng không phát hiện pha của trường điện hoặc trường từ nên không cung cấp thông tin đầy đủ về trường phân cực elip. Cụ thể, loại thiết bị này không đo được vectơ trường lúc thời lớn nhất. Chỉ đo cường độ trường trung bình tổng, với giá trị trung bình xuất hiện trong một chu kỳ của dao động của trường (tần số sóng mang). Thiết bị đo sẵn có hiện nay không có khả năng đo cả pha và biên độ. Điều này nghĩa là mật độ dòng năng lượng không được

do thực sự trong các trường hợp này, ngay cả khi mật độ dòng năng lượng là đại lượng hiển thị nhưng chỉ được lấy từ phép đo  $|E|^2$  và  $|H|^2$ .

Dụng cụ hiển thị bức xạ RF có thể nhạy với trường xung theo cách hoàn toàn khác so với trường sóng liên tục. Với trường xung hệ số công suất thấp, dụng cụ này có thể trở thành bộ tách sóng đỉnh và tạo ra các chỉ số đo trội hơn 10 dB đến 20 dB so với giá trị trường thực, lấy trung bình theo thời gian.

Khi mô tả trường điện từ với nguy hiểm tiềm ẩn, cần phân biệt giữa mức bức xạ và mức phơi nhiễm. Mức bức xạ tiêu chuẩn qui định cường độ trường lớn nhất hoặc mật độ dòng năng lượng tại khoảng cách qui định (thường nhỏ) so với nguồn bức xạ; mức phơi nhiễm tiêu chuẩn thường qui định cường độ trường hoặc mật độ dòng năng lượng lớn nhất trong đó con người bị phơi nhiễm là hàm của thời gian phơi nhiễm. Trong hầu hết các trường hợp, khi áp dụng tiêu chuẩn bức xạ, nguồn là các khe hở nhỏ, ví dụ, rò cục bộ xung quanh mặt ngoài của cửa lò vi sóng. Trong trường hợp này, trường bức xạ tuân theo qui luật mật độ dòng năng lượng giảm tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách hoặc theo quan hệ phụ thuộc của cường độ trường tỉ lệ nghịch khoảng cách. Sự phụ thuộc tỉ lệ nghịch với khoảng cách đã được chứng minh đối với rò rỉ phát ra từ lò vi sóng ở khoảng cách 5 cm đến khoảng 1 m. Có thể mối quan hệ tỉ lệ nghịch bình phương là không đúng khi ở sát với khe hở lớn về điện.

Nói chung, mức phơi nhiễm lớn nhất đối với con người không tương đương với mức phát xạ đo được của nguồn năng lượng RF. Ngoài ra, diện tích phơi nhiễm thường giảm khi một người đến gần nguồn. Vì vậy, khi tiếp cận nguồn, người kiểm tra trường rò cần quét mặt phẳng để xác định vị trí của chùm bức xạ rò cục bộ.

## **4.2 Tóm tắt các vấn đề gặp phải trong các phép đo**

### **4.2.1 Trung bình theo thời gian và không gian**

#### **4.2.1.1 Trung bình theo thời gian**

Giá trị cho phép lớn nhất của cường độ trường RF hoặc mật độ dòng năng lượng lấy trung bình trong khoảng thời gian lấy trung bình qui định, ví dụ, trong khoảng thời gian liên tục 6 min hoặc 30 min. Qui định lấy trung bình theo thời gian cho phép phơi nhiễm vượt quá mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép đối với phơi nhiễm liên tục khi thời gian phơi nhiễm nhỏ hơn thời gian trung bình. Ví dụ, nếu mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép là  $10 \text{ W/m}^2$  ( $1 \text{ mW/cm}^2$ ) được lấy trung bình trong

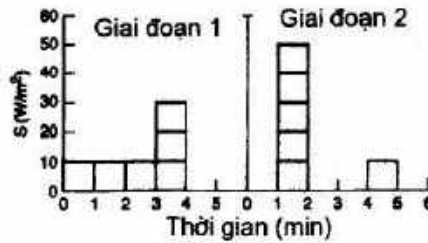
thời gian 6 min, qui định lấy trung bình theo thời gian cho phép phơi nhiễm vượt quá  $10 \text{ W/m}^2$  với điều kiện thoả mãn công thức sau:

$$S (\text{W/m}^2) \times t (\text{min}) = 60 \text{ Wmin/m}^2$$

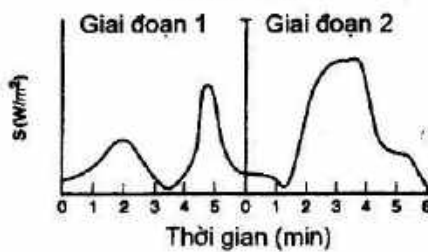
$$t \leq 6 \text{ min}$$

Vì vậy, ví dụ như, nếu thời gian phơi nhiễm chỉ là 3 min trong giai đoạn 6 min bất kỳ thì cho phép mật độ dòng năng lượng lớn nhất là  $20 \text{ W/m}^2$ .

Hình 1 minh họa việc áp dụng qui định lấy trung bình theo thời gian của mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép. Ở hình 1 (a), giá trị phơi nhiễm trong thời gian trung bình là  $60 \text{ Wmin/m}^2$  ở cả giai đoạn 1 và 2. Trong giai đoạn còn lại của 6 min, không cho phép phơi nhiễm để giữ giá trị thời gian trung bình không vượt quá  $60 \text{ Wmin/m}^2$  ( $6 \text{ mWmin/cm}^2$ ). Thực tế, phơi nhiễm RF thường thay đổi liên tục theo thời gian do các đặc tính của nguồn hoặc chuyển động của con người trong trường phơi nhiễm RF. Điều này được thể hiện trên hình 1(b), trong đó vùng nằm bên dưới đường cong trong thời gian 6 min bất kỳ không vượt quá  $60 \text{ W min/m}^2$ . Đặc tính thời gian trung bình của mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép có thể cho thấy việc xác định sự phù hợp là rất phức tạp, tùy thuộc vào trường hợp phơi nhiễm cụ thể. Ví dụ, mặc dù mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép lấy trung bình theo thời gian không vượt quá trong giai đoạn 1 hoặc giai đoạn 2 trong hình 1(a), nhưng mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép vượt quá trong thời gian 6 min bắt đầu tại 3 min của giai đoạn 1 và kết thúc ở 3 min giai đoạn 2. Đánh giá mức phơi nhiễm RF lấy trung bình theo thời gian trong một số môi trường phức tạp có thể đạt được một cách chính xác chỉ qua việc sử dụng thiết bị đo được thiết kế để đạt được và lấy trung bình theo sự thay đổi thời gian thực tế khi đo cường độ trường. Các phép đo này có thể được thực hiện bằng thiết bị ghi dữ liệu di động thích nghi với thời gian trung bình của mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép, có thể tạo ra giá trị trung bình "trượt" trong thời gian trung bình thích hợp. Trong môi trường phơi nhiễm ít phức tạp hơn, như khi phơi nhiễm RF bị gián đoạn nhưng không có thay đổi về mức, bộ ghi dữ liệu sử dụng cùng với đồng hồ đo cường độ trường RF bằng rộng có thể đủ để xác định giá trị phơi nhiễm lấy trung bình theo thời gian.



Hình 1 (a)



Hình 1 (b)

Hình 1 – Ứng dụng lấy trung bình theo thời gian 6 min

4.2.1.2 Trung bình theo không gian

Việc đánh giá trường RF có thay đổi đáng kể theo vị trí đòi hỏi các trường cần được lấy trung bình theo không gian để qui định mức phơi nhiễm trung bình toàn bộ cơ thể. Khi áp dụng phép đo trường điện hoặc trường từ để đánh giá phơi nhiễm toàn bộ cơ thể, trung bình theo không gian là căn bậc hai của trường lấy trên diện tích tương đương với mặt cắt thẳng đứng của cơ thể người trưởng thành. Trung bình theo không gian có thể được đo bằng cách quét (với đầu dò đo thích hợp) trên diện tích mặt phẳng tương đương với diện tích mà một người trưởng thành đang đứng (diện tích hình chiếu đứng). Trong nhiều trường hợp, việc quét thẳng đứng, tuyến tính đơn thuần của trường đến độ cao 2 m qua đường tâm của diện tích cần xét là đủ. Trong trường hợp này, sử dụng phương thức tiếp cận tương tự như phương thức đo mức phơi nhiễm lấy trung bình theo thời gian có thể thích hợp. Ví dụ, kỹ thuật đo sử dụng thiết bị ghi dữ liệu trong đó thực hiện quét tốc độ đồng nhất trên đường thẳng tương đương chiều cao của một người trưởng thành. Giá trị thu được, lấy trung bình theo tổng thời gian quét, tương đương với trung bình theo không gian của trường RF. Đồng hồ khảo sát RF sẵn có trong thương mại có các bộ phận để ghi dữ liệu tích hợp

và lấy trung bình theo không gian và thời gian. Các thiết bị đo này nhỏ hơn so với các thiết bị ghi dữ liệu riêng rẽ trước đây nối với đồng hồ đo trường cơ bản. Trung bình theo không gian của trường phơi nhiễm cung cấp sự mô tả rõ hơn về phơi nhiễm, đặc biệt là các vùng có thể tồn tại trường tập trung quá mức và trường có cường độ cao, nhưng chỉ ở những thực thể có thể chỉ bị phơi nhiễm ở mức hạn chế.

Ngoài trung bình theo không gian lấy theo đường thẳng, trường phơi nhiễm RF có thể (1) lấy trung bình trên diện tích hình chiếu của cơ thể hoặc (2) lấy trung bình theo trung bình thể tích trong không gian mà các cá nhân có thể tiếp cận. Mỗi phương pháp này đều có các thuận lợi và bất lợi, và kết quả nhận được trong các trường hợp đã cho có thể khác nhau. Khi lấy trung bình trên diện tích hình chiếu thực của cơ thể, diện tích hình chiếu của cơ thể thay đổi theo chiều cao và trường không đồng nhất được lấy trọng số tương ứng; tức là, trường RF không được lấy trung bình một cách tuyến tính. Ví dụ, trên cùng một kích thước thẳng đứng thì diện tích hình chiếu của đầu người nhỏ hơn so với thân người. Vì vậy, trong trường hợp trường có thể lớn nhất ở gần vị trí của đầu nhưng lại tương đối nhỏ trên phần còn lại của cơ thể, lấy trung bình diện tích hình chiếu sẽ cho kết quả nhỏ hơn so với giá trị trung bình tuyến tính đơn thuần. Tuy nhiên, đối với trường biến đổi lớn theo không gian lớn nhất trong vùng thân người và vùng cơ thể thấp hơn, việc sử dụng lấy trung bình diện tích hình chiếu có thể cho kết quả trung bình theo không gian lớn hơn so với lấy trung bình tuyến tính đơn thuần. Kết quả lấy trung bình theo không gian cũng sẽ phụ thuộc vào các đặc tính không gian của trường RF liên quan đến tư thế của đối tượng phơi nhiễm.

Việc sử dụng lấy trung bình trường theo thể tích không gian là tương đối thuận tiện để mô tả đặc điểm của trường RF ở vị trí lắp đặt anten có diện tích lớn. Trong trường hợp này, trường được đo bằng cách đi bộ và di chuyển đầu dò đo RF chuyển động lên xuống với đầu dò dịch chuyển từ gần mặt đất đến độ cao xấp xỉ đầu người. Kết hợp với đi bộ, việc tiếp cận này cho phép đầu dò quét trong thể tích không gian và tạo ra trung bình theo thể tích có thể thể hiện chân thực hơn mức phơi nhiễm điển hình của các cá nhân trong khu vực so với các phương pháp lấy trung bình khác và có thể thực tế hơn về mặt SAR trên toàn bộ cơ thể.

Lựa chọn phương pháp thích hợp nhất để đánh giá mức phơi nhiễm RF liên quan đến SAR trung bình toàn bộ cơ thể nên để người điều tra trường thực hiện. Bất kỳ phương pháp nào trên đây đều có thể có ích cho việc xác định mối quan hệ giữa giá trị trung bình và giá trị đỉnh theo không gian của trường RF cần đo. Mối quan hệ này có thể được sử dụng để đánh giá trường trung bình từ việc dò đơn giản các trường đỉnh theo không gian. Mối quan hệ này phụ thuộc vào tần số của

trường vì điều này tạo ra khoảng cách không gian giữa giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của trường do phản xạ gây nên.

Về sơ bộ, có thể gợi ý rằng trường trung bình theo không gian có thể nằm trong phạm vi từ 40 % đến 60 % giá trị đỉnh theo không gian của trường trong khu vực anten quảng bá băng tần VHF và UHF. Các cá nhân thực hiện điều tra RF cần xây dựng thông tin về các mối quan hệ này và có dữ liệu trong hồ sơ điều tra trường cũng như có giải thích vì sao lại chọn phương pháp đo riêng này.

Có sự khác nhau giữa hai phương pháp lấy trung bình theo không gian đối với anten loại cộng tuyến dọc, là loại được dùng phổ biến hơn cho dịch vụ và thông tin liên lạc không dây khác. Trong một phân tích về anten băng tần 800 MHz ở độ cao lắp đặt được chọn là 0 m, 1,2 m và 1,83 m cho thấy với cấu hình độ cao mô phỏng đến đầu người, lấy trung bình diện tích được chiếu cho kết quả trung bình theo mật độ dòng năng lượng nhỏ hơn so với trung bình tuyến tính xấp xỉ 29 %. Nếu như phân bố trường tạo ra các trường rộng hơn thì dù chỉ cao hơn một chút về độ cao, sự suy giảm cũng đã nhỏ hơn giá trị danh nghĩa cần xác định, khoảng 8 % và 1 %, tùy theo từng trường hợp. Tuy nhiên, với sự phân bố trường của các anten cộng tuyến lắp ở độ cao 0 m và 1,83 m, phương pháp tiếp cận diện tích được chiếu thậm trí còn cho kết quả mật độ dòng năng lượng lấy trung bình theo không gian lớn hơn một chút, là 7 % và trên 15 %, tùy theo từng trường hợp.

Phát hiện này không gây ngạc nhiên do tính phức tạp của trường phản xạ tại các vị trí lắp đặt anten viễn thông. Nếu mật độ dòng năng lượng của trường cục bộ tương đối cao trong vùng thân của cơ thể người, thì việc tăng diện tích được chiếu của cơ thể qua phần thân người có thể cho kết quả mật độ dòng năng lượng lấy theo trọng lượng lớn hơn so với các trường được lấy trung bình tuyến tính đơn thuần. Mặt khác, việc dựa vào lấy trung bình theo không gian trên diện tích được chiếu của cơ thể, trong một số trường hợp (đặc biệt với trường cục bộ cao), có thể cho kết quả giá trị phơi nhiễm lấy trung bình theo không gian thấp hơn đáng kể.

#### **4.2.2 Lưu ý đối với phép đo trường ngoài**

Môi trường điện từ được xác định bởi rất nhiều yếu tố, bao gồm:

- a) Hướng lan truyền năng lượng từ nguồn.
- b) Hướng, khoảng cách, và định hướng liên quan của nguồn và các tính chất nổi bật của môi trường vật lý liên quan đến điểm thuộc trường.



c) Sự phân cực, tần số, kiểu điều biến và công suất của nguồn.

Bản chất đa dạng của các yếu tố và các ảnh hưởng của chúng lên kết quả của trường điện từ cần được hiểu rõ để thiết kế đầy đủ và vận hành thiết bị đo môi trường điện từ, và để thu được đủ các dữ liệu đảm bảo an toàn cho con người.

Nói chung, đặc tính của trường gần của nguồn RF được tạo thành từ thành phần phản xạ và thành phần bức xạ, thay đổi theo cả không gian và thời gian. Các thay đổi này là hàm của môi trường vật lý, cũng như các đặc tính của nguồn RF. Do có thể xảy ra các trường hợp rất đa dạng nên từng trường hợp có thể có bản chất riêng, việc tính toán cường độ trường gần cho mỗi trường hợp thường là không thực tế do bản chất phức tạp của trường gần. Vì vậy, nên dựa vào các phép đo. Tài liệu dưới đây có thể áp dụng cho cả trường gần và trường xa bên ngoài và các ứng dụng của phép đo SAR.

#### 4.2.3 Các hạn chế trong việc sử dụng thiết bị đo trường gần

Trường hợp không mong muốn thường nảy sinh khi thực hiện khảo sát nguy hiểm, sử dụng thiết bị khảo sát đẳng hướng khi cố gắng đánh giá mức nguy hiểm chỉ sử dụng dữ liệu cường độ trường trong trường gần của nguồn bức xạ RF hoặc của vật thể bức xạ lại thụ động. Người khảo sát đo cường độ trường cao, trường này suy giảm nhanh khi dịch chuyển đầu dò ra xa nguồn. Ở khoảng cách vài centimét, cường độ trường đo được có thể vượt quá mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép, biểu diễn bằng đơn vị của cường độ trường điện hoặc trường từ trường xa hoặc mật độ dòng năng lượng sóng phẳng tương đương. Tuy nhiên, việc ghép các trường RF cục bộ này vào bất kỳ vật thể hấp thụ nào (như con người) có thể không vượt quá giá trị SAR mà mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép dựa vào. Khả năng ước tính mức hấp thụ RF chỉ dùng phép đo trường ngoài được đề cập ở điều 6. Tuy nhiên, việc ước tính thường không chính xác lắm nên việc cố gắng xác định mức rủi ro tiềm ẩn dùng phép đo trường ngoài là vô ích.

Một trường hợp như vậy là cường độ trường E cao ở gần đầu anten đơn cực của máy phát cầm tay hoạt động ở bước sóng có kích thước tương tự như kích thước đầu người. Cường độ trường rất cao (so với mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép hiện hành) có thể đo được nhưng chỉ trong phạm vi vài centimét của đầu anten. Có thể thấy rằng việc hấp thụ RF có thể thực sự cao nếu đầu người ở vị trí cách đầu anten vài centimét nhưng không thể dự đoán SAR cục bộ của đầu người bằng cách chỉ sử dụng cường độ trường ngoài đo được. Trường hợp này và nhiều trường hợp

khác nữa cần được đánh giá thông qua việc sử dụng phép đo SAR (phép đo liều lượng) hoặc đo dòng cảm ứng trên mẫu xác ướp thực đặt trong trường cao cục bộ. Sử dụng phân tích phép đo liều lượng thông qua mô hình vật lý và toán học là kỹ thuật được chấp nhận rộng rãi trong vật lý học và công cụ y tế bức xạ ion hoá và mô hình để thực hiện phép đo liều lượng RF cũng sẵn có trong thương mại. Các kỹ thuật đo liều lượng cần được sử dụng là phương pháp chính để đánh giá nguy hiểm trong trường hợp khi rủi ro hoặc cân cân kinh tế do vấn đề phơi nhiễm RF làm cho chi phí tương đối cao và tính phức tạp của kỹ thuật đo liều lượng cũng đáng thực hiện. Kỹ thuật này được đề cập chi tiết trong tiêu chuẩn này để cho phép người có trách nhiệm đánh giá nguy hiểm RF sử dụng công nghệ đo liều lượng sẵn có.

#### **4.2.4 Ảnh hưởng của kích thước bộ cảm biến và khoảng cách đo**

Khi sử dụng đầu dò đẳng hướng, trường gần để đo RF ở gần vật bức xạ RF, hoặc gần vật thể phản xạ hoặc bức xạ lại thì phát sinh một số loại sai số. Sai số này có thể dễ dàng vượt quá nhiều đêxiben nếu không tránh các ảnh hưởng dưới đây.

a) Gradient trường – dữ liệu đo có thể bị sai lệch khi sử dụng "đầu dò trường gần" đẳng hướng để vẽ gradient không gian ở gần phần tử bức xạ của một bộ phát RF (anten hoặc vật bức xạ không chủ ý). Các gradient này có thể dẫn đến thay đổi đáng kể biên độ của trường đo được trong thể tích không gian có anten của đầu dò. Điều này tạo ra sai số phép đo do lấy trung bình theo không gian. Vấn đề giới hạn về kích thước lớn nhất của anten dàn hoặc cảm biến trong đầu dò cần được đặt ra. Ngoài kích thước của đầu dò, để có thể thực hiện phép đo chính xác trường gần thì còn phải tồn tại một khoảng cách tối thiểu.

b) Tương tác giữa nguồn tích cực và đầu dò – Ghép nối trường gần phản xạ với đầu dò đo có thể gây ra giá trị đo được có sai số lớn khi sử dụng đầu dò trường gần ở sát với vật bức xạ tích cực hoặc vật bức xạ lại thụ động. Mức tương tác (hoặc ghép nối) của đầu dò là hàm số của kích thước anten (hoặc cảm biến) của đầu dò và khoảng cách từ nguồn RF đến đầu dò.

c) Ảnh hưởng mang tải của đầu dò - anten từ các vật thể ở gần – Khi đầu dò ở gần vật thể phản xạ hoặc vật bức xạ lại thì sinh ra sai số tải đầu dò. Ảnh hưởng này làm thay đổi "trở kháng nguồn" của anten đầu dò và thay đổi mạch điện tương đương của mỗi anten và bộ tách sóng tương ứng. Đối với một kiểu bộ tách sóng cho trước, sai số mang tải phụ thuộc vào kích thước của anten, khoảng cách đến vật thể phản xạ và tần số của trường cần đo.

