

**TCVN 7909-1-5 : 2008**  
**IEC/TR 61000-1-5 : 2004**

Xuất bản lần 1

**TƯƠNG THÍCH ĐIỆN TỪ (EMC) –  
PHẦN 1-5: QUI ĐỊNH CHUNG –  
ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỆN TỪ CÔNG SUẤT LỚN (HPEM)  
TRONG KHU DÂN CƯ**

*Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1-5: General –  
High power electromagnetic (HPEM) effects on civil systems*



**Mục lục****Trang**

Lời nói đầu .....	4
Lời giới thiệu .....	5
1 Phạm vi áp dụng .....	7
2 Tài liệu viện dẫn .....	7
3 Thuật ngữ và định nghĩa .....	8
4 Tổng quan .....	14
4.1 Kinh nghiệm trước đây về các ảnh hưởng HPEM lên hệ thống .....	15
4.2 Các kỹ thuật chung bảo vệ khỏi EM dùng cho khu dân cư .....	17
5 Phân loại môi trường HPEM .....	18
5.1 Môi trường HPEM bức xạ và môi trường HPEM dẫn .....	20
5.2 Dạng sóng (CW) băng hẹp .....	20
5.3 Môi trường quá độ xung ngắn/băng siêu rộng .....	22
5.4 Kích thích lặp lại .....	24
6 Ảnh hưởng của HPEM lên hệ thống .....	25
6.1 Thể hiện về mặt không gian của hệ thống .....	25
6.2 Ví dụ về ảnh hưởng HPEM lên hệ thống và linh kiện điện tử .....	28
6.3 Linh kiện/hệ thống con bị cháy và hỏng vĩnh viễn .....	31
6.4 Xáo trộn mạch logic hoặc gián đoạn dịch vụ.....	39
7 Khái niệm bảo vệ HPEM .....	40
7.1 Chiến lược lựa chọn mức miễn nhiễm .....	40
7.2 Tổng quan về kỹ thuật bảo vệ HPEM .....	41
7.3 Thực hiện bảo vệ HPEM.....	42
Thư mục tài liệu tham khảo .....	48

**Lời nói đầu**

TCVN 7909-1-5: 2008 hoàn toàn tương đương với IEC/TR 61000-1-5: 2004;

TCVN 7909-1-5: 2008 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn quốc gia TCVN/TC/E9, *Tương thích điện từ* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

## Lời giới thiệu

TCVN 7909-1-5: 2008 là một phần của bộ Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 7909.

Hiện tại, bộ Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 7909 (IEC 61000) đã có các phần dưới đây, có tên gọi chung là Tương thích điện từ.

Phần 1-1, Qui định chung – Ứng dụng và giải thích các thuật ngữ và định nghĩa cơ bản

Phần 1-2, Qui định chung – Phương pháp luận để đạt được an toàn chức năng của thiết bị điện và điện tử liên quan đến hiện tượng điện từ

Phần 1-5, Qui định chung – Ảnh hưởng của điện từ công suất lớn (HPEM) trong khu dân cư

Phần 2-2, Môi trường – Mức tương thích đối với nhiễu dẫn tần số thấp và tín hiệu truyền trong hệ thống cung cấp điện hạ áp công cộng

Phần 2-4, Môi trường – Mức tương thích đối với nhiễu dẫn tần số thấp trong khu công nghiệp

Phần 2-6, Môi trường – Đánh giá mức phát xạ liên quan đến nhiễu dẫn tần số thấp trong cung cấp điện của khu công nghiệp



## Tương thích điện từ (EMC) –

### Phần 1-5: Qui định chung – Ảnh hưởng của điện từ công suất lớn (HPEM) trong khu dân cư

*Electromagnetic compatibility (EMC) –*

*Part 1-5: General – High power electromagnetic (HPEM) effects on civil systems*

#### 1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này là đưa ra các thông tin quan trọng để mô tả động lực thúc đẩy quá trình xây dựng các tiêu chuẩn IEC về ảnh hưởng của dòng điện, điện áp và điện từ công suất lớn (HPEM) lên khu dân cư. Với công nghệ anten chuyển tiếp xuất hiện mới đây và việc sử dụng ngày càng nhiều thiết bị điện tử kỹ thuật số, khả năng thiết bị bị rối loạn hoặc hỏng do các môi trường này là vấn đề cần quan tâm. Tiêu chuẩn này bắt đầu bằng giới thiệu chung về đối tượng này và liệt kê các định nghĩa cần sử dụng. Tiếp đó là mô tả các môi trường điện từ công suất lớn (sau đây viết tắt là HPEM) cần quan tâm và thảo luận về các ảnh hưởng khác nhau mà các môi trường này có thể gây ra trong khu dân cư. Cuối cùng, tóm tắt các kỹ thuật được sử dụng để bảo vệ khu dân cư khỏi các môi trường này. Thông tin chi tiết hơn được đề cập trong các tiêu chuẩn cụ thể thuộc bộ tiêu chuẩn TCVN 7909 (IEC 61000).

#### 2 Tài liệu viện dẫn

Các tài liệu viện dẫn sau đây cần thiết cho việc áp dụng tiêu chuẩn. Đối với các tài liệu ghi năm công bố thì áp dụng các bản được nêu. Đối với các tài liệu không ghi năm công bố, thì áp dụng bản mới nhất, bao gồm cả các sửa đổi.