### 4.3 Vấn đề đo SAR

Phép đo SAR trong đối tượng sinh học phơi nhiễm ở tần số radiô là công việc rất khó khăn, cả trong điều kiện phơi nhiễm trường gần và trường xa. Ở trường hợp trường xa, trường bên trong phụ thuộc nhiều vào kích cỡ, hình dáng, định hướng (liên quan đến phân cực) và thành phần cấu tạo (hằng số điện môi phức) của vật thể. Với hình cầu (như đầu người) hoặc hình trụ (như tay hoặc chân) có thể xuất hiện cộng hưởng, gây ra gradien lớn theo phân bố cường độ trường bên trong với điểm hội tụ hoặc các điểm nóng xuất hiện gần đường tâm của hình cầu và sóng đứng qua thể tích của vật thể phơi nhiễm. Tuy nhiên, SAR ở bề mặt "phía trước" của hình cầu thường sẽ cao và là giá trị lớn nhất của SAR cục bộ. Trong điều kiện phơi nhiễm trường gần cục bộ (một phần cơ thể), trường bên trong suy giảm hàm số mũ theo khoảng cách tính từ bề mặt phơi nhiễm bên ngoài. Tốc độ suy giảm phụ thuộc vào độ dẫn của mô. Vì vậy, xác định SAR ở loại phơi nhiễm trường gần dễ hơn so với phơi nhiễm trường xa, vì trường bên trong bị giới hạn chủ yếu ở thể tích ngay sát góc mở phơi nhiễm của thiết bị. Trong cả trường hợp trường gần và trường xa, vùng bên trong có hằng số điện môi khác nhau tạo nên sóng phản xạ và sóng đứng và vì vậy làm cho vấn đề đo phức tạp. Hơn nữa, khi toàn bộ cơ thể người hoặc động vật thí nghiệm bị phơi nhiễm sóng phẳng hoặc năng lượng RF trường gần, độ sâu vùng cục bộ bên trong có thể bị đốt nóng có chọn lọc. Kết quả là, "điểm nóng" cục bộ là do có các điều kiện cộng hưởng trong vùng cục bộ này, trong đó SAR cục bộ ( $E^2$ ) có thể vượt quá SAR lấy trung bình theo toàn bộ cơ thể với hệ số là 100.

#### 4.3.1 Độ chính xác và các giới hạn phép đo SAR

Giá trị SAR cục bộ và phân bố SAR ở vật thể sinh học không thể đo mà không sinh ra độ không đảm bảo đo tương đối lớn cho dù sử dụng thiết bị đo nào. Trong các điều kiện phơi nhiễm sóng phẳng lý tưởng, SAR cục bộ (điểm) lớn nhất có thể lớn hơn đến 100 lần so với SAR lấy trung bình theo toàn bộ cơ thể. Yếu tố nhiệt động và gradien lớn trong trường E bên trong làm tăng độ lớn của sai số đo SAR cho dù nó được đo với thiết bị đo nhiệt hoặc đầu dò trường E cấy được. Độ không đảm bảo đo trong khoảng  $\pm(1-2)$  dB thường là giá trị tốt nhất đạt được khi xác định giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của trường điện từ bên trong hoặc SAR tồn tại ở bất cứ đâu khi chiếu vào vật thể sinh học. Phép đo nhiệt lượng của SAR lấy trung bình theo toàn bộ cơ thể có thể thực hiện với độ chính xác tuyệt đối và tốt hơn 10 %. Tuy nhiên, SAR lấy trung bình theo toàn bộ cơ thể cũng như SAR cục bộ ở các điểm khác nhau trong vật thể phơi nhiễm thay đổi đáng kể khi vị

trí của vật thể thay đổi liên quan đến vectơ trường phơi nhiễm. Vì vậy, dữ liệu đo SAR cần được biểu diễn với độ chính xác thực tế (không quá hai chữ số có nghĩa) và giới hạn độ không đảm bảo đo của phép đo SAR cần được chỉ ra rõ ràng.

#### **4.4 Lưu ý đối với phép đo dòng điện cảm ứng**

Rất khó để xác định dòng điện cảm ứng gây ra bởi trường điện bằng phép đo dòng điện cảm ứng của cơ thể. Thực tế, thiết bị đo dòng điện được đặt nối tiếp với chân hoặc tay và sau đó đo dòng điện chạy xuống đất hoặc bề mặt nối đất khác. Một phương pháp khác là sử dụng máy biến dòng RF kiểu kẹp để đo dòng điện cảm ứng hoặc dòng điện tiếp xúc.

### **5 Thiết bị đo**

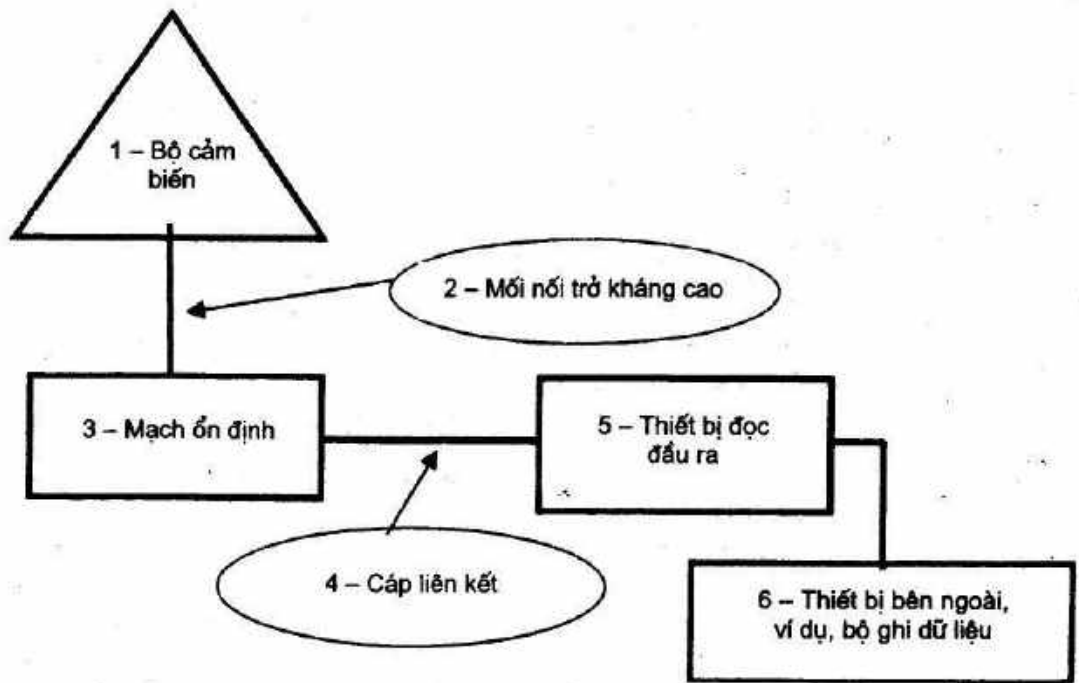
#### **5.1 Hệ thống đo trường ngoài**

##### **5.1.1 Thiết bị khảo sát RF**

Thiết bị đo nguy hiểm bức xạ RF (máy theo dõi, thiết bị khảo sát) thường là phương tiện hiệu quả để đo và đánh giá nguy hiểm RF tiềm ẩn. Như chỉ ra trên hình 2, thiết bị khảo sát RF có thể chia thành ba phần cơ bản: đầu dò (cảm biến), dây dẫn và đồng hồ đo. Đầu dò gồm một anten kết hợp với bộ cảm biến hoặc bộ tách sóng. Thiết kế và đặc tính của đầu dò quyết định tính năng và ứng dụng của cả thiết bị. Đầu ra từ đầu dò đã được tách sóng có đáp tuyến tần số phẳng là phép đo trực tiếp cường độ trường điện từ. Cá biệt có đầu dò mức độ nguy hiểm được thiết kế riêng có dạng đáp tuyến tần số thích hợp với mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép cụ thể; tức là, đầu ra đã tách sóng có trọng số tương ứng ở mỗi tần số. "Dây dẫn" là thành phần mang tín hiệu đã tách sóng đến đồng hồ đo. Để đạt được điều này mà không gây nhiễu trường, dây dẫn có thể có dạng các sợi dây trở kháng cao hoặc nếu là kim loại thì phải được định hướng sao cho giảm thiểu ghép nối với trường. Các dây này có thể có dạng sợi quang. Thiết bị đo bao gồm cả mạch ổn định tín hiệu và cơ cấu hiển thị.

Để phép đo trường gần có ý nghĩa, cần đáp ứng các điều kiện dưới đây:

- a) Đầu dò cần đáp ứng với tham số trường điện từ cụ thể nhưng không có các đáp tuyến giả (ví dụ, cần đáp ứng với trường điện mà không có đáp tuyến với trường từ giả).
- b) Kích thước bộ cảm biến dò trong môi trường xung quanh nó cần nhỏ hơn nhiều so với bước sóng ở tần số làm việc cao nhất.
- c) Đầu dò không được tạo ra tán xạ đáng kể của trường điện từ tới.
- d) Đáp tuyến đầu dò cần là đáp tuyến đẳng hướng (không phụ thuộc vào hướng), không định hướng và không phân cực. Nếu sự phân cực của đại lượng đo ( $E$  hoặc  $H$ ) đã biết, hoặc nếu thực hiện một số qui định để xoay đầu dò để tìm được hướng có đầu ra lớn nhất, thì có thể sử dụng đầu dò có đáp tuyến không đẳng hướng.
- e) Dây dẫn từ cảm biến đến đồng hồ đo không được có tương tác đáng kể với trường hoặc dòng điện dẫn RF từ trường này vào cảm biến.



1 – Bộ cảm biến: Sinh ra tín hiệu điện tỷ lệ với cường độ trường hoặc bình phương cường độ trường.

2 – Mối nối trở kháng cao: Giảm thiểu tương tác giữa trường và mạch nối, nghĩa là, cách ly bộ cảm biến với mạch ổn định và mạch đọc tín hiệu đầu ra.

3 – Mạch ổn định: Tạo ổn định tín hiệu, có thể bao gồm lọc, khuếch đại, số hoá, v.v... Bộ cảm biến, mối nối trở kháng cao và mạch ổn định kết hợp với nhau thường được gọi chung là "đầu dò". Mạch ổn định cũng có thể nối với thiết bị đọc đầu ra.

4 – Cáp liên kết: Nối mạch ổn định với thiết bị đọc đầu ra và có thể là liên kết quang để tăng cường cách ly về điện từ giữa đầu dò/bộ cảm biến và bộ đọc đầu ra/bộ khảo sát hoặc có thể là cáp dẫn.

5 – Thiết bị đọc đầu ra: Bộ đọc đầu ra số hoặc analog để hiển thị thông tin về cường độ trường. Thiết bị đọc đầu ra có thể có khả năng ghi, lấy trung bình hoặc ổn định dữ liệu khác. Với modul liên kết thích hợp, thiết bị đọc đầu ra có thể là một máy tính cá nhân.

6 – Thiết bị bên ngoài: Bộ đọc đầu ra có thể nối qua cáp dẫn hoặc cáp quang đến thiết bị đọc hoặc thiết bị thu thập (ghi) dữ liệu từ xa.

**Hình 2 – Thành phần cơ bản của thiết bị khảo sát RF**

## 5.2 Đặc tính điện mong muốn

### 5.2.1 Nguồn cung cấp điện

Thiết bị đo cần sử dụng nguồn cung cấp điện độc lập, cách ly với trường ngoài bằng vỏ và bộ lọc khử ghép thích hợp. Nếu sử dụng acqui, phải có qui định chỉ ra tình trạng của acqui. Thiết bị đo phải có khả năng làm việc với độ chính xác danh định, ít nhất trong 8 h mà không phải nạp lại hoặc thay thế acqui.

### 5.2.2 Phân cực

Sự kết hợp các anten của đầu dò cần có đáp tuyến với tất cả các thành phần phân cực của trường điện từ. Đặc tính này có thể đạt được bằng thiết kế vốn có, sử dụng lưỡng cực hoặc vòng lặp bội hoặc bằng cách xoay một anten quanh trục của nó.

### 5.2.3 Đại lượng và đơn vị

Để đánh giá nguy hiểm tiềm ẩn đối với con người, thiết bị đo phải chỉ ra được một hoặc nhiều tham số dưới đây:

- Trung bình mật độ dòng năng lượng "sóng phẳng tương đương", tính bằng oát trên mét vuông ( $W/m^2$ ) hoặc milioát trên centimét vuông ( $mW/cm^2$ ).
- Cường độ trường điện trung bình bình phương, tính bằng vôn bình phương trên mét vuông ( $V^2/m^2$ ).
- Cường độ trường từ trung bình bình phương, tính bằng ampe bình phương trên mét vuông ( $A^2/m^2$ ).
- Cường độ trường, tính bằng ampe trên mét ( $A/m$ ) hoặc vôn trên mét ( $V/m$ ).

Mật độ dòng năng lượng trung bình ( $W/m^2$  hoặc  $mW/cm^2$ ) được hiển thị trên một số đồng hồ khảo sát, được thiết kế chủ yếu để sử dụng ở tần số từ 300 MHz trở lên; các đồng hồ này thường được sử dụng trong vùng trường gần và vùng trường phản xạ, tại đó không thể đo được mật độ dòng năng lượng và cũng không đo được đại lượng có ý nghĩa nhất ( $E^2$  hoặc  $H^2$ ). Một số thiết bị đo chỉ ra mật độ dòng năng lượng "sóng phẳng tương đương" rút ra từ đại lượng trường đo được. Thiết bị đo có đầu dò có dạng đáp tuyến tần số đã định dạng đọc theo "phần trăm của giới hạn phơi nhiễm" dựa trên cơ sở mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép theo TCVN 3718-1.

#### **5.2.4 Dây**

Dây động thích hợp dùng cho thiết bị đo có dạng đáp tuyến tần số từ  $-10$  dB đến  $+5$  dB (10 % đến 300 %) so với 100 % giới hạn phơi nhiễm, được xác định bằng mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép. Với đầu dò đáp tuyến tần số phẳng, dây động khuyến cáo nhỏ nhất của thiết bị đo cần thấp hơn giá trị nhỏ nhất là 10 dB và cao hơn giá trị cao nhất của mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép là 5 dB. Có thể sử dụng một dây logarit hoặc nhiều dây tuyến tính để đạt được dây động mong muốn này.

#### **5.2.5 Bộ ghi đầu ra**

Thiết bị đo cần được trang bị bộ ghi đầu ra hoặc phương tiện khác có khả năng đo trường nguy hiểm tiềm ẩn mà không gây nguy hiểm cho người vận hành và dễ dàng lấy trung bình theo không gian và thời gian. Các biện pháp khác để ngăn ngừa nguy hiểm cho người vận hành có thể là kéo dài cáp giữa đầu dò và đồng hồ đo hoặc phương thức làm việc duy trì lớn nhất nhờ đó giá trị đo được lớn nhất được duy trì cho đến khi thiết bị đo được người vận hành điều chỉnh trở lại về "không".

#### **5.2.6 Vỏ bọc**

Vỏ thiết bị đo và cáp anten phải được bọc đủ để độ không đảm bảo đo được duy trì trong giới hạn qui định khi một phần thiết bị đo hoặc cáp thêm vào (có thể hoạt động như các phần tử thu không chủ ý) bị phơi nhiễm ở cường độ trường giống như đầu dò. Vỏ bọc này phải có hiệu quả trong điều kiện xuất hiện sự ghép nối hoặc xuất hiện "cảm biến" lớn nhất đối với phần tử thu không chủ ý.

#### **5.2.7 Điều biến**

Thiết bị đo cần thể hiện các tham số hiệu dụng, không phụ thuộc vào bất kỳ sự điều biến nào. Tuy nhiên, cho phép có sự chuyển đổi hằng số thời gian của bộ tách sóng hoặc bộ chỉ thị dùng cho phương thức sóng liên tục CW và phương thức sóng liên tục có điều biến biên độ (AM-CW). Đồng thời, thiết bị đo cần có khả năng lấy trung bình theo đường bao điều biến xung hẹp nhất của trường sóng không liên tục mà người khảo sát có thể gặp phải.



### 5.2.8 Điện tích tĩnh điện

Thiết bị đo cần chỉ ra mức độ sai lỗi do nhạy với điện tích tĩnh điện. Điện tích tĩnh điện này thường cảm ứng trên đầu dò của thiết bị khảo sát, hoặc trên hệ thống cần khảo sát, ví dụ như màn hình ống tia ca tốt. Ví dụ, khi thực hiện đo trong các điều kiện có gió và/hoặc độ ẩm thấp, điện tích tĩnh điện trên người khảo sát có thể ảnh hưởng đến kết quả của thiết bị kiểm tra.

### 5.2.9 Nhạy với bức xạ khác

Tính chính xác qui định của thiết bị cần bao gồm các ảnh hưởng của phơi nhiễm với bức xạ ion hoá, ánh sáng nhân tạo, ánh sáng mặt trời hoặc phóng vãng quang.

### 5.2.10 Thời gian đáp ứng

Thời gian đáp ứng thường được xác định là thời gian yêu cầu để thiết bị đo đạt đến 80 % giá trị cuối cùng của nó khi phơi nhiễm với hàm bậc thang của năng lượng sóng liên tục tần số radiô (CW RF). Người sử dụng cần biết thời gian đáp ứng. Người sử dụng có thể chọn nhiều thời gian đáp ứng nhưng thời gian đáp ứng nhanh nhất không nên lớn hơn 1 s.

### 5.2.11 Chức năng đặc biệt

Mong muốn rằng thiết bị có được một hoặc nhiều chức năng dưới đây:

- a) Duy trì thời gian tối đa thể hiện số đọc lớn nhất trong quá trình đo.
- b) Chức năng phát ra tín hiệu âm thanh tỷ lệ với cường độ trường đo được và/hoặc chỉ thị bằng âm thanh khi mức đặt trước bị vượt quá.
- c) Chức năng ghi dữ liệu cung cấp giá trị trung bình, giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của đại lượng trường cần đo. Các dữ liệu này được lưu giữ để sử dụng sau này. Đặc điểm này cũng có thể cung cấp giá trị trung bình theo thời gian thực của trường đo được cùng với thời gian trung bình do người sử dụng qui định, ví dụ, 6 min. Giá trị trung bình này cần được cập nhật cứ sau vài giây, với điều kiện người sử dụng chỉ ra diễn biến của trường thay đổi theo không gian hoặc thời gian.
- d) Chức năng lấy trung bình theo thời gian với hằng số thời gian tương đối dài (cỡ vài phút), với đầu dò đáp tuyến tần số phẳng, lấy trung bình đại lượng đo được trên toàn bộ khoảng thời gian đã biết. Đầu ra của đầu dò có đáp tuyến tần số có dạng thích hợp, được lấy trung bình theo

khoảng thời gian thích hợp, ví dụ, 6 min, là phép đo trực tiếp mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép hiện hành tương ứng.

e) Có giao diện analog hoặc digital với máy tính cá nhân hoặc thiết bị thu nhận dữ liệu khác, kể cả phần mềm thích hợp.

### **5.2.12 Tính ổn định**

Thiết bị đo cần thể hiện tính ổn định đủ để đo chính xác trường phơi nhiễm RF trong khoảng thời gian phù hợp với thời gian thường đòi hỏi với phép đo cụ thể. Thực tế, thiết bị đo cần có khả năng làm việc từ 10 min đến 30 min không cần đặt lại đồng hồ về "không" (không có bức xạ RF) trên dải cần đo. Có thể dùng mạch zero điện tử tự động để không phải che chắn đầu dò nhạy khỏi môi trường RF trong quá trình điều chỉnh về không. Mong muốn là có thể điều chỉnh về không tự động, đặc biệt là khi tiến hành khảo sát RF trong điều kiện khó khăn như tháp thông tin liên lạc/quảng bá, trong trường hợp không có sẵn vị trí RF bằng 0, hoặc trong trường hợp người khảo sát đang leo tháp có thể không có khả năng di chuyển tự do hoặc dùng cả hai tay để đặt lại thiết bị về mức không. Thiết bị cần phải không nhạy với sự thay đổi nhiệt nằm trong dải nhiệt độ đã được tính đến. Các qui định về thiết bị cần chỉ ra sự trôi điểm không đối với từng dải.

### **5.2.13 Xem xét tính chính xác và rõ ràng**

Thiết bị phải có dữ liệu hiệu chuẩn cho phép người sử dụng đánh giá độ không đảm bảo đo lớn nhất khi xác định cường độ trường RF hoặc mật độ năng lượng khi sử dụng thiết bị ở các kiểu trường khác nhau với tần số khác nhau. Dữ liệu hiệu chuẩn cần kể đến độ nhạy của thiết bị với các tần số vượt ra ngoài dải tần hữu ích (đáp tuyến ngoài băng). Đồng hồ đo nhạy với trường ngoài băng không nên sử dụng trong môi trường có thể xuất hiện trường ngoài băng ở mức đáng kể. Sai số hiệu chuẩn cường độ trường tuyệt đối (tính chính xác) không lớn hơn  $\pm 1$  dB là thoải mái nhưng khó có thể đạt được. Sai số  $\pm 2$  dB hoặc thậm chí lớn hơn có thể chấp nhận được nếu các mức này thấp hơn giới hạn của mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép, nhưng khi đạt đến mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép, sai số đo trở nên quan trọng hơn. Trong nhiều trường hợp, yếu tố sai số cần biết trước và nêu trong hồ sơ đo. Các qui định về thiết bị cần chỉ ra khả năng của thiết bị để đáp ứng với trường điều biến biên độ, như tín hiệu radar xung, cũng như tín hiệu bội có thể rọi đồng thời đầu dò cảm biến. Thiết bị đọc tín hiệu ra cần có độ phân dải (tính rõ ràng) của cường độ trường đo được trong phạm vi 5 % giá trị toàn thang đo hoặc nhỏ hơn.

### **5.3 Đặc tính vật lý mong muốn**

#### **5.3.1 Khả năng di chuyển**

Thiết bị đo cần có khả năng di chuyển được để thao tác thuận tiện trong các điều kiện khắc nghiệt (ví dụ đang leo tháp).

#### **5.3.2 Khối lượng**

Khối lượng nên ở mức nhỏ có thể thực hiện được với công nghệ kỹ thuật hiện hành.

#### **5.3.3 Thể tích**

Thể tích nên nhỏ ở mức có thể thực hiện được và thuận tiện để thao tác khi cầm tay (xem 5.3.1).

#### **5.3.4 Phụ thuộc vào nhiệt độ, độ ẩm và áp suất**

Độ chính xác qui định của thiết bị đo cần tính đến ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ, độ ẩm và áp suất, và phải chỉ ra dải làm việc của các tham số này.

#### **5.3.5 Độ bền**

Đồng hồ chỉ thị và các thành phần khác của hệ thống khác cần đủ cứng vững để chịu được rung và xóc do vận chuyển. Cần có vỏ hộp khi vận chuyển.

#### **5.3.6 Khả năng đọc**

Các vạch chia trên bề mặt đồng hồ phải đủ lớn để đọc dễ dàng ở khoảng cách bằng chiều dài cánh tay. Số đọc tương ứng với hướng dẫn bảo vệ áp dụng được cần xuất hiện ở khoảng giữa của một phần ba thang đo của mặt đồng hồ nếu số đọc đầu ra là analog. Nếu có từ hai dải độ nhạy trở lên thì phải chỉ ra giá trị toàn thang đo của dải được chọn và dễ dàng nhận biết được đơn vị của đại lượng cần đo. Trong nhiều trường hợp, cần chỉ ra rõ ràng đơn vị của số đọc đầu ra có dạng digital hoặc dạng analog.

### **5.3.7 Dễ điều chỉnh**

Thiết bị đo cần có số lượng cơ cấu điều khiển nhỏ nhất. Chúng phải có nhãn ghi rõ ràng chức năng. Không đòi hỏi dịch chuyển hai nút điều khiển cùng một lúc. Với nút dịch chuyển đồng hồ kiểu cơ, điểm "không" về điện cần trùng hoặc cao hơn điểm "không" về cơ của đồng hồ chỉ thị.

### **5.3.8 Dễ sử dụng**

Nên tránh qui trình vận hành phức tạp. Kỹ thuật viên bình thường cũng có thể thực hiện được các phép đo chính xác chỉ bằng các thông tin cung cấp trong hướng dẫn sử dụng.

## **5.4 Thiết bị đo trường ngoài**

### **5.4.1 Phương pháp hiệu chuẩn**

Sử dụng các thiết bị khác nhau được hiệu chuẩn tin cậy để đo trường điện từ là cần thiết để đảm bảo an toàn cho con người, đảm bảo phù hợp với tiêu chí và qui định phơi nhiễm và để cung cấp cơ sở so sánh kết quả về nguy hiểm RF hoặc so sánh kết quả nghiên cứu hiệu chuẩn trường RF được thực hiện bởi hai hoặc nhiều nhóm và phòng thí nghiệm độc lập. Phương pháp hiệu chuẩn hiện nay dựa trên giả thuyết là cường độ trường đã biết có thể thiết lập qua phép đo, tính toán, hoặc kết hợp cả hai. Thiết bị cần hiệu chuẩn được đặt trong trường chuẩn và so sánh giá trị đo được trên đồng hồ với giá trị trường đã biết. Có ba phương pháp cơ bản để tạo ra trường hiệu chuẩn tiêu chuẩn:

- a) Phương pháp trường tiêu chuẩn theo không gian tự do.
- b) Phương pháp ống dẫn sóng.
- c) Phương pháp đầu dò tiêu chuẩn hoặc chuẩn truyền.

Kỹ thuật được sử dụng rộng rãi nhất được mô tả trong các điều dưới đây. Việc lựa chọn kỹ thuật đo phụ thuộc vào kiểu và cỡ của đầu dò, dải tần, phương tiện và thiết bị sẵn có và các yêu cầu chính xác.

**CHÚ THÍCH:** Trong tất cả các phương pháp dưới đây, cần sử dụng máy phát có đầu ra RF không có thành phần hài; tức là các hài nên ở thấp hơn tần số cơ bản ít nhất 20 dB. Bộ lọc thông thấp có thể đặt ở cổng đầu ra của máy phát để thoả mãn điều này.

#### 5.4.1.1 Phương pháp trường tiêu chuẩn theo không gian tự do

Có một vài biến thể của phương pháp này, nhưng mục đích là để thiết lập trường hiệu chuẩn đã biết trong không gian tự do. Cách bố trí phổ biến nhất theo kinh nghiệm dùng ở tần số vi sóng được cho trong hình 3. Mật độ dòng năng lượng  $S$  tại điểm trên trục cách anten truyền một khoảng bằng  $d$  được nêu bằng công thức truyền trong không gian tự do Friis như sau:

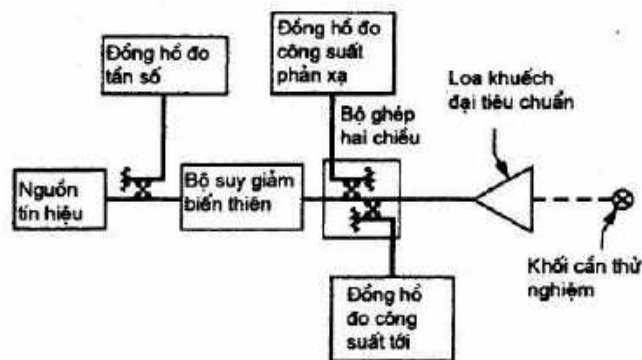
$$S = \frac{P_T G}{4\pi d^2} \quad (1)$$

trong đó

$P_T$  là công suất toàn phần truyền đến anten,

$G$  là độ lợi của anten hiệu quả ứng với một anten đẳng hướng.

Độ lợi thường được xác định trước,  $P_T$  và  $d$  được đo theo qui trình hiệu chuẩn bình thường.



Hình 3 – Phương pháp hiệu chuẩn trường tiêu chuẩn trong không gian tự do

Phương pháp thuận tiện nhất để xác định  $P_T$  là sử dụng bộ ghép hai chiều, như chỉ ra ở hình 3. Công suất tới  $P_i$  và công suất phản xạ  $P_r$  được quan sát tại phía bộ ghép nối và  $P_T$  đạt được từ mối quan hệ:

$$P_T = P_i - P_r$$

Sử dụng bộ ghép chất lượng cao, băng tần rộng sẵn có, cùng với các phương pháp hiệu chuẩn để xác định  $P_T$ . Phương pháp đã nêu dùng để hiệu chỉnh đồng hồ đo công suất, nhưng kỹ thuật này có thể áp dụng cho anten nếu tiến hành hiệu chỉnh các ảnh hưởng do không phù hợp trở kháng. Phương pháp Bramall cho phép sử dụng thiết bị đo năng lượng bức xạ công suất thấp đã hiệu chuẩn dùng để xác định chính xác mức công suất truyền cao.  $P_T$  có thể được xác định trong

phạm vi 1 % hoặc 2 % nếu đã hiệu chỉnh sự không phù hợp (vì chúng cần để đo chính xác).<sup>1</sup> Một cách để tính ảnh hưởng không phù hợp là sử dụng kỹ thuật phương trình - công suất, cho phép sử dụng bộ ghép định hướng không bị hạn chế về chiều và không yêu cầu bộ ghép chính xác. Phương pháp phương trình - công suất và phương pháp bộ nối tầng kết hợp dùng để xác định chính xác công suất tuyệt đối truyền từ anten dùng để hiệu chỉnh thiết bị đo trường gần.

Để xác định  $P_r$ , cũng như  $P_r/P_t$ , có thể sử dụng bộ phân tích mạng lưới tự động hiện đại có lắp sẵn bộ vi xử lý để hiệu chỉnh thời gian thực của sai số hệ thống. Tất cả các thành phần sử dụng trong hệ thống hiệu chuẩn nên dùng bộ nối chính xác và bộ thích nghi dẫn sóng đồng trục. Điều này bao gồm bộ ghép và bộ thích nghi định hướng dẫn sóng và đồng trục công suất cao và được sử dụng trong quá trình phát thực tế của mật độ dòng năng lượng hiệu chuẩn trường xa.

Những điều đề cập ở trên giả thiết rằng thiết bị cần hiệu chuẩn là đủ nhỏ và đủ xa so với anten truyền mà lượng năng lượng phản hồi trong hệ thống truyền là không đáng kể. Nếu không đáp ứng điều kiện này thì có thể hiệu chỉnh ảnh hưởng của năng lượng phản xạ bằng cách thay đổi  $d$ , quan sát sự biến đổi (xấp xỉ) hình sin của  $P_r$ , và sau đó tính trung bình  $P_r$  trong ít nhất một chu kỳ đầy đủ.

#### **5.4.1.1.1 Nguồn sai số**

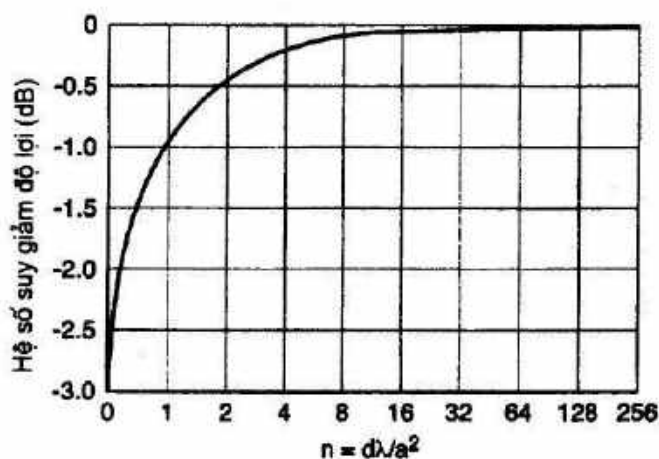
Nguồn chính gây sai số ở phương pháp không gian tự do là nhiễu, phản xạ nhiều hướng từ vật thể bằng kim loại hoặc điện môi được sử dụng để đo trường trong hệ thống hiệu chuẩn, và độ không đảm bảo đo trong việc xác định độ lợi anten. Ảnh hưởng nhiều hướng thường được bỏ qua nhưng mọi phương thức hiệu chuẩn có tán xạ kết hợp với các bức tường, thiết bị và thậm chí kết cấu giá đỡ đầu dò điện môi. Chúng có thể làm cho mật độ dòng năng lượng trong vùng hiệu chuẩn khác đáng kể so với dự đoán bằng công thức (1). Sai số hiệu chuẩn do hiệu ứng nhiễu chiều có thể giảm bằng cách quan sát đáp tuyến đầu dò là hàm của vị trí và lấy trung bình các kết quả. Sai số bổ sung có thể có do tán xạ ngược từ cáp, phần tử đo và tương tự, nằm ở khoảng cách cố định phía sau đầu dò cần thử nghiệm. Ảnh hưởng của loại tán xạ này có thể được giảm bằng cách tính trung bình nhiều vị trí nếu đầu dò có thể di chuyển theo nguồn năng lượng tán xạ. Một cách khác, vật liệu hấp thụ cần được đặt ở phía trước tất cả các hạng mục này để phản xạ năng lượng theo hướng của đầu dò.

<sup>1</sup> Độ không đảm bảo đo chỉ ra ở đây bao gồm tất cả nguồn sai số đã biết, có ý nghĩa và tương ứng với 95 % giới hạn tin cậy.

### 5.4.1.1.2 Xác định độ lợi anten

Xác định độ lợi anten ( $G$ ) làm cho phép đo trở nên khó khăn hơn. Việc có được giá trị độ lợi chính xác ở khoảng cách đo là tương đối dễ, nhưng đòi hỏi công suất của máy phát lớn và tình trạng đa tuyến thường xấu hơn. Mặt khác, có một số khó khăn cơ bản đi kèm với xác định độ lợi chính xác ở khoảng cách ngắn.

Độ lợi hiệu quả  $G$  của anten là hàm của khoảng cách và đạt hằng số  $G_{\infty}$  khi  $d$  là vô cùng. Điều này được chỉ ra trên hình 4, cho thấy sự giảm độ lợi ước tính trong phạm vi một ví dụ điển hình, biểu đồ được vẽ là hàm của tham số  $n = (\lambda d)/a^2$ , trong đó  $a$  là kích thước góc mở lớn nhất và  $\lambda$  là bước sóng trong không gian tự do. Để thiết lập trường hiệu chuẩn, cần dùng giá trị  $G$  đã hiệu chỉnh ở khoảng cách qui định; nếu không sẽ dẫn đến sai số lớn. Độ lợi trường xa  $G_{\infty}$  của vành loa hình chóp có thể được tính với độ chính xác đáng kể ( $\approx 0,3$  dB) cho nhiều mục đích và có thể được đo trong khoảng 0,1 dB nếu cần thiết. Như chỉ ra trên hình 4, giá trị đo được của  $G_{\infty}$  có được nhờ phương pháp này ở khoảng cách lớn hơn, khoảng  $(8a^2)/\lambda$  ( $n > 8$ ). Cũng có thể tính  $G$  trong khoảng 0,3 dB đối với vành loa hình chóp ở khoảng cách giảm xuống đến  $(2a^2)/\lambda$ ; tuy nhiên, độ chính xác của việc tính toán các vùng gần là chưa thiết lập được.



Hình 4 – Suy giảm độ lợi ước tính với một anten điển hình

Việc xác định độ lợi trường gần theo thực nghiệm cũng gặp phải một số vấn đề. Đo độ lợi trường xa phổ biến thường là đo công suất phát ra giữa một cặp anten và áp dụng công thức (2):

$$G_T G_R = \frac{P_R}{P_T} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

trong đó

$P_R$  là công suất thu,

$G_T$  và  $G_R$  là độ lợi tương ứng với anten phát và anten thu,

$d$  là khoảng cách giữa các anten.

Công thức (2) chỉ dùng cho trường xa. Ở khoảng cách ngắn hơn,  $G_T$  và  $G_R$  không thể tách thành các hệ số riêng rẽ. Tuy nhiên, khi có thể đo tỷ số  $P_R/P_T$  thì áp dụng công thức (2) trong trường hợp hai anten giống nhau trong trường gần và có:

$$G_a^2 = (P_R / P_T) (4\pi / \lambda)^2$$

trong đó

$G_a$  là độ lợi trường gần hiển nhiên đo được của hai anten.

Tuy nhiên,  $G_a$  có được theo cách này không hẳn là độ lợi trường gần. Nói cách khác,  $G_a$  chưa là giá trị đúng trên trục mật độ dòng năng lượng khi sử dụng công thức (1). Yếu tố này có thể nhận thấy bằng trực giác.  $P_R$  là tích phân (hoặc lấy trung bình) của phân bố trường tới trên toàn bộ góc mở thu và trừ khi trường tới là sóng phẳng thì không có mối quan hệ thuần túy giữa  $G_a$  và mật độ dòng năng lượng trên trục mong muốn. Sai số giảm khi  $d$  trở nên lớn hơn. Sai số độ lợi trường gần có thể đánh giá gần đúng theo kinh nghiệm, bằng cách vẽ biểu đồ dữ liệu đo được (được san phẳng để khử dao động sóng đứng) và so sánh nó với đường cong lý thuyết giảm dần  $1/d^2$ . Bằng cách xác định độ lệch khỏi  $1/d^2$ , có thể tính được dữ liệu theo thực nghiệm này.

Với góc mở vuông góc:

$$S = \frac{\eta P_T}{n^2 A} \left( \frac{b}{a} \right)^2 \quad (3)$$



trong đó

$S$  là mật độ dòng năng lượng ở góc mở thu,

$A = ab$  là diện tích vật lý của góc mở,

$a$  và  $b$  là kích thước góc mở ( $a$  là cạnh lớn hơn),

$h$  là hệ số hiệu quả của góc mở xác định bằng  $A_e / A$ , với  $A_e$  là diện tích góc mở hiệu quả.

Công thức (3) là một dạng thay đổi đơn giản của công thức (1), có được nhờ sử dụng mối quan hệ  $G = (4\pi A_e)/\lambda^2$  và  $\eta = (\lambda d)/a^2$ . Với anten loa có thiết kế hình học và thiết kế điện cho trước, ví dụ, họ "anten loa độ lợi tiêu chuẩn" của một nhà chế tạo cụ thể để sử dụng ở các băng tần làm việc dẫn sóng khác nhau, tỷ số  $b/a$  và  $\eta$  là xấp xỉ hằng số, và theo công thức (3), mật độ dòng năng lượng với giá trị cụ thể của  $n$  là tỷ lệ nghịch với diện tích góc mở. Mong muốn có  $\eta$  càng lớn càng tốt để giảm sai số độ lợi; vì vậy, nếu giới hạn  $P_T$  thì cần dùng góc mở nhỏ hơn để đạt được cường độ trường hiệu chuẩn yêu cầu.

Từ đó, nếu muốn hiệu chỉnh anten ở khoảng cách ngắn, vì không có sẵn một dãy các khoảng cách dài, hoặc để tránh tiêu phí hệ thống công suất cao và tránh sự phức tạp mà sóng đứng tạo ra do phản xạ nhiều chiều từ phòng câm không hiệu quả, thì cần biết độ lợi vùng gần. Hai kỹ thuật đo có thể sử dụng để xác định độ lợi vùng gần như dưới đây. Nếu một anten nhỏ (ví dụ, ống dẫn sóng có đầu mở) và độ lợi trường xa đã biết, thì có thể sử dụng để xác định độ lợi trên trục hiệu quả của anten lớn hơn ở khoảng cách tương đối ngắn bằng công thức (2). Phép đo cần có độ chính xác hợp lý ( $\approx 0,5$  dB) với điều kiện  $d$  lớn hơn  $(4a^2)/\lambda$  đối với anten nhỏ. Đối với khoảng cách tính từ anten lớn hơn, trước tiên cần chú ý là gradien trường phải nhỏ theo vùng hiệu chuẩn và mặt trước sóng phải xấp xỉ sóng phẳng. Các điều kiện này được thoả mãn hợp lý ở khoảng cách lớn hơn  $a^2/\lambda$  với anten lớn. Kích thước của góc mở thu hoặc của phần tử nhạy của đầu dò được hiệu chuẩn cần nhỏ hơn kích thước góc mở của anten nhỏ. Qui trình này công bố độ không đảm bảo đo tổng trong trường hiệu chuẩn là  $\pm 0,5$  dB với dải tần từ 1 GHz đến 18 GHz và  $\pm 1$  dB với dải tần đến 35 GHz.

## 5.4.1.1.3 Góc mở nhỏ

Theo quan điểm đề cập ở hai đoạn trên thì không nên dùng nguồn là anten lớn. Thực tế, có thể làm việc ở khoảng cách gần hơn với công suất máy phát nhỏ hơn nếu nguồn anten được giữ tương đối nhỏ. Ống dẫn sóng có đầu mở có thể là nguồn anten nhỏ nhất thiết thực, sẵn có, không có các vấn đề không phù hợp nghiêm trọng và vì vậy có đủ độ lợi để tập trung năng lượng trong vùng hiệu chuẩn và tạo điều kiện chặn năng lượng tán xạ trong phòng thử nghiệm. Ngoài ra, có thể dễ dàng hoạt động ở khoảng cách lớn hơn bốn lần  $a^2/\lambda$ . Tuy nhiên, anten có đầu mở cần chứa vùng ống dẫn sóng có góc mở mở rộng được vài bước sóng từ các cạnh hoặc chỗ uốn bất kỳ. Thêm vào đó, đầu góc mở (bức xạ) cần được cắt thẳng theo mặt phẳng vuông góc với trục lan truyền của ống dẫn. Với ống dẫn sóng có đầu mở được có tỷ số hai cạnh là hai trên một, tức là  $a/b = 2$ , độ lợi trường xa được tính gần đúng theo công thức (4) dưới đây.

$$G = 21,6 f a \quad (4)$$

trong đó

$f$  là tần số (GHz),

$a$  là độ rộng (kích thước lớn hơn) của góc mở ống dẫn sóng (m).

Khi cần hiệu chuẩn một số lượng lớn đồng hồ để đo nguy hiểm, trên danh nghĩa là giống hệt nhau, phương pháp ngoại suy là có ích khi áp dụng như dưới đây. Xem  $B_d$  là số chỉ của đồng hồ với đầu dò ở khoảng cách trường gần bất kỳ  $d$ ,  $B_o$  là số chỉ với đầu dò ở khoảng cách xa  $d_o$  trong điều kiện trường xa. Có thể viết được mối quan hệ như sau:

$$B_o = K S_o \quad (5)$$

$$B_d = K S_d$$

trong đó:

$S_o$  là mật độ dòng năng lượng trường xa,

$S_d$  là mật độ dòng năng lượng sóng phẳng tương đương trong trường gần,

$K$  là hệ số tỷ lệ giữa số chỉ đồng hồ và mật độ dòng năng lượng tới.

Ở phương pháp ngoại suy,  $B_d$  được đo trong phạm vi khoảng cách  $d$ , và có một dãy công suất phù hợp với  $B_d d^2$  trong thời gian đo. Sau đó, tập hợp công suất này được sử dụng để xác định  $B_o d_o^2$  bằng phép ngoại suy. Có thể có hệ số hiệu chuẩn trường gần  $F_d$  từ công thức:

$$F_d = \frac{B_d d^2}{B_o d_o^2} \quad (6)$$

$F_d$  cũng có thể được xác định không cần nhờ đến phương pháp ngoại suy nếu sẵn có một dải đủ rộng để đo  $B_o d_o^2$  trực tiếp. Kết hợp công thức (5) và (6) có được:

$$S_d = F_d W_o \left( \frac{d_o}{d} \right)^2 = \frac{F_d P_T G_T}{4\pi} \quad (7)$$

từ đó:

$$S_o = (P_T G_T) / (4\pi d_o^2)$$

$P_T$  có thể đo được và  $G_T$  (độ lợi trường xa của anten phát) có thể có được bằng phương pháp ngoại suy hoặc các phương pháp khác đã đề cập ở trước. Hệ số hiệu chuẩn trường gần  $F_d$  là hàm của  $d$ , và cần được xác định cho từng sự kết hợp của vật bức xạ và dạng đầu dò. Tuy nhiên, khi  $F_d$  đã được tính với đầu dò cho trước, có thể dùng nó để hiệu chuẩn các đầu dò khác cùng loại với sai số bổ sung nhỏ.

Sử dụng phương pháp hiệu chuẩn trường gần theo kinh nghiệm ở trên để dùng ở tần số trên 300 MHz. Anten loa có độ lợi tiêu chuẩn thường được dùng như vật bức xạ trên 1,1 GHz (nghĩa là WR 650 và ống dẫn sóng nhỏ hơn). Công suất bộ truyền yêu cầu để tạo trường hiệu chuẩn  $100 \text{ W/m}^2$  ( $10 \text{ mW/cm}^2$ ) là từ 10 W đến 20 W. Ống dẫn sóng có đầu mở (WR2100-WR430) từ khoảng từ 300 MHz đến 2,6 GHz thích hợp hơn đối với phân tử bức xạ vì, như chỉ ra ở công thức (7), để tạo ra trường hiệu chuẩn có mật độ dòng năng lượng vừa đủ và đồng nhất có độ lợi trên trục đã biết thì cần ít năng lượng hơn. Trong trường hợp này, công suất truyền là 50 W hoặc ít hơn sẽ tạo ra trường  $100 \text{ W/m}^2$ . Chú ý rằng việc tính toán độ lợi trường gần đối với anten hình loa không đạt được kết quả chính xác như ống dẫn sóng, do đó, cần đo độ lợi trường gần. Phương pháp không gian tự do hiệu chuẩn đồng hồ để đo nguy hiểm từ 500 MHz đến 20 GHz cho thấy rằng có thể đạt độ không đảm bảo đo tổng là  $\pm 1,0 \text{ dB}$  hoặc nhỏ hơn nếu thực hiện đủ phòng ngừa.

#### 5.4.1.2 Hiệu chuẩn sử dụng ống dẫn sóng hình chữ nhật

Với mục đích hiệu chuẩn, trường bên trong ống dẫn sóng chữ nhật có thể tính được và trong một số trường hợp được xem như đồng nhất hoàn toàn. Thuận lợi chính của hệ thống này là chỉ đòi hỏi công suất và không gian nhỏ hơn đáng kể. Một bất lợi đó là kích thước lớn nhất theo chiều

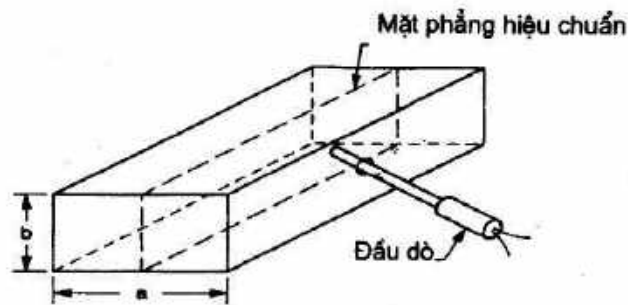
ngang của ống dẫn sóng chữ nhật phải nhỏ hơn bước sóng không gian tự do ở tần số hiệu chuẩn cao nhất để tránh phương thức bậc cao hơn dẫn đến phân bố trường phức tạp. Vì vậy, phương pháp này thường được sử dụng với tần số thấp hơn 2,6 GHz (WR430) do thiết bị căn hiệu chuẩn phải nhỏ hơn so với kích thước ống dẫn sóng. Trường sẽ suy giảm nhanh chóng theo khoảng cách so với vật bức xạ, và chỉ có cảm biến đầu dò có ảnh hưởng chủ yếu đến trường, tức là, tay cầm và cáp được rọi bởi trường nhỏ hơn nhiều. Vì vậy, việc hiệu chuẩn ống dẫn sóng tạo ra kỹ thuật hiệu chuẩn tốt đối với cảm biến đầu dò cách ly. Ngược lại, việc hiệu chuẩn trong trường sóng phẳng tạo ra sự rọi đồng nhất của toàn bộ đầu dò và cáp gắn với nó. Việc phân tích một cách thận trọng sai số của vấn đề này chưa được hoàn thành, nhưng có thể xem là nếu kích thước đầu dò lớn nhất nhỏ hơn một phần ba kích thước ống dẫn sóng nhỏ nhất thì độ không đảm bảo đo tổng sẽ không vượt quá  $\pm 1$  dB.

CHÚ THÍCH: Phải cẩn thận để ngăn ngừa đặt vật kim loại vào ống dẫn sóng gây nhiễu dạng thức.

Hình 5 chỉ ra một phần của ống dẫn sóng chữ nhật có thể được sử dụng để hiệu chuẩn. Nối tải không phản xạ với đầu ra để ngăn ngừa sóng đứng gây ra sai số chuỗi trong hiệu chuẩn. Đầu dò căn hiệu chuẩn thường được đưa vào trong ống dẫn sóng qua một lỗ ở cạnh (như chỉ ra ở hình 5) và được định vị ở tâm của ống dẫn sóng nơi có trường gần như là đồng nhất. (Không nên để lối vào qua mặt trên cùng vì đầu đọc giả sử dụng dây dẫn thẳng hàng với trường E chiếm ưu thế hơn). Để giảm thiểu nhiễu phân bố trường, lỗ đưa đầu dò vào càng nhỏ càng tốt. "Mật độ dòng năng lượng" có thể xác định theo  $E^2$  (không phải là  $\vec{E} \times \vec{H}$ ) tại tâm của ống dẫn hình chữ nhật trong đó chiều rộng a bằng hai lần chiều cao b theo công thức:

$$S = \left[ \frac{4P_n}{a^2} \right] \left[ 1 - \left( \frac{\lambda}{2a} \right)^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (8)$$

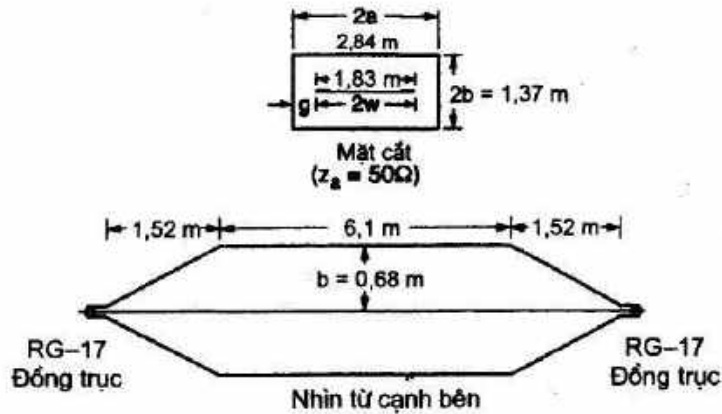
Sử dụng đường trượt và rãnh ở mặt bên của ống dẫn để đánh giá và để giảm độ không đảm bảo đo do sóng đứng bên trong ống dẫn.  $P_n$  được xác định giống như xác định  $P_T$  theo công thức (1). Nói chung, ước tính độ không đảm bảo đo tổng của phương pháp này là khó vì cường độ trường ở cảm biến đầu dò hiệu chuẩn sẽ bị thay đổi do kích cỡ và bản chất của nó. Đánh giá sai số của điện áp đầu dò đối với lưỡng cực có chiều dài 20 mm và 30 mm có trở kháng đầu nối là 100  $\Omega$  trong ống dẫn sóng WR430, lần lượt là 1 % và 2,5 %. (Trở kháng đầu nối 100  $\Omega$  là điển hình với nhiệt kế nhưng không dùng cho đầu dò sử dụng điốt trong phép đo độ rò của lò vi sóng).



Hình 5 – Hệ thống hiệu chuẩn ống dẫn sóng chữ nhật (phương thức  $TE_{10}$ )

#### 5.4.1.3 Hiệu chuẩn sử dụng phần tử TEM

Phương pháp ống dẫn sóng khác thích hợp cho hiệu chuẩn đầu dò trường điện từ tần số nhỏ hơn, khoảng 500 MHz là dùng phần tử điện từ ngang hay phần tử TEM. Giống như ống dẫn sóng chữ nhật, thiết bị này được bọc hoàn toàn và không phát ra năng lượng gây nguy hiểm tiềm ẩn hoặc gây nhiễu thiết bị điện từ lân cận. Các thuận lợi khác là độ ổn định lâu dài của hệ thống hiệu chuẩn và chi phí vừa phải (so với phòng cam). Phần tử TEM cơ bản là phần có hai đường dây truyền dẫn làm việc ở chế độ điện từ ngang (TEM). Như chỉ ra trên hình 6, phần thân chính của phần tử gồm dây dẫn ngoài có hình chữ nhật và dây dẫn tâm dẹt, đặt ở khoảng giữa của vách đỉnh và vách đáy. Kích thước của phần chính và đầu nối của phần tử được chọn sao cho cung cấp trở kháng đặc trưng là  $50 \Omega$  dọc theo chiều dài của phần tử. Khi phần tử được thiết kế riêng và được nối vào tải không phản xạ thì tỷ số điện áp sóng đứng (VSWR) đầu vào thường nhỏ hơn 1,05 ở tần số thấp hơn giới hạn tần số cắt. Ở chính giữa vùng hiệu chuẩn, nằm giữa dây dẫn tâm và mặt trên (hoặc mặt dưới), trường E được phân cực thẳng đứng và khá đồng nhất. Trở kháng sóng (E/H) xấp xỉ giá trị không gian tự do là  $120\pi \Omega$ . Đưa đầu dò vào trong vùng này sẽ làm thay đổi phân bố trường ở vùng lân cận của đầu dò nhưng độ không đảm bảo đo tổng của cường độ trường nhỏ hơn 1 dB nếu kích thước đầu dò lớn nhất nhỏ hơn  $b/3$ , trong đó b là khoảng cách từ mặt trên đến tấm giữa. Phần tử có thể có nhiều kích cỡ để phù hợp với mục đích riêng và để bao trùm dải tần qui định. Tuy nhiên, vì độ rộng (bề mặt song song với bề mặt của tấm giữa) cần nhỏ hơn nửa bước sóng để tránh phương thức bậc cao hơn trong phần tử, nên tần số hữu ích của phần tử TEM xấp xỉ là 500 MHz trừ khi cạnh của phần tử thẳng hàng với vật liệu hấp thụ RF.



Hình 6 – Phần tử điện từ ngang (TEM) lớn điển hình

Với mục đích sử dụng phần tử TEM, cần xem xét một số yếu tố như sau:

- a) Đặc tính điện của phần tử.
- b) Phương thức bậc cao hơn.
- c) Kích cỡ liên quan của đầu dò cần hiệu chuẩn so với tấm cách ly.
- d) Tính ổn định và thực trạng hiệu chuẩn của vôn-mét, bộ ghép định hướng và đồng hồ đo công suất sử dụng cùng phần tử để tạo ra cường độ trường có giá trị tuyệt đối đã biết.

5.4.1.3.1 Đặc tính điện

Phần tử TEM chữ nhật sẵn có trong thương mại được thiết kế để có trở kháng đặc trưng xấp xỉ 50 Ω. Giá trị này có thể được tính từ công thức (9):

$$Z_o \cong \frac{30\pi}{\frac{w}{a} + \frac{2}{\pi} \ln\left(1 + \text{Cotg} \frac{\pi g}{2b}\right)} \tag{9}$$

Trong đó kích thước w, b và g được cho trong hình 6. Trở kháng đặc trưng có thể được đo bằng phản xạ kế miền thời gian (TDR). Cũng có thể dùng TDR để kiểm tra và hiệu chỉnh không phù hợp trở kháng, cụ thể là ở điểm chuyển tiếp. Có thể tính được các trường ở điểm thử nghiệm, tức là, tâm hình học của tấm giữa (vách ngăn) và nằm chính giữa tấm giữa và vách phía trên (hoặc phía dưới) của phần tử từ công thức:

$$E = V/b = \frac{\sqrt{P_n Z_o}}{b} \tag{10}$$

$$H = E / (120\pi)$$

Trong đó  $V$  là điện áp ở cổng đầu vào hoặc đầu ra của phần tử,  $Z_0$  là phần thực của trở kháng đặc trưng và  $b$  là khoảng cách từ mặt trên đến tấm giữa.  $P_n$  (công suất lưới truyền đến phần tử) được xác định giống như  $P_T$  và áp dụng 5.5.1. Mật độ dòng năng lượng sóng phẳng tương đương  $S$  có thể được tính từ công thức:

$$S = E^2 / (120\pi) \text{ (W/m}^2\text{)}$$

hoặc

$$S = 120\pi H^2 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (11)$$

Chỉ áp dụng các giá trị này của trường tại điểm thử nghiệm đối với phần tử phù hợp trở kháng và sự thay đổi đáng kể sẽ nhận thấy được ở gần hoặc xa vách ngăn.

#### 5.4.1.3.2 Phương thức bậc cao hơn và sóng đứng

Tần số làm việc lớn nhất của phần tử được xác định bằng cách tính tần số cắt ở phương thức bậc cao hơn. Tần số cắt  $TE_{10}$   $f_c$  tính theo mối liên quan sau:

$$f_c = (75/a)\sqrt{1 + (40)/(\pi b)\ln(8a)/(\pi g)} \quad (12)$$

Trong đó  $f_c$  được tính bằng megahéc và  $a$ ,  $b$  và  $g$  là kích thước phần tử tính bằng mét. Nên sử dụng phần tử TEM ở thấp hơn tần số này để đảm bảo hoạt động đúng đối với hiệu chuẩn đầu dò. Thực tế, một số khó khăn có thể xuất hiện ở chế độ  $TE_{01}$ . Tuy nhiên, nếu tần số làm việc được giới hạn đến một nửa tần số cắt  $TE_{10}$  thì sẽ không có vấn đề xảy ra và trường đồng nhất là đạt được nếu phần tử được thiết kế đúng. Tuy nhiên các sai số nhỏ trong thiết kế hoặc kết cấu đôi khi có thể dẫn đến sự gián đoạn trở kháng của phần tử, cụ thể là vùng hình nón. Sự không phù hợp trở kháng này có thể tạo ra sóng đứng, gây sai số trong các giá trị của trường tại điểm hiệu chuẩn. Để đảm bảo hoạt động đúng của phần tử, bản đồ trường tại mỗi tần số làm việc mong muốn cần được thể hiện trong mặt phẳng phía trên vách ngăn, nằm giữa vách ngăn và vách phía ngoài của phần tử. Có thể vẽ bản đồ sử dụng đầu dò trường  $E$  và trường  $H$  có cảm biến nhỏ. Khi sử dụng phần tử, cần đo công suất tới và công suất phản xạ tại cổng đầu vào. Giá trị không thay đổi là đảm bảo sự hiệu chuẩn phần tử thích hợp. Sai số do sóng đứng có thể được ước tính bằng cách tính tỷ số giữa trường tại điểm thử nghiệm và trường trung bình phía trên vách ngăn, trung bình được tính từ một đầu của phần tử đến đầu khác dọc theo đường tâm.

#### 5.4.1.3.3 Kích cỡ cảm biến đầu dò so với tấm cách ly

Nếu cảm biến hiệu chuẩn chiếm một phần ba hoặc nhỏ hơn so với khoảng cách  $b$  (từ vách ngăn đến mặt trên hoặc mặt dưới của phần tử), thì sai số nhiều của trường nhỏ hơn 10 % đối với trường  $E$  và có thể hiệu chỉnh về 1 %. Tuy nhiên, nếu kích cỡ của cảm biến tăng thì đáp tuyến đầu dò tăng cao hơn đáp tuyến mong đợi theo tính toán. Sự tăng lên của trường này là do tải của phòng thử. Vì không có cách chính xác để hiệu chuẩn sai số này nên cần giới hạn không gian sử dụng nhỏ hơn  $b/3$  thì sẽ xoá bỏ được vấn đề này một cách hiệu quả. Điều này giới hạn dải hữu ích của phần tử TEM xuống tần số thấp hơn 500 MHz đối với đầu dò mà cảm biến có đường kính 5 cm.

#### 5.4.1.3.4 Độ ổn định của phép đo công suất

Độ chính xác của việc hiệu chuẩn đầu dò sử dụng phần tử TEM liên quan trực tiếp đến việc xác định chính xác điện áp phần tử hoặc công suất qua phần tử. Có hai cách cơ bản để đo công suất qua phần tử. Cách thứ nhất là sử dụng bộ ghép định hướng để đo công suất vào, công suất phản xạ và công suất ra, từ đó xác định được công suất truyền đến phần tử. Phương pháp này đảm bảo rằng độ chính xác của cường độ trường liên quan đến việc hiệu chuẩn đồng hồ đo công suất và bộ nối thường có độ không đảm bảo đo nhỏ hơn 1 %. Cách thứ hai là sử dụng bộ suy giảm công suất cao gắn với tải cuối của phòng đo, và đồng hồ đo công suất gắn vào bộ suy giảm để đo công suất qua phòng. Độ không đảm bảo đo của phép đo này (xấp xỉ 1 %) kết hợp với hiệu chuẩn bộ suy giảm và đồng hồ đo công suất. Đây là phương pháp chính xác để hiệu chuẩn phần tử với điều kiện là các phần tử giữ không đổi. Tuy nhiên đây không phải là phép đo ưu tiên vì không thể phát hiện sự thay đổi công suất phần tử hoặc thiết bị đo công suất bằng duy nhất một phép đo công suất tại đầu ra của phần tử.

#### 5.4.1.3.5 Phần tử TEM làm việc với trở kháng đầu cuối có giá trị không phải là 50 $\Omega$

Nếu đường truyền dẫn (không phải là ống dẫn sóng) được nối vào trở kháng đặc trưng của nó thì chỉ xem xét chế độ TEM và trở kháng nội (tỷ số  $E/H$ ) có giá trị theo không gian tự do là 377  $\Omega$ . Tuy nhiên, phần tử TEM có thể làm việc không có điện trở đầu cuối ở tần số lên tới 30 MHz. Khi phần tử hở mạch thì nó làm việc như phần tử điện song song không phải là đường truyền và sinh ra trường có trở kháng nội cao (tỷ số  $E/H$  cao). Sau đó, trường  $E$  rộng có thể được tạo ra bằng cách nối máy biến áp tăng áp băng tần rộng vào đầu nối vào của phần tử. Ngược lại, khi phần tử



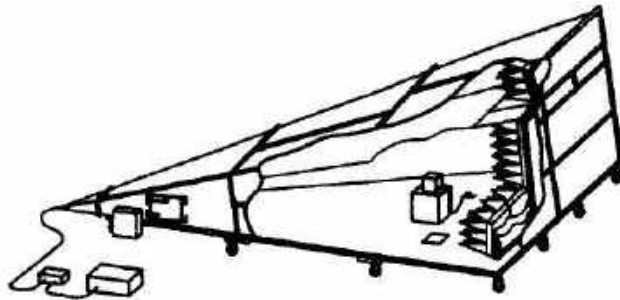
bị nối tắt, nó làm việc như vòng lặp đơn và sinh ra trường có trở kháng nội rất nhỏ. Kết cấu này hữu ích để tạo ra trường H rộng.

#### 5.4.1.3.6 Phần tử TEM băng tần rộng

Nếu phần tử TEM được " nạp tải" ở vị trí có lợi cho mục đích nào đó có vật liệu hấp thụ vi sóng (như bột điện dẫn cacbon được sử dụng trong phòng âm) thì có thể ngăn chặn được phương thức bậc cao hơn. Do đó, phần tử này có thể sinh ra phương thức TEM tương đối thuần túy và có thể tính được, tại các tần số cao hơn nhiều so với phần tử TEM tiêu chuẩn. Điều kiện này bị suy giảm khi đưa vật thể phản xạ (kim loại hoặc điện môi) vào trong phần tử. Để hiệu chuẩn đầu dò có cảm biến rất nhỏ và dây dẫn không gây nhiễu (dây điện trở hoặc sợi quang), phần tử TEM được nạp tải bằng vật hấp thụ được thiết kế riêng có thể hữu ích trong dải tần rất rộng (một chiều - 18 GHz). Cần thực hiện thiết kế, thử nghiệm và phân tích sai số cẩn thận cho từng kết hợp cụ thể của phần tử TEM và cảm biến cần thử nghiệm, để đảm bảo tính năng hợp lý ở tần số bất kỳ trong dải có thể tồn tại phương thức bậc cao hơn không mong muốn.

#### 5.4.1.3.7 Phần tử TEM Gigahéc (GTEM)

Một kết cấu đường truyền khác dùng cho đầu dò trường điện từ hiệu chuẩn là phần tử GTEM, như chỉ ra trong hình 7. Phần tử GTEM gồm có đường truyền đồng trục hình nêm chữ nhật không đối xứng, giống như phần đầu vào được kéo dài ra của phần tử TEM. Kích thước mặt cắt được chọn để duy trì hằng số trở kháng đặc trưng là  $50 \Omega$  theo chiều dài. Phần tử GTEM có thể được kết cấu để có thể tích làm việc rộng hơn phần tử TEM. Cũng như ở phần tử TEM tiêu chuẩn, không có điểm gián đoạn hình học nào, vì vậy không tồn tại phương thức bậc cao hơn trong dải tần hữu ích (một chiều-18 GHz). Vách ngăn (hoặc tấm giữa) được nối vào dàn điện trở  $50 \Omega$  song song, phân tán trường và dòng điện đến các tần số megahéc thấp. Bộ hấp thụ hình chóp bao trùm vách phía sau tiêu tán trường sóng phẳng tương ứng ở tần số cao hơn.



**Hình 7 – Phần tử gigahéc điện từ ngang điển hình (GTEM)**

Trở kháng đặc trưng của GTEM và trường tĩnh tựa đỉnh được tính gần đúng sử dụng lý thuyết TEM không đối xứng. Với hầu hết các cỡ GTEM, việc tính toán trường tĩnh tựa đỉnh chính xác nhất là đến vài trăm megahéc. Ở tần số cao hơn, trường đo được có thể biến đổi đến khoảng  $\pm 4$  dB. Hiện nay, không sẵn có phương pháp tính toán trường GTEM chính xác cho tất cả các tần số. Vì lý do này, khuyến cáo sử dụng phương pháp truyền dẫn khi hiệu chỉnh đầu dò trong phần tử GTEM. Hơn nữa, vì tỷ số của trường E và H có thể không bằng  $120\pi \Omega$  nên phương pháp truyền dẫn cần bao gồm trường cần xét.

Phương pháp tiêu chuẩn được sử dụng để đo năng lượng phân bố đến phần tử GTEM. Chú ý rằng, do sự thay đổi không gian giữa vách ngăn và tường ngoài cùng, các thành phần của trường theo hướng Z (hướng lan truyền trường) khác không. Hiệu ứng này phải được tính đến khi hiệu chuẩn đầu dò đẳng hướng.

#### **5.4.1.4 Máy phát trường từ sử dụng cuộn dây**

Ở tần số thấp, trường từ dọc trục (tính bằng A/m) tại tâm của một vòng dây được tính bằng dòng điện (tính bằng ampe) chia cho đường kính vòng dây (tính bằng mét). Với cuộn dây một vòng trong không gian tự do, vòng dây trở nên tự cộng hưởng khi chu vi đạt đến bước sóng trong không gian tự do. Với cuộn dây nhiều vòng, tần số cộng hưởng thấp hơn do điện dung giữa các vòng dây. Với cuộn dây phẳng (tất cả các vòng dây ở trên một mặt phẳng), có mối liên quan như sau: Sử dụng cuộn dây có tổng chiều dài dây nhỏ hơn  $\lambda/10$ , trở kháng đầu vào rất thấp và giá trị cường độ trường dễ dàng tính được theo công thức:

$$H = \frac{NI}{D} \quad (13)$$

trong đó

H là cường độ trường từ ở tâm của cuộn dây phẳng (A/m),

N là số vòng của cuộn dây,

I là dòng điện hiệu dụng (A),

D là đường kính của cuộn dây (m).

Trường từ ở các điểm trên trục của cuộn dây phẳng được tính theo công thức:

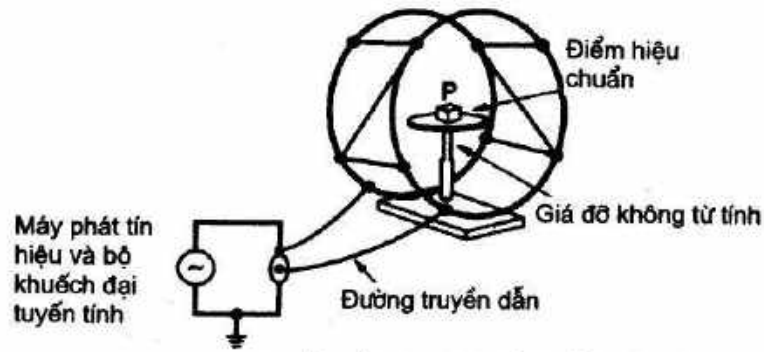
$$H = \frac{NIr^2}{2(r^2 + d^2)^{3/2}} \quad (14)$$

trong đó

r là bán kính của cuộn dây (m),

d là chiều dài dọc trục tính từ tâm cuộn dây đến điểm thuộc trường mà tại đó trường H sẽ được tính (m).

Kiểu cuộn dây này là hữu ích cho mục đích hiệu chuẩn ở tần số đến khoảng 30 MHz. Hình 8 phác họa sự bố trí cuộn dây gồm có hai cuộn dây phẳng trên cùng một trục, cả hai đều mang dòng theo một hướng. Sự bố trí này là bố trí Helmholtz khi hai cuộn dây có đường kính bằng nhau, số vòng dây bằng nhau và cách nhau một khoảng bằng bán kính chung của hai cuộn dây. Kiểu hai cuộn dây này sinh ra trường H đồng nhất hơn trên thể tích rộng hơn so với một cuộn dây. Với mục đích tạo ra trường H đồng nhất trong đó có thể hiệu chuẩn đầu dò đo nguy hiểm điển hình, cuộn dây Helmholtz là có ích ở tần số lên tới khoảng 10 MHz. Giới hạn tần số này phụ thuộc vào kích thước của cuộn dây, và cần nhỏ hơn so với bước sóng. Trở kháng sóng (tỷ số E/H) thấp với tần số thấp hơn tần số tự cộng hưởng.



**Hình 8 – Cuộn dây Helmholtz sinh ra trường H để hiệu chuẩn đầu dò nhạy  
hiếm ở tần số dưới 10 MHz**

$$H_x = \frac{N_1 I r_1^2}{2(r_1^2 + x_1^2)^{3/2}} + \frac{N_2 I r_2^2}{2(r_2^2 + x_2^2)^{3/2}} \quad (15)$$

trong đó

$H_x$  là cường độ trường từ dọc trục chung của các cuộn dây,

$N$  là số vòng dây trên mỗi cuộn dây,

$I$  là dòng điện trong mỗi cuộn dây, tính bằng ampe,

$r$  là bán kính của cuộn dây, tính bằng mét,

$x$  là vị trí trục của trường từ, tính bằng mét, tính từ tâm của bộ cuộn dây.

Ở trường hợp đặc biệt,  $r_1 = r_2$  và  $N_1 = N_2$ , trường từ tại tâm bộ cuộn dây ( $x = 0$ ), công thức (15) trở thành:

$$H_0 = \frac{2NI}{r(2)^{3/2}} = \frac{0,715NI}{r}$$

hoặc:

$$H = 1,43 \frac{NI}{D} \quad (16)$$

trong đó

$D$  là đường kính của cuộn dây (m).

Vì  $B = \mu H$ , nên có thể tính mật độ từ thông  $B$ , tính bằng micro tesla từ công thức (17):

$$B = 180 \frac{NI}{D} \quad (17)$$

trong đó

$B$  là mật độ từ thông ở điểm giữa (tính bằng  $\mu\text{T}$ ).

Thể tích trong cuộn dây Helmholtz tại đó đầu dò có thể hiệu chuẩn chính xác là khoảng  $0,6r$ , trong đó  $r$  là bán kính cuộn dây. Tuy nhiên, đầu dò lớn làm bằng vật liệu từ tính có thể nạp vào các cuộn dây và tập trung các trường ở lân cận nó. Nếu đưa đầu dò vào trong không gian thử nghiệm của cặp Helmholtz làm thay đổi dòng điện qua cuộn dây vài phần trăm thì trường có khả năng bị nhiễu và việc hiệu chuẩn có thể không chính xác ngay cả khi dòng điện được điều chỉnh đến giá trị đúng. Dòng điện qua cuộn dây phải luôn được điều chỉnh với hệ thống không có đầu dò rồi đặt lại sau khi đưa đầu dò đã được hiệu chuẩn vào. Nếu nghi ngờ nhiễu trường thì nên sử dụng bộ cuộn dây lớn hơn.

#### 5.4.1.5 Phương pháp đầu dò tiêu chuẩn

Phương pháp này là đơn giản nhất, và có thể là phương pháp tốt nhất để hiệu chuẩn đồng hồ đo nguy hiểm với trường sử dụng nói chung. Nguyên tắc của phương pháp này là sử dụng một đầu dò ổn định và tin cậy đã được hiệu chuẩn chính xác (bằng một trong các kỹ thuật để cặp ở trên) như một "chuẩn truyền". Đầu dò tiêu chuẩn dùng để đo cường độ trường được tạo ra bởi thiết bị phát ra trường RF chuyên dùng, ví dụ, anten hoặc phần tử TEM, ở vùng cụ thể trong không gian (hoặc trong hệ thống ống dẫn sóng). Sau đó, đặt đầu dò chưa hiệu chuẩn vào vị trí của đầu dò tiêu chuẩn trong trường đó và số chỉ đồng hồ của đầu dò chưa hiệu chuẩn được so sánh với giá trị đo được đã biết của trường, dựa trên dữ liệu có được từ đầu dò tiêu chuẩn. Máy phát và thiết bị tạo ra trường sử dụng trong quá trình này cần tạo ra trường có biên độ mong muốn và không đổi theo thời gian và là trường đồng nhất trong toàn bộ vùng đặt đầu dò chưa biết. Độ chính xác khoảng  $\pm (2-3)$  dB có thể đạt tới dễ dàng với phương pháp này và có thể nâng cao được độ chính xác nếu có chú ý đặc biệt. Ưu điểm của phương pháp này là tiện lợi, tin cậy và đơn giản. Nguồn sai số tiềm ẩn khi sử dụng chuẩn truyền để hiệu chuẩn đầu dò khác là chênh lệch có thể có trong dạng thức thu của hai đầu dò. Thêm nữa, trong trường gần của vật bức xạ, cơ của cảm biến đầu dò là quan trọng. Một cách lý tưởng, đầu dò tiêu chuẩn và đầu dò chưa biết cần giống nhau trên danh nghĩa và việc hiệu chuẩn cần được tiến hành trong trường không có thay đổi theo không gian tương đối do có tương tác nhiều hướng giữa đầu dò, vật bức xạ, phòng cam và các thành

phần tạo ra trường khác và gradien trường gần. Ở phần tử TEM hoặc hệ thống truyền dẫn giữa các tấm song song, ghép nối điện dung giữa đầu dò và tấm giữa và các vách của phần tử có thể tạo ra sai số hiệu chuẩn.

Đầu dò "chuẩn truyền" cần ổn định, cứng và không dễ phát nhiệt; nó cần có vùng hoạt động rộng, bao trùm dải tần rộng, và có đáp tuyến đẳng hướng. Các tổ chức không thể chứng tỏ rằng việc xây dựng và bảo dưỡng trang bị hiệu chuẩn có thể có "chuẩn truyền" (đầu dò) được hiệu chuẩn bởi phòng thử nghiệm đáng tin cậy. Chuẩn thứ cấp này có thể được sử dụng để hiệu chuẩn hệ thống phát ra trường tại trang bị hiệu chuẩn của người sử dụng. Hệ thống này đến lượt nó có thể dùng để hiệu chuẩn các đầu dò khác. Chuẩn truyền cần được hiệu chuẩn lại sau các khoảng thời gian tương ứng với chuẩn cụ thể, dựa trên kinh nghiệm về tính ổn định của hệ số hiệu chuẩn theo thời gian.

### **5.5 Thiết bị đo dòng điện cảm ứng (cơ thể)**

Dòng điện cơ thể thường được lấy là dòng điện cảm ứng khi cơ thể phơi nhiễm trong trường RF, nhưng không tiếp xúc trực tiếp với bất kỳ vật thể nào khác trừ mặt đất mà con người có thể đang đứng trên đó. Trong nhiều trường hợp, đòi hỏi phép đo dòng điện cơ thể RF để đảm bảo sự phù hợp với tiêu chuẩn và hướng dẫn an toàn hiện hành qui định giới hạn dòng điện cảm ứng (TCVN 3718-1). Đồng hồ đo dòng điện cảm ứng có thể cũng được sử dụng để xác định SAR ở mắt cá chân hoặc cổ tay. Một số kỹ thuật phổ biến được sử dụng để đo dòng điện cảm ứng, như máy biến dòng kiểu kẹp "vòng" dùng để đo dòng điện qua mắt cá chân hoặc bắp chân, và "đồng hồ loại đứng trên nó" dạng tấm phẳng song song dùng để đo dòng điện chạy qua đất đến bàn chân.

Thiết bị đo bán sẵn trong thương mại dùng máy biến dòng kiểu kẹp có khối lượng nhỏ được chế tạo để người có thể mang vào cẳng chân. Khối đọc đầu ra, gắn trực tiếp trên máy biến dòng hoặc nối qua đường truyền quang để đọc từ xa, có cơ cấu hiển thị dòng điện chạy qua khe hở máy biến dòng (mạch sơ cấp). Cảm biến dòng điện trong các khối này có thể được thực hiện bằng cách sử dụng kỹ thuật băng tần hẹp, ví dụ máy phân tích phổ, hoặc sử dụng máy thu điều hưởng (tạo thuận lợi cho khả năng xác định phân bố tần số của dòng điện cảm ứng trong môi trường nhiễu nguồn) hoặc kỹ thuật băng tần rộng, ví dụ, điốt tách sóng hoặc đối nhiệt. Nếu sử dụng cảm biến điốt thì phải cẩn thận để đảm bảo rằng các điốt làm việc trong vùng đáp tuyến định luật bình phương để đạt đến giá trị hiệu dụng thực của số chỉ dòng điện. Đôi khi một số mạch điện bổ sung

được cung cấp để khai căn bậc hai các số chỉ dòng điện tuyến tính. Phương thức hoạt động này tạo nên số chỉ hiệu dụng thực trong trường hợp tần số bội và/hoặc dạng sóng điều biến biên độ.

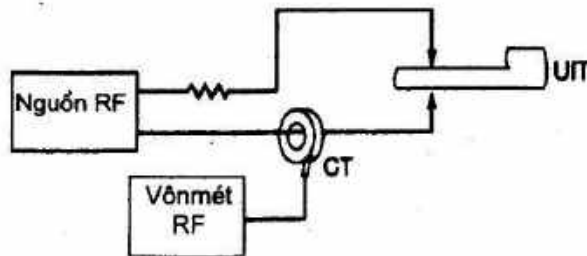
Việc tách dòng điện hiệu dụng thực thường đạt được nhờ bộ cảm biến nhiệt rất nhạy với dòng điện chạy qua một cách đồng thời, tại các tần số khác nhau và nhạy với dòng điện xung chu kỳ công suất thấp. Ở hầu hết các máy biến dòng, có sự thoả hiệp giữa kích thước khe hở (góc mở) và đáp tuyến cao tần tin cậy. Thông thường, khi góc mở tăng thì đáp tuyến cao tần giảm. Vì vậy, thiết bị đo kiểu máy biến dòng phải được dùng cẩn thận vì hoạt động ở tần số lớn hơn giới hạn cao tần qui định có thể gây ra sai số đo. Ngược lại, với máy biến dòng có lõi sắt, máy biến dòng lõi không khí được sử dụng để hỗ trợ mở rộng đáp tuyến tần số cao hơn của các thiết bị đo này. Vì có khối lượng nhẹ hơn nên cảm biến lõi không khí hữu ích cho phép đo trong thời gian dài. Tuy nhiên, lõi không khí có độ nhạy nhỏ hơn đáng kể so với lõi sắt.

Một thiết bị khác để lựa chọn thay cho thiết bị kẹp là đồng hồ đo đứng trên nó dạng tấm phẳng song song. Ở thiết bị đo này, dòng điện cơ thể chạy từ (các) bàn chân đến một tấm phía trên, đi qua một số bộ cảm biến dòng điện đến tấm đỡ phía dưới rồi xuống đất. Dòng điện chạy giữa tấm phía trên và phía dưới có thể được xác định nhờ phép đo điện áp RF rơi trên điện trở có trở kháng thấp và sử dụng định luật Ôm để xác định mối liên quan giữa điện áp đo được với dòng điện tương ứng. Một cách khác, máy biến dòng RF có góc mở nhỏ có thể được đặt ôm lấy dây dẫn đặt giữa hai tấm dẫn, và với mạch điện thích hợp (bao gồm các dụng cụ băng hẹp) thì có thể xác định được dòng điện. Một cách lựa chọn khác nữa là nối nối tiếp ampe mét nhiệt ngẫu RF đọc trực tiếp với các tấm đỡ. Phương pháp này là thụ động hoàn toàn vì không yêu cầu nguồn điện hoặc mạch điện kết hợp khác. Hai yếu tố gây giảm hiệu quả của ampe mét nhiệt ngẫu là kích thước của nó và độ nhạy với nhiệt xung quanh.

Một thiết bị khác có thể sử dụng khi đo dòng điện cảm ứng là anten "tương đương con người". Thiết bị này mô phỏng một người làm chuẩn để đo dòng điện cảm ứng mà không yêu cầu con người phải chịu phơi nhiễm trong trường cảm ứng dòng điện. Thiết bị này cũng làm giảm sự khác nhau của các phép đo với con người có tấm vóc khác nhau. Dải tần của một thiết bị sẵn có trong thương mại là 50 Hz đến 100 MHz. Thiết bị này cũng có độ nhạy thấp với trường điện và trường từ toả tròn và vì vậy yêu cầu sử dụng hệ số hiệu chỉnh trong trường hợp các trường này chiếm ưu thế.

### 5.5.1 Hiệu chuẩn đồng hồ đo dòng điện cảm ứng

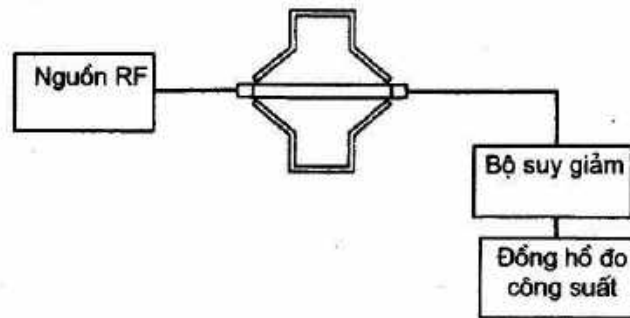
Đồng hồ đo dòng điện cảm ứng có thể được dùng để xác định SAR ở mắt cá chân hoặc cổ tay. Hiệu chuẩn thực hiện bằng cách đo dòng điện đưa vào và công suất trong mạch RF đã đấu nối. Để hiệu chuẩn đồng hồ loại đứng trên nó, nối nguồn RF nối tiếp với điện trở thích hợp rồi đến các cực tiếp xúc với tấm phía trên và phía dưới của đồng hồ đo dòng điện cảm ứng. (Xem hình 9). Máy biến dòng RF (CT) được dùng để đo dòng điện đặt vào đồng hồ đo dòng điện cảm ứng (khối cần thử nghiệm – UIT), và đầu ra của máy biến dòng được quan sát nhờ vôn-mét RF.



**Hình 9 – Phương pháp đưa dòng điện vào để hiệu chuẩn đồng hồ đo dòng điện cảm ứng loại đứng trên nó**

Đồng hồ đo dòng điện cảm ứng kiểu kẹp được hiệu chuẩn theo cách giống như phương pháp dùng cho máy biến dòng RF thông thường. Một vật cố định chuyên dùng được nối đến đường dây đồng trục  $50 \Omega$  và tách bỏ vỏ bọc để cho phép tiếp cận dây dẫn giữa nằm bên trong (giống như nguyên tắc với phần tử TEM). Kích cỡ của vật cố định phải đủ rộng để phù hợp với chiều có kích thước lớn hơn của đồng hồ đo dòng điện kiểu kẹp khi nó được nối quanh dây dẫn trung tâm của vật cố định thử nghiệm (xem hình 10). Thường sử dụng một cách điện hình nêm để định tâm cho dây dẫn nằm trong khoảng mở của đồng hồ đo dòng điện cảm ứng. Năng lượng RF từ nguồn thích hợp được truyền qua vật cố định đến đầu nối có phương tiện đo năng lượng truyền tổng, ví dụ, đầu nối giữa các miếng nối. Dòng điện chạy qua đường dây đồng trục và vì vậy qua khe hở của đồng hồ đo dòng điện cảm ứng được tính bằng định luật Ôm.



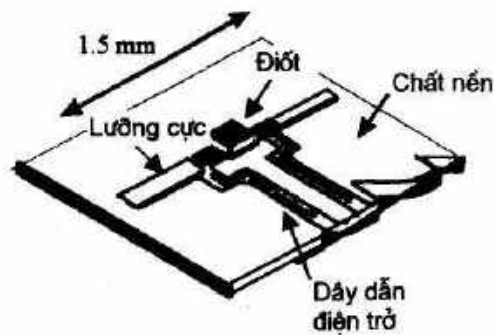


Hình 10 – Phương pháp hiệu chuẩn đồng hồ đo dòng điện cảm ứng kiểu kẹp

## 5.6 Thiết bị đo trường bên trong và SAR

### 5.6.1 Đầu dò trường E cấy vào được

Đầu dò trường E cấy vào được, cung cấp khả năng đo cường độ trường điện cục bộ trong mô ở điểm qui định, hoặc chúng có thể được sử dụng để quét liên tục theo thời gian thực hoặc quét tuyến tính trong mô. Cơ cấu đẳng hướng điển hình bao gồm ba lưỡng cực bố trí vuông góc được tải trực tiếp bằng điốt Schottky (tấm chắn kim loại) tại điểm nuôi. Tín hiệu RF được chỉnh lưu bằng các điốt và tín hiệu một chiều truyền đến cụm chuyển đổi dữ liệu bằng đường truyền điện trở cao (đường truyền RF trong suốt). Đường truyền điện trở cao có được từ dải Teflon thấm cacbon hoặc công nghệ màng mỏng hoặc màng dày trên nền gốm hoặc nền thạch anh. Đầu dò điển hình (xem hình 11 đối với đầu dò một trục) gồm lưỡng cực màng mỏng, dài từ 0,6 mm đến 3 mm, và cặp dây dẫn điện trở cao đặt trên nền nhựa mỏng hoặc thủy tinh và được bọc trong vật liệu cách điện hằng số điện môi thấp. Điốt có đầu nối ra dạng tấm được đặt qua khe hở của lưỡng cực để phát hiện RF cỡ 1 mV trên  $\text{mW}/\text{cm}^2$  trong không gian tự do. Cần có thể tích hình cầu hoặc hình khối từ 1 mm đến 5 mm để chứa ba lưỡng cực vuông góc của đầu dò trường E bên trong đẳng hướng. Điều này nghĩa là cường độ trường và, số liệu SAR có thể đạt được với độ phân giải trong không gian tốt hơn vài milimét. Ở tần số 3 GHz, độ phân giải này vào khoảng một nửa bước sóng trong các mô có hàm lượng nước cao như cơ, não hoặc nội tạng. Có khả năng thực hiện được giới hạn tần số thấp khoảng 100 MHz. Giới hạn thấp hơn là do thực tế là dây dẫn điện trở cao không thể loại bỏ hoàn toàn cảm biến RF ở tần số thấp.



Hình 11 – Phần tử đầu dò trường E cấy được điển hình (một trục)

Các tiến bộ gắn dây về khữ ghép các điôt khỏi đường truyền điện trở cao dẫn đến việc cho phép sử dụng cảm biến đọc giá trị hiệu dụng thực. Sự cải tiến có được bằng cách dùng kỹ thuật màng dày, cho phép sử dụng điện trở nhiều lớp trên cùng một chất nền, để tạo ra đường truyền điện trở cao vài  $k\Omega/m^2$ . Phép đo cho thấy vật liệu điện môi xung quanh đầu dò thiết kế kiểu cổ điển có thể làm nhiễu đáng kể đến đồ thị thu, dẫn đến sai lệch khỏi đồ thị đẳng hướng nhiều hơn  $\pm 2$  dB trong không khí. Ở mô, độ lệch giảm đến  $\pm 0,9$  dB. Các khả năng tối ưu hoá được nghiên cứu sử dụng mô hình số. Các giải pháp đã được tìm ra để làm giảm độ lệch khỏi đáp tuyến đẳng hướng trong tất cả các mặt phẳng và phân cực nhỏ hơn  $\pm 0,35$  dB.

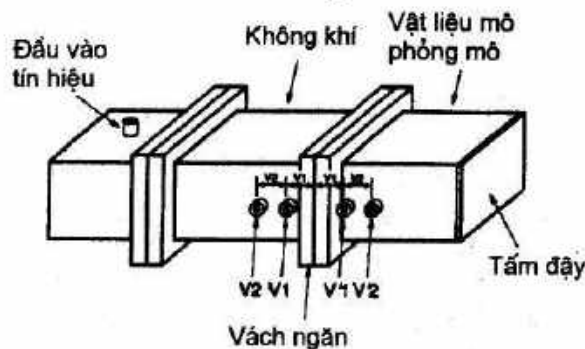
#### 5.6.1.1 Kỹ thuật hiệu chuẩn đầu dò trường E cấy được

Đáp tuyến của đầu dò trường E cấy được vào mô sinh vật hoặc vật liệu mô phỏng mô được mở rộng nhờ yếu tố phụ thuộc vào đặc tính điện môi của vật liệu. Vì vậy, đầu dò trường E cấy được vào mô cần được hiệu chuẩn trong môi chất điện môi suy giảm tại các điểm đã biết giá trị tuyệt đối của E. Việc hiệu chuẩn được thực hiện trong hình cầu và trong ống dẫn sóng đổ đầy chất lỏng điện môi suy giảm, ví dụ, nước muối. Môi chất suy giảm này bị phơi nhiễm trong trường ngoài E đã biết khi được đặt trong vật thể điện môi có phân bố trường bên trong E đã tính được bằng lý thuyết trường điện từ. Hệ số hiệu chuẩn trường E bên trong đối với đầu dò được xác định từ đáp tuyến của nó so với trường bên trong đã tính toán. Nếu thực hiện điều này ở một số tần số với đầu dò được thiết kế riêng thì độ không đảm bảo đo hiệu chuẩn thường từ 1 dB đến 2 dB cấy trong vật thể có hằng số điện môi cao, suy giảm, ví dụ như mô sinh vật có chứa hàm lượng nước lớn (cơ, não và nội tạng, nhưng không phải là xương hay mỡ). Cần cẩn thận khi hiệu chuẩn đầu dò trong vùng có vật thể điện môi suy giảm ở đó gradien theo không gian của SAR là lớn. Đó là

các trường hợp đầu dò được hiệu chuẩn ở tần số vi sóng trong môi chất có hằng số điện môi cao (ví dụ, muối bazo).

#### 5.6.1.1.1 Kỹ thuật ống dẫn sóng

Một kỹ thuật khác để hiệu chuẩn đầu dò trong vật liệu mô phỏng mô dựa trên điều kiện biên mà thành phần tiếp tuyến của trường điện là liên tục qua bề mặt phân cách bất kỳ. Kỹ thuật này sử dụng phần ống dẫn sóng có vách ngăn bằng nhựa mỏng chia làm hai phần, một phần chứa không khí và phần còn lại chứa vật liệu mô phỏng mô (hình 12).



Hình 12 – Phương pháp điều kiện biên để hiệu chuẩn đầu dò trường E cấy được vào vật liệu mô phỏng mô

Các trường được đo ở một số vị trí trên mỗi bên của vách ngăn bằng đầu dò đã hiệu chuẩn và đường cong thu được được ngoại suy về bề mặt phân cách vách ngăn. Trường trong vật liệu mô phỏng mô giảm theo hàm số mũ trong khi trường trong không khí thay đổi theo hình sin do có phản xạ tại bề mặt phân cách mô phỏng mô - không khí. Để giảm thiểu tương tác với trường, đầu dò được đưa qua vách hẹp của ống dẫn sóng theo cách để trục đầu dò và dây dẫn vuông góc với trường E. Thực hiện phép đo càng sát với mặt phân cách này càng tốt. Đường cong thể hiện kết quả nên vẽ thành các đoạn thẳng trên giấy vẽ đồ thị nửa lôga.

Khi khoảng cách giữa các điểm đo và khoảng cách giữa bề mặt phân cách vách ngăn và điểm đo gần nhất là bằng nhau thì áp dụng công thức (18) để đánh giá hệ số mở rộng đầu dò-mô  $F_{TE}$ .

$$F_{TE} = \frac{V_0}{V_0'} = \left( \frac{V_1}{V_1'} \right)^2 \left( \frac{V_2'}{V_2} \right) \quad (18)$$

trong đó

$F_{TE}$  là hệ số mở rộng mô,

$V_0$  là điện áp đo được trong không khí,

$V_0'$  là điện áp đo được trong mô,

$V_1, V_1', V_2, V_2'$  là điện áp đo được với đầu dò cần hiệu chuẩn ở các vị trí chỉ ra trên hình 12.

Bố trí hiệu chuẩn ống dẫn sóng khác bao gồm ống dẫn sóng chữ nhật kích thước thích hợp có trục lan truyền được định hướng thẳng đứng (hướng z). Tấm phân cách điện môi cho phép dung dịch mô phỏng mô được đổ từ trên đỉnh. Để giảm thiểu phản xạ từ bề mặt phân cách giữa vật liệu mô phỏng mô và không khí, trở kháng của không gian điện môi nên bằng trung bình nhân của các trở kháng ở hai phía và chiều dày nên bằng với một phần tư bước sóng (xác định tại vận tốc pha của sóng trong vùng đó), tức là, phần phù hợp một phần tư bước sóng. Phân bố trường ngang trong chất lỏng theo phương thức cơ bản có suy giảm hàm số mũ theo hướng thẳng đứng (trục z). (Sự đối xứng của kết cấu và tổn thất cao trong chất lỏng đảm bảo rằng lan truyền theo phương thức  $TE_{10}$  chi phối trong chất lỏng mô phỏng mô, mặc dù phương thức bậc cao hơn là dễ kích thích hơn về mặt lý thuyết.) Chất lỏng này phải đủ độ sâu để đảm bảo rằng phản xạ từ bề mặt phân cách chất lỏng/không khí (bề mặt cao nhất) không ảnh hưởng đến trường hiệu chuẩn. SAR trong chất lỏng có thể xác định được từ kích thước ống dẫn sóng và công suất tới và công suất phản xạ đo được. Thể hiện SAR dọc theo trục của ống dẫn sóng trong chất lỏng được cho bởi công thức:

$$SAR = \frac{4(P_{fwd} - P_{ref})}{ab\delta\rho} e^{-\frac{2z}{\delta}} \quad (19)$$

trong đó

$ab$  là diện tích mặt cắt của ống dẫn sóng,

$P_{fwd}$  là công suất tới trong phần không có tổn thất của ống dẫn sóng,

$P_{ref}$  là công suất đối chiếu trong phần không có tổn thất của ống dẫn sóng,

$\delta$  là độ sâu thẩm thấu,

$\rho$  là khối lượng riêng của chất lỏng.

Độ sâu thẩm thấu của chất lỏng được cho bởi công thức:

$$\delta = \left\{ \sqrt{(\pi / a)^2 + j\omega\mu_0(\sigma + j\omega\mu_0\epsilon_r)} \right\}^{-1}$$

trong đó

- $\omega$  là vận tốc góc ( $2\pi f$ ),
- $\mu_0$  là độ thẩm từ của chất lỏng,
- $\sigma$  là độ dẫn của chất lỏng,
- $\epsilon_0$  là hằng số điện môi của không gian tự do,
- $\epsilon_r$  là hằng số điện môi tương đối của chất lỏng.

Trường được đo ở một số điểm trong chất lỏng dọc theo trục giữa thẳng đứng của ống dẫn sóng bằng cách di chuyển đầu dò cần hiệu chuẩn ra xa khỏi tấm phân cách điện môi theo các bước nhỏ lính từ vị trí tiếp xúc. Sử dụng kết quả phân tích trường tại các điểm đo để hiệu chuẩn đầu dò. Nên quay đầu dò quanh trục của nó và lấy trung bình đáp tuyến đầu dò đo được để tính trung bình sai số đẳng hướng quanh trục trong khi hiệu chuẩn.

#### 5.6.1.1.2 Phương pháp truyền

Phương pháp khác để hiệu chuẩn đầu dò trường E cấy được là đo SAR khi một vật thể bị chiếu bằng đầu dò nhiệt độ hiệu chuẩn đúng, và sau đó, đặt đầu dò trường E tại vị trí chính xác cần đo SAR. Kỹ thuật hiệu chuẩn đầu dò nhiệt độ được nêu trong 5.6.2.1.

#### 5.6.2 Đầu dò nhiệt độ cấy được dùng cho phép đo SAR

Có thể sử dụng một số đầu dò nhiệt độ để đo SAR. Các yêu cầu tối thiểu là cảm biến nhiệt độ và dây dẫn kết hợp phải không gây nhiễu trường điện từ, và SAR cần đủ lớn để tạo ra độ tăng nhiệt có thể đo được trong khoảng thời gian nhỏ hơn 30 s. Yêu cầu thứ nhất thường được thoả mãn nhờ sử dụng vật liệu điện trở cao hoặc sợi quang thay cho thành phần kim loại của phần tử dây dẫn nhạy nhiệt. Yêu cầu thứ hai đòi hỏi kết quả đo SAR không thấp hơn vài oát/kilôgam. Có giới hạn thấp hơn này vì vạch chia của hầu hết các đầu dò nhiệt độ thường từ 0,01 °C đến 0,1 °C và thời gian thực tế dài nhất của bức xạ để đo SAR chính xác một cách hợp lý thường từ 5 s đến 30 s. Chiếu vào một vật thể trơ, vật thể điện môi suy giảm trong thời gian dài hơn làm cho "các điểm

nóng" cục bộ bị mất nhiệt lượng ra xung quanh qua vật dẫn và đối lưu. Ở hệ sinh vật sống, hoạt động điều hòa thân nhiệt cũng làm giảm độ chính xác. Có thể chấp nhận sử dụng đầu dò nhiệt độ dây dẫn kim loại đối với phép đo liều lượng RF và vi sóng khi đầu dò không ở vị trí trong quá trình chiếu, nhưng được đặt vào vị trí ngay trước và sau quá trình chiếu. Phương pháp này chỉ có ứng dụng hạn chế nhưng được sử dụng có hiệu quả trong hệ thống phơi nhiễm trong phòng thử nghiệm nhỏ, ví dụ, hệ thống phơi nhiễm của ống dẫn sóng. Việc sử dụng đầu dò kim loại trong quá trình chiếu không được chấp nhận vì chúng gây nhiễu đáng kể. Ngay cả khi dây dẫn kim loại của đầu dò có định hướng vuông góc với vectơ trường điện tới, thì sự khử phân cực của các trường bên trong vật thể điện môi có kích thước nhất định vẫn tạo ra sai số. Hạn chế của nhiều đầu dò nhiệt độ không gây nhiễu là dễ hỏng và giá thành cao.

#### 5.6.2.1 Kỹ thuật hiệu chuẩn đầu dò nhiệt độ

Để xác định chính xác SAR bằng đầu dò nhiệt độ không gây nhiễu, mỗi thay đổi nhỏ của nhiệt độ có thể đo được phải chính xác. Hiệu chuẩn để đảm bảo độ chính xác lớn nhất phải được thực hiện trong các khoảng thời gian đều đặn, phụ thuộc vào loại đầu dò nhiệt độ cần hiệu chuẩn. Nhiều đầu dò phải hiệu chuẩn hàng ngày (đặc biệt là đầu dò sợi quang), ngược lại, một số có thể hàng tháng mà độ chính xác suy giảm rất ít. Yêu cầu đối với đầu dò nhiệt độ hiệu chuẩn là khả năng chia nhiệt độ trong phạm vi một phần mười độ C và ở chế độ làm sáng đối với con người cần thiết có độ chính xác cao hơn. Để so sánh với nhiệt kế chuẩn, yêu cầu có khả năng tạo ra môi trường có nhiệt độ ổn định trong toàn dải từ 10 °C đến 50 °C.

## 6 Phép đo trong trường phơi nhiễm có nguy hiểm tiềm ẩn

### 6.1 Qui trình đo đối với trường ngoài

#### 6.1.1 Xem xét chung

Trước khi thực hiện phép đo, cần ước tính cường độ trường có thể có và xác định loại dụng cụ yêu cầu. Qui trình đo được dùng có thể khác nhau, tùy thuộc vào thông tin sẵn có về nguồn và sự lan truyền.

Nếu có đủ thông tin thì có thể tiến hành khảo sát sau khi ước tính cường độ trường có thể có và chọn dụng cụ đo. Người khảo sát nên sử dụng đầu dò công suất cao (ít nhạy) có dải đóng cắt đặt ở thang đo nhạy nhất. Các vùng có trường mật độ cao, ví dụ, chùm chính của anten định hướng,

cần được tiếp cận từ một khoảng cách nhất định để tránh phát nhiệt đầu dò. Sau đó, người khảo sát di chuyển chậm đến vùng cường độ trường cao hơn. Cần tiến hành rất cẩn thận để tránh cho người khảo sát và dụng cụ khảo sát không bị phơi nhiễm quá mức. Ở tần số thấp, cần đo trường E trước vì có nguy hiểm tiềm ẩn lớn hơn.

Mặt khác, nếu thông tin không xác định rõ (ví dụ, báo cáo nhiễu mạnh, gián đoạn), thì có thể khó thực hiện kiểm tra nguy hiểm khi không có đánh giá nguy hiểm theo kinh nghiệm trước. Khảo sát trường nguy hiểm tiềm ẩn có tần số, biên độ và phân bố chưa biết, v.v... có thể đòi hỏi phải sử dụng một số dụng cụ đo. Ví dụ về các dụng cụ đo này là máy phân tích phổ hoặc đồng hồ đo cường độ trường có hiển thị thông tin về miền tần số có phương tiện để phân tích đặc tính điều biến biên độ và có dải động rộng, ví dụ, 60 dB tính theo năng lượng. Sau khi thực hiện qui trình sơ bộ này, có thể tiếp tục việc khảo sát có ý nghĩa hơn với thiết bị đo khảo sát nguy hiểm đẳng hướng.

### 6.1.2 Trường xa, một nguồn

Có thể tiến hành phép đo trường sóng phẳng có phân cực tuyến tính mà vị trí, tần số và phân cực của nguồn đã biết bằng đồng hồ đo cường độ trường điều hướng có độ chính xác chấp nhận được bao trùm dải tần đang xét. Thiết bị đo này được dùng với anten thông thường đã hiệu chuẩn như anten loa hoặc anten lưỡng cực độ lợi tiêu chuẩn. Ngoài ra, có thể dùng đầu dò nguy hiểm đẳng hướng.

Phản xạ nhiều chiều có thể tạo nên phân bố trường không đồng đều ở mức cao, đặc biệt là ở tần số vượt quá 300 MHz. Để đánh giá mức phơi nhiễm ở vị trí qui định bất kỳ, cần thực hiện một loạt các phép đo trên bề mặt vuông có cạnh xấp xỉ 1 m hoặc 2 m. Giá trị trung bình theo không gian của bình phương trường trên diện tích đó, ví dụ trên diện tích tương đương với mặt cắt theo phương thẳng đứng của cơ thể người, được xem là giá trị tương ứng để so sánh với bất kỳ giá trị nào mà hướng dẫn bảo vệ xem là tiêu chí. Cần thực hiện phép đo gần vật thể kim loại bức xạ lại với mép của đầu dò ở khoảng cách ít nhất là ba lần "chiều dài đầu dò" tính từ vật thể, ví dụ 20 cm.

Trong lúc nâng hoặc cầm anten hoặc đầu dò để đo, cần cẩn thận để tránh phản xạ hoặc nhiễu trường do kết cấu đỡ hoặc do cơ thể người vận hành. Trong trường hợp có yêu cầu, phần kim loại của thiết bị đo hoặc kết cấu đỡ, phải được che bằng vật liệu hấp thụ có chất lượng tương ứng để tránh nhiễu trường. Trong trường hợp có thể, cáp nối đầu dò phải được hướng vuông góc với

trường điện. Nếu không thực hiện được, hoặc trong trường hợp hiệu ứng nhiễu chiều xấu tạo ra các trường xuất phát từ nhiều hướng, cáp kim loại phải được bọc vật liệu hấp thụ trừ khi thử nghiệm cho thấy vị trí của cáp không ảnh hưởng đến phép đo. Vật liệu điện môi dùng để cố định càng nhỏ càng tốt (mặt cắt phản xạ nhỏ nhất) và nên là vật liệu có hằng số điện môi thấp, hoặc chiều dày hiệu quả  $T_E$  nhỏ hơn một phần tư bước sóng. Chiều dày hiệu quả được cho bởi công thức:

$$T_E = T(\epsilon_r)^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

Trong đó  $T$  là chiều dày và  $\epsilon_r$  là hằng số điện môi tương đối. Ngay cả tấm điện môi ( $\epsilon_r > 2$ ) cũng có thể làm thay đổi đáng kể trường sóng phẳng nếu chiều dày hiệu quả lớn hơn 0,1 bước sóng.

Để có độ chính xác cao nhất, cần tính đến nguồn sai số sao cho cường độ trường thực có thể được xác định với độ không đảm bảo đo nhỏ hơn  $\pm 2$  dB. Để đạt đến mức chính xác này ở tần số trên 300 MHz, phải thực hiện đo bằng cách quét hoặc đo nhiều điểm cố định trên mỗi bước sóng để có được thông tin về sự thay đổi cường độ trường trong diện tích đó do phản xạ nhiễu chiều và các phản xạ khác.

### 6.1.3 Trường xa, nguồn phức

Khi đo trường phát sinh từ nhiều nguồn có khoảng cách xa có tần số, phân cực hoặc hướng lan truyền chưa biết, đòi hỏi phải sử dụng đầu dò đẳng hướng băng tần rộng. Vì cần tính đến ảnh hưởng của sóng đứng và sự tương tác của trường nhiều nguồn nên cần quét theo thể tích không gian trong vùng đang xét. Diện tích này cần chia thành ô từ 1 m<sup>2</sup> đến 3 m<sup>2</sup> (tùy thuộc vào kích cỡ của diện tích đang xét), và thực hiện phép đo ở từng điểm giao nhau giữa các ô. Phải quét trong mặt phẳng thẳng đứng ở các điểm giao nhau giữa các ô.

Trong trường hợp nhiều nguồn, có phân cực chưa biết thì không thể sử dụng đầu dò đơn trục (lưỡng cực tuyến tính) để cung cấp dữ liệu chính xác trong khoảng thời gian hợp lý vì đòi hỏi phép đo đầu dò theo ba trục vuông góc để đảm bảo tất cả các thành phần của trường đều được tính đến. Nếu phải sử dụng đầu dò đơn trục hoặc anten phân cực tuyến tính, cần chắc chắn rằng trường cần đo là không thay đổi theo thời gian. Ngay cả khi sử dụng đầu dò đẳng hướng, không được có nguồn sai số đo do phản xạ từ đầu dò, cáp, hộp đọc dữ liệu ra và người khảo sát. Việc sử dụng cáp nối đầu dò điện trở cao, dài (nhiều mét) hoặc sợi quang sẽ giảm thiểu vấn đề phản xạ để cập ở trên.



#### 6.1.4 Trường gần

Vì gradien trường rộng tồn tại trong trường gần của vật bức xạ tích cực hoặc vật bức xạ lại thụ động nên phép đo gradien đòi hỏi phải sử dụng đầu dò có dàn anten cảm biến nhỏ về điện gồm ba lưỡng cực vuông góc và, đối với tần số thấp hơn 300 MHz, một dàn ba anten vòng vuông góc cảm biến nhỏ về điện, để cung cấp đặc tính phù hợp với độ phân giải của các gradien theo không gian. Ngược lại, giá trị lấy trung bình theo không gian được đo bởi đầu dò lớn (đầu dò có diện tích hiệu quả lớn hơn một phần tư bước sóng, tính theo mặt cắt). Ngoài ra, dàn anten cảm biến nhỏ về điện sinh ra nhiễu tối thiểu của trường và các đặc tính bức xạ của nguồn là không thay đổi (sự biến đổi của trường gần phản ứng). Vì sự phân cực của các trường trong trường gần thường không biết nên trong hầu hết các trường hợp cần sử dụng đầu dò đẳng hướng. Nếu tần số và phân cực đã biết thì không yêu cầu sử dụng thiết bị đo bằng tần rộng. Thay vào đó, có thể sử dụng đầu dò bằng tần hẹp có đáp tuyến đồng nhất trong một mặt phẳng (giống như một số thiết bị đo có bán trong thương mại có hai lưỡng cực vuông góc để khảo sát lò vi sóng).

## 6.2 Phép đo dòng điện cảm ứng trong cơ thể và dòng điện tiếp xúc

### 6.2.1 Dòng điện cảm ứng trong cơ thể

Có một số vấn đề cần xem xét khi lựa chọn thiết bị đo dòng điện cảm ứng. Thứ nhất, đồng hồ đo bằng cách đứng trên nó phải chịu ảnh hưởng của dòng điện chuyển dịch cảm ứng trường điện từ các trường bị giới hạn ở tấm đỡ phía trên. Nghĩa là, loại đồng hồ này có thể tạo ra các số chỉ dòng điện khi phải chịu trường điện cường độ mạnh, ngay cả khi không có đối tượng đứng trên đồng hồ. Tuy nhiên, khi có đối tượng đứng trên đồng hồ, trường điện thường được che chắn khỏi tương tác đáng kể với tấm đỡ phía trên vì chúng thường kết thúc trên bề mặt của đối tượng. Vì vậy, khi sử dụng đồng hồ kiểu tấm phẳng song song, số chỉ dòng điện chuyển dịch, khi không có người đứng trên, cần được bỏ qua. Số chỉ dòng điện cảm ứng khi có đối tượng cần được xem là số chỉ chính xác nhất của dòng điện cảm ứng trong cơ thể (không cần trừ đi dòng điện dịch chuyển ban đầu).

Một quan sát khác là tổng dòng điện qua cả hai mắt cá chân đo bởi đồng hồ kiểu kẹp có xu hướng lớn hơn một chút so với giá trị tương ứng chỉ ra ở đồng hồ kiểu đứng lên nó. Hiện tượng này do giao thoa trường điện ở mặt ngoài của tấm phía trên của đồng hồ loại đứng trên nó cảm ứng điện tích trên tấm phía trên và, do đó, dòng điện chuyển dịch không chạy qua phần tử cảm

## TCVN 3718-2 : 2007

biến dòng điện của đồng hồ. Hiện tượng có xu hướng làm giảm dòng điện cảm ứng trên đồng hồ loại đứng trên nó này là hàm của tần số RF và kết cấu hình học của đồng hồ. Trong khi dòng điện chạy qua mắt cá chân, ngay phía trên bàn chân, có thể lớn hơn một chút so với dòng điện chạy qua lòng bàn chân do dòng điện chuyển dịch rò ra bàn chân, dòng điện này thường không đáng kể. Dòng điện đo được bằng đồng hồ đo dòng điện kiểu kẹp là phương pháp chính xác hơn để đo dòng điện thực tế chạy qua mắt cá chân. Trong khi giới hạn dòng điện cảm ứng qui định trong các hướng dẫn và tiêu chuẩn hiện hành (TCVN 3718-1) là dựa trên giới hạn dòng điện chạy qua vùng này (mặt cắt nhỏ nhất của chân) để hạn chế SAR cục bộ thì giới hạn thực được qui định là dòng điện qua bàn chân, không phải dòng điện qua mắt cá chân.

Một vấn đề khác là mối quan hệ chính xác giữa dòng điện cảm ứng được thể hiện trên đồng hồ kiểu đứng trên nó với dòng điện thực tế chạy qua bàn chân khi đối tượng đứng trên các mặt nền khác nhau. Ví dụ, các điều kiện dẫn của nền và kết cấu của mặt nền khác nhau, ví dụ như cỏ, sỏi, bê tông, sàn thép, sàn gỗ, v.v... có thể tạo ra các dòng điện cảm ứng trong cơ thể khác nhau với cùng một cường độ trường điện, khi đo với đồng hồ kiểu đứng trên nó. Điều này là do mức độ khác nhau của tiếp xúc điện giữa tấm kim loại bên dưới và mặt nền thực tế, tức là, bề mặt phẳng của tấm đỡ phía dưới không tạo tiếp xúc đồng nhất với nhiều bề mặt được đặt lên. Ngoài ra, mức độ tiếp xúc có thể thay đổi theo khối lượng của người. Sự thay đổi vốn có này của đồng hồ kiểu đứng trên nó gợi ý rằng phép đo trực tiếp dòng điện qua mắt cá chân sử dụng đồng hồ đo dòng điện kiểu kẹp sẽ chịu ít thay đổi do điều kiện tiếp xúc và có được kết quả đo dòng điện chạy qua mắt cá chân ý nghĩa hơn trong điều kiện thực tế tiếp xúc của giày với các bề mặt nền khác nhau.

Khi có sự biến động trong kết quả đo, phải xem xét việc sử dụng anten tương đương con người (xem 5.5). Các thiết bị này loại trừ những biến động do chênh lệch về tấm vóc, tư thế và giày dép của con người. Chúng cũng cho phép đo dòng điện mà không yêu cầu con người phải chịu phơi nhiễm với dòng điện và trường nguy hiểm tiềm ẩn.

### 6.2.2 Dòng điện tiếp xúc

Phép đo dòng điện tiếp xúc có thể thực hiện được nhờ đồng hồ đo kiểu kẹp như đề cập ở 6.2.1. Việc nối một thiết bị đo dòng điện vào giữa tay và vật cần thử nghiệm là một kỹ thuật thay thế khác để đo dòng điện tiếp xúc. Có thể dùng kiểu đầu dò kim loại, một đầu được chính con người cầm còn đầu kia chạm vào vật thể cần thử nghiệm. Diện tích bề mặt tiếp xúc (và trở kháng bề mặt) giữa con người và vật thể cần thử nghiệm là biến số chưa biết khi sử dụng kỹ thuật này. Tuy nhiên, phương pháp đo này có xu hướng đo trực tiếp dòng điện RF thực tế chạy giữa cơ thể người và vật thể.

Mạng trở kháng có thể được dùng để mô phỏng trở kháng cơ thể trong quá trình đo ban đầu là phương tiện bảo vệ con người khỏi quá dòng điện. Việc sử dụng mạch điện tương đương với trở kháng cơ thể để ngăn ngừa dòng điện tiếp xúc vượt quá chạy qua con người và vật thể cần thử nghiệm phải được chú ý khi tiếp cận vì trường điện xuất hiện ở một số vật thể có thể ghép trực tiếp với tay người, bằng cách đó, tạo ra dòng điện RF ở bàn tay, cánh tay và cơ thể con người trong khi chỉ có một phần dòng điện tiếp xúc chạy qua đầu dò được giữ lại bởi tay cầm cách điện.

Cần chú ý khả năng xuất hiện phóng điện bề mặt khi đóng và ngắt tiếp xúc với vật dẫn khi thực hiện phép đo dòng điện tiếp xúc. Khó có thể dự đoán trường hợp này và người khảo sát cần nhận ra khả năng này khi đo.

## 6.3 Qui trình đo trường bên trong (SAR)

### 6.3.1 Phép đo SAR với đầu dò trường điện cỡ nhỏ

Đầu dò trường E cấy được, đẳng hướng cỡ nhỏ với đường nuôi có trở kháng cao, sẵn có trong thương mại, được dùng để đo phân bố SAR ở mô hình ảo và ở động vật sống đã gây mê. Các đầu dò này phải có độ nhạy cao hơn đầu dò nhiệt độ và đặc biệt thích hợp để đo trường E bên trong mô sinh học mô phỏng hoặc mô sinh học thực có lượng nước từ vừa phải đến cao, ví dụ, não và cơ. Trong khi có thể đo SAR cỡ khoảng 1 W/kg sử dụng phép đo nhiệt nhạy và chính xác  $(\Delta T)/(\Delta t) \approx 0,1 \text{ }^\circ\text{C}/30 \text{ s}$ , thì trong miền đầu dò trường E có thể đo SAR cỡ 10 mW/kg. SAR có thể được tính bằng công thức (21) và dữ liệu trong bảng 1 và bảng 2 cho thấy tính chất điện môi điển hình đối với các mô mô phỏng và mô thực.

$$SAR = \frac{1}{\rho} \omega \epsilon_0 \epsilon'' E_{int}^2 \quad W/kg$$

$$SAR = \frac{\sigma}{\rho} E_{int}^2 \quad W/kg \quad (21)$$

trong đó

$\rho$  là khối lượng riêng ( $kg/m^3$ ),

$\epsilon_0$  là hằng số điện môi của không gian tự do ( $F/m$ ),

$\epsilon''$  là phần ảo của hằng số điện môi phức tương đối,

$\omega$  là tần số góc ( $= 2\pi f$ ),

$\sigma$  là độ dẫn ( $S/m$ ),

$E_{int}$  là cường độ trường điện hiệu dụng, tính bằng  $V/m$  tại điểm trong cơ thể, chỉ số dưới "int" để nhấn mạnh trường bên trong cơ thể không giống cường độ trường ngoài xung quanh vật thể phơi nhiễm.

Phép đo có thể được thực hiện ở các điểm riêng bên trong đối tượng sinh học mô phỏng hoặc thực tế. Vì có gradien theo không gian lớn và có sóng đứng ở hầu hết các đối tượng sinh học bị phơi nhiễm trong trường gần hoặc trường xa nên phải có đủ số lượng các điểm dữ liệu để mô tả chính xác phân bố SAR. Tại mỗi vị trí, tổng của các đầu ra của ba lưỡng cực vuông góc với nhau và vị trí của đầu dò phải được ghi lại. Việc định vị chính xác đầu dò cảm biến là cần thiết để thực hiện các phép đo có khả năng lặp lại; thường chỉ có thể có được khả năng lặp lại bằng cách sử dụng cơ cấu định vị ba chiều tự động – không dùng tay. Để giảm bớt việc lấy dữ liệu trong thể tích mô, có thể lấy dữ liệu trong khi đầu dò quét qua thể tích này. Vì đầu dò trường E có thời gian đáp ứng cỡ vài miligiây nên đường quét liên tục của trường E bên trong có thể được ghi một cách linh hoạt khi đầu dò dịch chuyển dọc theo một tuyến (xem 6.3.1.1). Lượng lớn dữ liệu về đối tượng có thể được vẽ thành đồ thị trong thời gian tương đối ngắn, và giảm khả năng mất giá trị đỉnh cục bộ.

Có một số nguồn sai số vốn có kết hợp với việc sử dụng đầu dò trường E gây được cho các phép đo SAR. Cho dù chất lượng của đầu dò cụ thể được dùng như thế nào thì việc hiệu chuẩn (về cường độ trường tuyệt đối trong mô sinh học chứa nước hoặc dạng mô) là rất khó (xem 5.6.1.1). Gradien lớn trong trường E bên trong và kiến thức không đúng về độ dẫn và khối lượng riêng của

mô sinh học hoặc dạng mô làm tăng thêm độ không đảm bảo đo. Mặc dù đầu dò cấy được có sẵn trong thương mại, nhưng đầu dò được thiết kế theo đặt hàng thường xuyên được người thiết kế hoặc người sử dụng cải tiến, đánh giá và hiệu chuẩn. Vì vậy, người sử dụng phải hiểu các hạn chế về tính năng của thiết bị đo cũng như sai số trong suốt qui trình đo để tiến hành các bước để giảm thiểu sai số do các yếu tố đó gây ra.

**Bảng 1 – Độ dẫn điện (S/m) của mô mô phỏng ở tần số RF**

Loại mô	Tần số (MHz)			
	10	100	1 000	2 450
Cơ	0,7 <sup>a</sup>	0,9 <sup>a</sup>	1,3 <sup>a</sup>	2,2 <sup>a</sup>
Não	–	0,47 <sup>b</sup>	0,75 <sup>a</sup> , 1,2 <sup>b</sup>	1,2 <sup>a</sup>
Mỡ và xương	–	0,008	0,07 <sup>a</sup> , 0,12 <sup>b</sup>	0,18 <sup>a</sup>
Thành phần: <sup>a</sup> Hợp chất polyetilen và chất keo TX 150 dùng để mô phỏng cơ và não. <sup>b</sup> Chất keo HEC không có hợp chất polyetylen dùng để mô phỏng cơ và não. CHÚ THÍCH: Ở cả hai thành phần, mỡ và xương mô phỏng ở thể rắn.				

**Bảng 2 – Độ dẫn điện (S/m) của mô sinh học ở tần số RF**

Loại mô	Tần số (MHz)			
	10	100	1 000	3 000
Cơ	0,645	0,731	1,006	2,237
Xương (chất màu xám)	0,29	0,56	0,99	2,22
Não (chất màu trắng)	0,16	0,32	0,62	1,51
Mỡ	0,029	0,037	0,054	0,130
Xương (xốp)	0,122	0,172	0,364	1,006
Xương (vỏ)	0,043	0,064	0,155	0,506

Đầu dò trường E có độ nhạy cao là thích hợp đối với phép đo SAR liên quan đến nguồn cục bộ công suất thấp (cỡ 1 W hoặc thấp hơn) như máy thu phát radio cầm tay, ví dụ, thiết bị liên lạc cá nhân. Đầu ra công suất thấp làm cho phép đo nhiệt gặp khó khăn. Tăng công suất của các nguồn này lên mười lần để có thể dùng kỹ thuật nhiệt nhưng sẽ dẫn đến sự thay đổi đáng kể của thiết bị đến mức không đại diện được cho máy thu phát thực tế. Vì phơi nhiễm từ các nguồn cục bộ công suất thấp này nằm trong khoảng 5 cm tính từ anten, định vị chính xác đầu dò cảm biến là yếu tố quan trọng để thực hiện phép đo có khả năng lặp lại. Việc định vị đầu dò cần được thực hiện bằng máy móc hơn là bằng tay, ví dụ, bộ định vị ba chiều. Vật mô phỏng dùng cho các phép đo này có thể thay đổi theo từng trường hợp phụ thuộc vào thiết bị cụ thể cần đánh giá. Ví dụ, với điện thoại cầm tay, chỉ cần nửa phía trên của thân người là đủ, trong khi đài thu phát hai chiều 150 MHz đeo ở thắt lưng có anten hoạt động nhờ đóng cắt chuyển đổi từ xa lại đòi hỏi vật mô phỏng toàn bộ chiều cao người.

Độ dẫn của mô mô phỏng phải đúng với tần số cần thử nghiệm. Sự pha trộn các vật liệu như vậy và phép đo các đặc tính điện tương ứng của chúng gây khó khăn đáng kể để đạt được độ chính xác và khả năng lặp lại. Không thể sử dụng một công thức trong dải tần rộng, ví dụ, lớn hơn một octa, mà không vận hành với độ chệch hướng tương đối lớn ( $\pm 5\%$ ) so với độ dẫn công bố đối với mô sinh học. Để có kết quả lặp lại ( $\pm 3\%$ ) thì nên giới hạn băng tần và mua vật liệu gốc từ cùng một nhà cung cấp. Các qui trình trộn cũng cần được nêu, ví dụ, khối lượng chính xác các thành phần, nhiệt độ của chất lỏng trong quá trình trộn, thời gian trộn, tốc độ quay của thiết bị khuấy. Khó có thể thực hiện đo chính xác đặc tính điện môi của mô mô phỏng. Có thể có kết quả chấp nhận được khi sử dụng các phương pháp đường đồng trục mở, nhưng phương pháp đường đồng trục xẻ rãnh cho kết quả lặp lại hơn đối với chất mô phỏng có dạng lỏng. Hơn nữa, phương pháp đường đồng trục xẻ rãnh cung cấp phương thức kiểm tra sự suy giảm của sóng RF khi nó hướng dọc theo đường mà độ chính xác tổng của phép đo có thể được đánh giá chính xác hơn so với phép đo một điểm trên bề mặt theo phương pháp đường đồng trục mở.

Chỉ có thể thực hiện đo SAR chính xác với đầu dò được hiệu chuẩn cẩn thận theo vật mô phỏng được sử dụng để đại diện mô sinh học. Qui trình hiệu chuẩn này dài dòng và dễ gây sai số, đòi hỏi đo đồng thời hoặc liên tiếp biên độ của trường E và độ tăng nhiệt ở cùng vị trí theo mô hình kinh điển như mô hình hình cầu hoặc mô hình phẳng với vật liệu mô phỏng mô tương ứng. Việc hiệu chuẩn theo mô hình phẳng thường được thực hiện sử dụng nguồn công suất tương đối cao,

ghép với lưỡng cực cộng hưởng ở khoảng cách qui định so với mô hình; hiệu chuẩn theo mô hình cầu có thể thực hiện trong điều kiện chiếu sóng phẳng hoặc sử dụng lưỡng cực.

Như chỉ ra ở trên, sai số thực nghiệm liên quan đến phép đo SAR có thể đáng kể ( $\pm 2$  dB) vì thực hiện qui trình nhiều bước. Các yếu tố dưới đây cũng góp phần vào độ chính xác thực nghiệm tổng có thể nhận biết: độ chính xác của đặc tính điện của mô mô phỏng là  $\pm 5$  % (nếu phép đo được hạn chế trong băng tần hẹp); độ chính xác của phép đo độ tăng nhiệt trong quá trình hiệu chuẩn đầu dò và sai số liên quan đến hiệu chuẩn là  $\pm 3$  %; độ chính xác của phép đo công suất RF là  $\pm 5$  %; sai số vị trí đáp tuyến không đẳng hướng của đầu dò là  $\pm 6$  %.

**CHÚ THÍCH:** Độ không đảm bảo đo tổng khi đo không phải là tổng của các sai số đo ở trên. Độ không đảm bảo đo tổng được xác định bằng cách tính các độ không đảm bảo đo riêng lẻ, dùng căn bậc hai của tổng bình phương của độ không đảm bảo đo hệ thống và sau đó dùng khoảng tin cậy 95 % để có số nhân của tổng này để có được độ không đảm bảo đo mở rộng—con số thường được viện dẫn.

Ngay cả ở băng tần hẹp, việc đạt đến sai số tương đối tổng là  $\pm 2$  dB đòi hỏi thiết bị được thiết kế riêng để đo đặc tính điện môi của mô mô phỏng, đồng hồ đo công suất RF được hiệu chuẩn chính xác, đầu dò nhiệt độ, và nhân viên có chuyên môn để đo độ tăng nhiệt cỡ  $0,10$  °C có sai số đo là  $0,03$  °C. Qui trình này mất nhiều thời gian và việc hiệu chuẩn một đầu dò trường E ở một tần số trong hai môi chất khác nhau, ví dụ, mô não và mô cơ mô phỏng, có thể mất hai ngày làm việc.

### 6.3.1.1 Máy quét SAR tự động

Phép đo phân bố SAR ba chiều trong mô hình bao gồm hàng trăm điểm đo. Ở tần số cao hơn, đặc biệt là phơi nhiễm trường gần từ nguồn cục bộ nhỏ sinh ra sự biến đổi nhanh của phân bố SAR theo không gian, vị trí của điểm đo so với mô hình phải được xác định chính xác. Cẩn đo SAR định theo không gian với độ chính xác cao. Hệ thống quét tự động cho phép thực hiện các phép đo này đều đặn. Để di chuyển đầu dò nhỏ dọc theo đường liên tục không hạn chế thì các hệ thống quét như vậy thường bị hạn chế vì bình đựng mô hình có đổ chất lỏng mô phỏng mô con người.

Mặc dù máy quét tự động dựa trên đầu dò nhiệt độ là có thể sử dụng, nhưng phép đo tốc độ lớn nhất có thể bị chậm đến mức không thể chấp nhận được. Vì điều này và vì độ nhạy thấp của đầu dò nhiệt độ, hệ thống quét có thể được thực hiện dựa trên các đầu dò trường E cỡ nhỏ. Các hệ

thống như vậy bao gồm từ bộ định vị một chiều đến máy quét ba trục và, gần đây nhất là rôbot sáu trục.

Xem xét hệ thống được thiết kế dùng cho thử nghiệm sự phù hợp của máy thu phát tần số radio cầm tay, ví dụ, điện thoại cầm tay, có chỉ tiêu an toàn SAR đỉnh trung bình theo không gian. Hệ thống này gồm có rôbot có độ chính xác cao (dài làm việc lớn hơn 0,9 m và mức độ lặp lại vị trí chính xác hơn  $\pm 0,02$  mm), đầu dò trường E đẳng hướng có cảm biến lưỡng cực tải điốt, cảm biến quang lân cận để tự động định vị đầu dò theo bề mặt của mô hình (trong phạm vi  $\pm 0,2$  mm) và phần mềm phức tạp để xử lý dữ liệu và điều khiển đo. Dải tần sử dụng được mở rộng từ 10 MHz đến ít nhất 3 GHz, độ nhạy lớn hơn 1 mW/kg, và dải động đến 100 W/kg. Các phép đo phức tạp, như giá trị SAR đỉnh trong không gian khi bắt đầu với phân bố trường trong cơ thể là chưa biết, có thể được hoàn thành trong vòng 15 min.

### 6.3.2 Đầu dò nhiệt độ đối với phép đo SAR

Việc sử dụng đầu dò nhiệt độ không gây nhiều cho phép đo SAR về nguyên tắc rất đơn giản, nhưng trên thực tế khá phức tạp nếu yêu cầu dữ liệu chính xác. Mục đích là để đo tỷ số độ tăng nhiệt do việc chiếu gây ra theo thời gian ( $\Delta T/\Delta t$ ) ở vị trí xác định trong mô hoặc vật liệu mô phỏng. Vì vậy, SAR, tỷ lệ với ( $\Delta T/\Delta t$ ) có thể xác định được. Khi nhiệt độ không tăng tuyến tính trong quá trình chiếu không đổi của mô hoặc vật liệu mô phỏng mô cần thử nghiệm thì các yếu tố khác như tổn thất nhiệt hoặc bổ sung nhiệt do đối lưu, dẫn nhiệt, v.v..., là quan trọng. Vì vậy, qui trình đơn giản nhất là tạo ra  $\Delta T$  tương đối nhỏ (không lớn hơn một vài độ C trong 30 s) ở vị trí của đầu dò nhiệt độ.

Để có được SAR, số chỉ của đầu dò hoặc đầu ra analog được vẽ hoặc ghi lại tự động trước và trong quá trình chiếu, và tốc độ thay đổi của độ tăng nhiệt do chiếu gây ra cũng được xác định bằng đồ thị hoặc được tìm bằng cách sử dụng thuật toán xác định độ dốc. Đồ thị ghi được của  $\Delta T/\Delta t$  cũng như đồ thị công suất RF ghi được đồng thời (để xác định đúng khi tắt và bật nguồn liên quan đến độ tăng nhiệt) là rất có ích trong việc kiểm tra độ tuyến tính của độ dốc. SAR được tính từ độ dốc tuyến tính ban đầu của  $\Delta T/\Delta t$  theo công thức:

$$SAR = \frac{\Delta T \times c}{\Delta t} \quad (22)$$



Trong đó  $c$  là nhiệt dung riêng của mô (hoặc vật liệu mô phỏng), tính bằng  $J/kg \text{ } ^\circ C$ . Giá trị điển hình đối với nhiệt dung riêng được cho trong bảng 3.

**Bảng 3 – Nhiệt dung riêng và khối lượng riêng của vật liệu mô phỏng mô và mô sinh học thực**

Mô	Nhiệt dung riêng ( $J/kg \text{ } ^\circ C$ )	Khối lượng riêng ( $\times 10^3$ ) ( $kg/m^3$ )
Mô phỏng cơ <sup>a</sup>	3,7	1,0
Mô phỏng cơ <sup>b</sup>	3,6	1,1
Mô phỏng não <sup>a</sup>	3,4	0,98
Mô phỏng mô chứa mỡ (mỡ) <sup>b,c</sup>	1,1	1,4
Cơ trong ống nghiệm	3,5	1,1
Não trong ống nghiệm	3,5	1,1
Mô mỡ trong ống nghiệm	1,2-1,6	1,05
Xương	1,25-3,0	1,25-1,8
<sup>a</sup> Dữ liệu dùng cho công thức để sử dụng mô ở 2 450 MHz. <sup>b</sup> Dữ liệu dùng cho công thức để sử dụng mô ở 27 MHz. <sup>c</sup> Vật liệu mô phỏng mỡ có đặc tính điện môi gần như giống với xương sinh vật sống.		

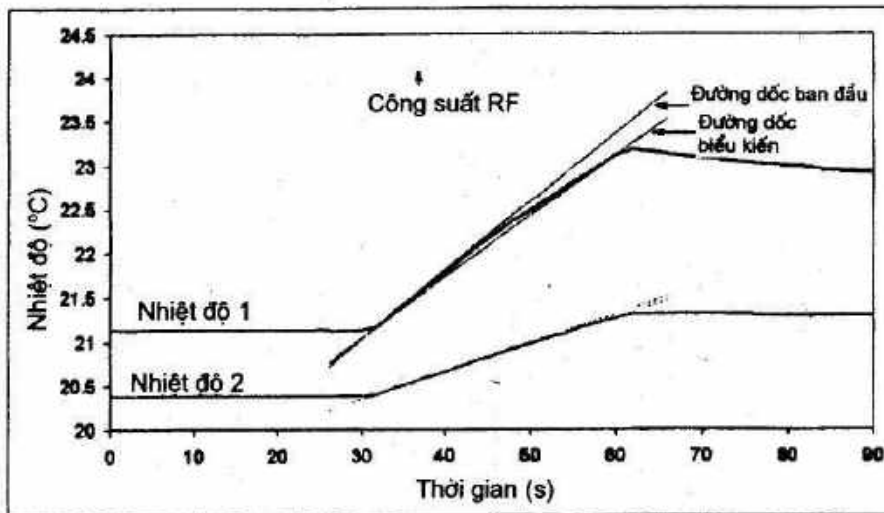
Có một số nguồn gây sai số khi sử dụng đầu dò nhiệt độ để đo SAR. Một là, khó để có các kết quả có khả năng lặp lại ở vị trí gradien SAR theo không gian lớn. Sự thay đổi nhỏ ở vị trí đầu dò có thể gây ra sự thay đổi SAR lớn trong các trường hợp này, và đoạn tuyến tính của đường dốc  $\Delta T/\Delta t$  khá ngắn (so với thời điểm bắt đầu chiếu). Điều này là do sự xuất hiện của gradien nhiệt cao và hiệu ứng nhiệt động thu được gây ra sai số phép đo. Vì các lý do trên, cần xác định các vị trí trên vật thể có SAR lớn nhất. Cần lấy các dữ liệu ở cả hai phía lớn nhất. Hai là, vùng có SAR tương đối cao ( $>20 \text{ W/kg}$ ) phải được xem xét cẩn thận để đảm bảo có được giá trị đúng, vì vùng này thường có tổn thất do dẫn nhiệt cao và SAR cũng cao. Ở vùng SAR cao, nên chia đôi thời

gian chiếu và cần chắc chắn rằng  $\Delta T$  cũng giảm bằng một nửa; nếu không sẽ xuất hiện hiệu ứng nhiệt động, ví dụ như các hiệu ứng kết hợp với dẫn nhiệt. Cần chú ý rằng các hằng số điện môi và độ dẫn nói chung thay đổi theo nhiệt độ nên sẽ làm thay đổi SAR đo được.

Có thể xuất hiện sai số đáng kể khi đo SAR, sử dụng đầu dò nhiệt độ, tại một điểm trong vật thể có một hoặc nhiều "điểm nóng" ở gần nhưng không trùng với đầu của đầu dò. Nhiệt độ, khi đo bởi đầu dò, sẽ diễn ra như sau: Nhiệt độ có thể không tăng ngay sau khi chiếu RF vào vật thể thử nghiệm, nhưng sau vài giây, nhiệt độ, được theo dõi bởi đầu dò, bắt đầu tăng nhanh hơn khi nhiệt được dẫn từ điểm nóng gần đó. Khi ngừng chiếu, nhiệt độ tiếp tục tăng khi nhiệt được dẫn từ các điểm nóng đến vùng mát hơn tại những nơi đặt đầu dò. Nhiệt thường được khuếch tán khỏi điểm đo như chỉ ra ở hình 13. Tốc độ tăng nhiệt nhìn thấy được bằng đầu dò (đường dốc biểu kiến) có thể bị sai do SAR cục bộ tại vị trí đặt đầu dò, và nhỏ hơn đường dốc ban đầu. Nguồn thứ ba gây sai số là do phát nóng điện môi của dây dẫn trở kháng cao của đầu dò nhiệt độ khi chúng ra khỏi vật thể bị chiếu. Khi trường E song song với dây dẫn, dây dẫn tại điểm có đầu dò đi vào sẽ nóng lên đáng kể làm cho SAR bề mặt tăng quá mức. Vì vậy, tốt nhất là xác định được SAR ở bề mặt của vật thể với đầu cảm biến của đầu dò gắn vào điểm đo và dây dẫn đi ra khỏi vật thể ở vị trí cách xa cảm biến. Có các nguồn sai số khác nữa khi sử dụng các phương pháp này để đo SAR nhưng chúng có thể được giảm thiểu nhờ hiểu biết về khả năng và những hạn chế của đầu dò nhiệt độ được sử dụng và ứng dụng cẩn thận các phương pháp khoa học.

Một xem xét khác đáng chú ý là phép đo bội của SAR theo mô hình cho trước. Ở mô hình lớn, ví dụ, cần đo SAR ở nhiều vị trí, nhưng thường không đủ đầu dò không gây nhiễu để có được đồng thời tất cả các dữ liệu trong thời gian chiếu. Nếu chỉ sử dụng một hay một vài đầu dò để vẽ nên bản đồ SAR trong thể tích lớn thì giá trị lý tưởng trước khi chiếu là  $\Delta T/\Delta t$  bằng "không" (không có chênh lệch nhiệt độ mô hình và nhiệt độ bao quanh) dùng cho chiếu tiếp theo. Tuy nhiên, sau lần phơi nhiễm đầu tiên, thường quan sát thấy đường cong làm nguội sau khi chiếu có dạng hàm số mũ sẽ kéo dài nhiều phút hoặc nhiều giờ nếu xuất hiện giá trị cao của  $\Delta T$  trong quá trình chiếu RF trước đó (nhiều hơn vài độ C). Vì các lý do thực tiễn và kinh tế, cần có được càng nhiều dữ liệu thuộc phép đo liều lượng càng tốt theo từng ngày thử nghiệm ở phòng thử nghiệm. Do đó, nên có thỏa thuận giữa việc cung cấp dữ liệu SAR đúng và khoảng thời gian tiến hành thử nghiệm. Quy tắc ngón tay cái có ích trong việc xác định thời điểm bắt đầu một lần chiếu khác là để chờ cho đến khi độ dốc của đường cong làm nguội tương đối ổn định (khoảng 5 % tốc độ cảm của độ tăng nhiệt do RF trước đó gây ra trong khoảng thời gian cần sử dụng cho lần chiếu tiếp

theo), và việc giảm nhiệt độ trước khi chiếu tương đối nhỏ so với  $\Delta T/\Delta t$  mong muốn do chiếu gây ra. Thử nghiệm lặp lại dùng kỹ thuật nhất quán là cần thiết để có được kết quả chính xác trong nghiên cứu SAR sử dụng đầu dò nhiệt độ. Và cuối cùng, sau vài lần chiếu RF lên cùng một vật thể, nhiệt độ của nó có thể tăng quá các giới hạn chấp nhận được và vật liệu mô phỏng hoặc vật liệu sinh học có thể bị suy thoái.



**Hình 13 – Dữ liệu về phép đo đương lượng nhiệt điển hình: nhiệt độ theo thời gian – trước, sau và trong quá trình chiếu**

Phần lớn phép đo SAR được thực hiện bằng đầu dò nhiệt độ. Tuy nhiên, nhiều nhà nghiên cứu vẫn không biết được hết các yếu tố làm suy giảm độ chính xác của phép đo này. Ví dụ, hệ số nhiệt động luôn hạn chế độ chính xác của phép đo SAR, độ không đảm bảo đo bất kỳ ở giá trị nhiệt dung của mô thực hoặc mô mô phỏng cần đánh giá. Nhiệt dung thường bị lấy nhầm là nhiệt dung của nước (cao hơn 15 % so với nhiệt dung của mô có hàm lượng nước cao nhất), thậm chí, ngay cả trong điều kiện sử dụng tối ưu vẫn dẫn đến sai số ít nhất từ  $\pm (1-2)$  dB trong phân bố SAR cục bộ ở vật thể khi đo với đầu dò nhiệt độ bằng cách lấy mẫu thể tích mô.

Khi sử dụng nhiệt kế đo SAR trong trường điện từ, phải nhận biết được khả năng nhiễu RF ở cảm biến của nhiệt kế, dây dẫn, hoặc linh kiện điện tử. Có thể sử dụng một số phương pháp để xác định biên độ nhiễu. Một trong các phương pháp đó là ghi lại thay đổi tại thời điểm nguồn RF được

bật hoặc tắt. Nếu thay đổi lớn, xảy ra ngay lập tức thì cần sử dụng đầu dò để đo nhiệt độ trước và ngay sau khi phơi nhiễm RF. Có thể xảy ra các hiện tượng giả do tương tác giữa trường RF và các dây dẫn điện gắn với phần tử cảm biến nhiệt độ của đầu dò. Tương tác này có thể kích thích điện áp cảm ứng theo nhiệt độ tại mối nối của hai vật liệu không giống nhau (hiệu ứng nhiệt điện), bao gồm dây dẫn điện trở cao (Teflon có cacbon) nối với dây kim loại. Vì hiện tượng này là do phát nóng mối nối, nên cần che các vùng cần sử dụng để làm giảm nguồn gây sai số đo này. Lá kim loại hoặc vật hấp thụ RF có thể được dùng để che các mối nối này.

### **6.3.3 Xác định SAR trung bình trên toàn bộ cơ thể bằng phép đo nhiệt lượng**

SAR trung bình trên toàn bộ cơ thể có thể được đo dùng phương pháp nhiệt lượng. Trước đây, các phương pháp này được sử dụng chủ yếu với động vật nhỏ hoặc mô hình động vật; tuy nhiên gần đây, phương pháp ghép đôi nhiệt lượng được sử dụng để đo SAR trong mô hình toàn bộ kích thước của người. Thiết bị chính của hệ thống đo này là thiết bị đo nhiệt lượng, và thường sử dụng thiết bị phân lớp gradien. Thiết bị đo nhiệt lượng phân lớp gradien có tín hiệu điện áp ra thuận tỉ lệ với tốc độ dòng năng lượng nhiệt ra khỏi thiết bị (điện áp dương) hoặc tốc độ dòng năng lượng nhiệt đi vào (điện áp âm). Nói chung, tín hiệu thường có tạp rất thấp, và độ nhạy của thiết bị điển hình là khoảng 1,3 J/(mVs).

Ở chế độ đặt trong phòng thử nghiệm, phép đo nhiệt lượng SAR bắt đầu với việc cân bằng nhiệt trên vật thể thử nghiệm, thường là mô hình động vật thực hoặc mô hình con người theo tỷ lệ. Giả thiết rằng nhiệt độ phòng thử nghiệm là hằng số và bằng với nhiệt độ của vật thể thử nghiệm được ổn định nhiệt và đồng hồ đo nhiệt lượng. Sau đó, vật thể thử nghiệm được chiếu trong suốt thời gian đo và ngay sau đó được đặt vào trong đồng hồ đo nhiệt lượng. Điện áp ra của đồng hồ đo nhiệt lượng được theo dõi định kỳ cho đến khi tất cả nhiệt năng do chiếu gây ra ra khỏi vật thể và lại trở về nhiệt độ ban đầu. Quá trình này có thể mất vài giờ hoặc vài ngày tùy thuộc vào kích cỡ và khối lượng của vật thể. Ở thời điểm này, điện áp của đồng hồ đo nhiệt lượng bằng không và diện tích bên dưới đường cong mô tả sự biến thiên điện áp của đồng hồ đo nhiệt lượng theo thời gian tỉ lệ với năng lượng lưu lại trong vật thể. Diện tích này được nhân với hằng số hiệu chuẩn của thiết bị để có được tổng năng lượng lưu lại, tính bằng Jun. Chia năng lượng này cho thời gian chiếu, tính bằng giây, có được tốc độ lưu lại năng lượng (công suất), tính bằng oát; SAR trung bình có được bằng cách chia công suất này cho khối lượng (tính bằng kilôgam) của vật thể thử nghiệm.

Nếu hai đồng hồ đo nhiệt lượng phù hợp được sử dụng cùng với hai vật thể thử nghiệm giống nhau thì có thể sử dụng các qui trình này khi không có điều khiển nhiệt độ chính xác, ví dụ như ở ngoài trời. Tuy nhiên với phép đo SAR ngoài trời cần có nỗ lực gấp đôi, và tất cả các thiết bị cần được bảo vệ khỏi ảnh hưởng của ánh nắng trực tiếp, mưa, v.v...

#### **6.4 Sử dụng dữ liệu kiểm tra trường gần để đánh giá SAR tiềm ẩn vượt quá ở người bị phơi nhiễm**

##### **6.4.1 Phép đo trường**

Mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép của các tiêu chuẩn và hướng dẫn hiện hành được mô tả dưới dạng  $E^2$ ,  $H^2$  và  $S$  dựa trên SAR trung bình toàn bộ cơ thể, dưới giá trị đó mong muốn không xuất hiện các ảnh hưởng bất lợi. Tuy nhiên, với hầu hết các trường hợp phơi nhiễm, cần ước tính nguy hiểm RF tiềm ẩn có thể tồn tại bằng cách đo trường tới, tức là, SAR cảm ứng khi con người bị phơi nhiễm không thể đo trực tiếp; chỉ có thể đo các tham số trường phơi nhiễm bên ngoài. Tuy nhiên, đối với phơi nhiễm toàn bộ cơ thể trong trường sóng phẳng đồng nhất thì SAR trung bình toàn bộ cơ thể có thể được xác định với độ chính xác hợp lý dùng dữ liệu trường phơi nhiễm vì hầu hết các mức phơi nhiễm lớn nhất cho phép là dựa trên mô hình toán học và tính toán SAR toàn bộ cơ thể liên quan đến phơi nhiễm trường sóng phẳng.

Đối với môi trường phơi nhiễm RF sóng không phẳng xác định, ước tính thô bậc biên độ có thể thực hiện bởi SAR cục bộ hay SAR vùng trong các diện tích khác nhau của cơ thể người bị phơi nhiễm đối với trường hợp trường xa và đối với một số trường hợp phơi nhiễm trường gần nhất định. Trong một số trường hợp nhất định, có thể ước tính, mà không cần thực hiện thực sự phép đo SAR, ví dụ, phép đo cường độ trường phơi nhiễm trong môi trường RF cụ thể cần xét, có thể được so sánh với các giá trị với dữ liệu SAR đã công bố. Các phép đo và so sánh này cho phép ước tính thô phân bố SAR cục bộ mong muốn khi con người bị phơi nhiễm trong các trường giống như môi trường RF đã khảo sát. Trong điều kiện phơi nhiễm trường gần nhất định, dữ liệu cường độ trường không cung cấp đủ để đánh giá nguy hiểm RF tiềm ẩn với con người. Khi vật bức xạ RF hoặc vật bức xạ lại rơi vào một phần nhỏ của cơ thể người và phân bố trong không gian của trường không đồng nhất trên thể tích cần kiểm tra, phép đo phân bố SAR cục bộ có thể là phương pháp thích hợp nhất để đánh giá nguy hiểm. Vì vậy, trong các trường hợp này, phép đo E

hoặc H có thể không đủ. Điều này đặc biệt đúng khi khoảng cách từ nguồn RF đến vật thể phơi nhiễm nhỏ hơn xấp xỉ ba lần chiều dài anten đầu dò.

#### **6.4.2 Phép đo dòng điện cảm ứng**

Kỹ thuật đo không tiếp cận được phát triển để đánh giá SAR từ phép đo dòng điện cảm ứng cơ thể. Các phép đo này được thực hiện với thiết bị có vị trí rất gần với hoặc tiếp xúc với cơ thể. Ví dụ, trong trường hợp phơi nhiễm bao gồm trường RF ở tần số dưới vài trăm megahéc, phép đo dòng điện RF tổng qua cơ thể, xuống đất có thể dùng để ước tính SAR cục bộ do ghép với trường gần trong các vùng kết cấu cơ thể khác nhau.

---