IEC 60050-161, International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 161: Electromagnetic compatibility (Từ vựng kỹ thuật quốc tế (IEV) – Chương 161: Tương thích điện từ)

IEC 61000-2-13, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-13: Environment – High-power electromagnetic (HPEM) environments – Radiated and conducted (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 2-13: Môi trường – Môi trường điện từ công suất lớn (HPEM) – Bức xạ và dẫn)

## TCVN 7909-1-5 : 2008

IEC 61000-4-4, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4 : Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 4-4: Kỹ thuật đo và thử nghiệm – Thử nghiệm miễn nhiễm bấu/qua độ nhanh về điện)

IEC 61000-4-5, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5 : Testing and measurement techniques – Surge immunity test (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 4-5: Kỹ thuật đo và thử nghiệm – Thử nghiệm miễn nhiễm đối với đột biến)

IEC 61000-5-3, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-3 : Installation and mitigation guidelines – HEMP protection concepts – (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 5-3: Hướng dẫn lắp đặt và giảm nhẹ – Khái niệm bảo vệ HEMP)

IEC 61000-5-6, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-6 : Installation and mitigation guidelines – Mitigation of external EM influences – (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 5-6: Hướng dẫn lắp đặt và giảm nhẹ – Giảm nhẹ các ảnh hưởng điện từ bên ngoài)

### 3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa trong IEC 60050-161, trong đó có một số thuật ngữ được nêu lại, một số khác được định nghĩa như dưới đây.

#### 3.1

**Lỗ hở** (aperture)

Lỗ mở ở màn chắn (vỏ bọc) điện từ mà qua đó trường điện từ có thể lọt qua.

#### 3.2

**Tỷ số băng tần** (bandratio)

**br**

Tỷ số giữa tần số cao và tần số thấp mà giữa chúng có 90 % năng lượng; nếu phổ có thành phần một chiều lớn thì giới hạn dưới thường được xác định là 1 Hz.

#### 3.3

**Tỷ số băng tần đề các** (bandratio decades)

**brd**

Tỷ số băng tần biểu diễn dưới dạng đề các:  $brd = \log_{10}(br)$

#### 3.4

**Băng rộng** (broadband)

(1) (của phát xạ): phát xạ có độ rộng băng tần lớn hơn độ rộng băng tần của thiết bị đo hoặc máy thu đo cụ thể.

(IEV 161-06-11);



(2) (của một cơ cấu): một cơ cấu có độ rộng băng tần sao cho có thể tiếp nhận và xử lý tất cả các thành phần phổ của phát xạ cụ thể.

(IEV 161-06-12).

### 3.5

#### **Độ nhạy dẫn** (conducted susceptibility)

Tính nhạy của hệ thống với các tín hiệu dẫn trên các cáp nối với hệ thống.

### 3.6

#### **Ghép nối** (coupling)

Sự tương tác của các trường điện từ với hệ thống để sinh ra dòng điện và điện áp trên bề mặt hệ thống và cáp.

### 3.7

#### **Sự xâm nhập có chủ ý** (deliberate penetration)

Lỗ được tạo ra một cách có chủ ý trên màn chắn điện từ tạo thành tuyến dẫn để truyền các tín hiệu dự kiến vào hoặc ra khỏi vùng được che chắn. Đây cũng có thể là lỗ được làm một cách có chủ ý để cho năng lượng, nước, lực cơ học hoặc thậm chí cả con người đi từ ngoài vào hoặc ngược lại.

### 3.8

#### **Nhiều** (disturbance)

Xem định nghĩa nhiễu điện từ.

### 3.9

#### **Tấm chắn (màn chắn) điện từ** (electromagnetic barrier (shield))

Bề mặt được bọc kín về mặt không gian nhằm ngăn ngừa hoặc hạn chế các trường EM và các quá độ dẫn đi vào không gian bọc kín này. Tấm chắn có bề mặt màn chắn và các cổng vào và bao bọc thể tích cần bảo vệ.

### 3.10

#### **Nhiều điện từ** (electromagnetic disturbance)

Hiện tượng điện từ bất kỳ có thể làm suy giảm tính năng của cơ cấu, thiết bị hoặc hệ thống.

(IEV 161-01-05, có sửa đổi)

### 3.11

#### **Nhiễm nhiễu điện từ** (electromagnetic interference)

##### **EMI**

Sự suy giảm tính năng của cơ cấu, kênh truyền dẫn hoặc hệ thống do nhiễu điện từ.

CHÚ THÍCH: Nhiều là nguyên nhân còn nhiễm nhiễu là kết quả.

(IEV 161-01-06, có sửa đổi)

**3.12**

**Ứng suất điện từ (electromagnetic stress)**

Điện áp, dòng điện hoặc trường điện từ tác động lên thiết bị. Nếu ứng suất điện từ vượt quá ngưỡng xung yếu của thiết bị thì có thể xảy ra hỏng hoặc xáo trộn việc thực hiện chức năng. Ứng suất có thể được mô tả bằng các đặc trưng như biên độ đỉnh, thời gian tăng, độ rộng xung hoặc xung.

**3.13**

**Tính nhạy điện từ (electromagnetic susceptibility)**

Tính dễ bị suy giảm tính năng của cơ cấu, thiết bị hoặc hệ thống khi làm việc trong môi trường có nhiều điện từ.

CHÚ THÍCH: Có tính nhạy tức là thiếu khả năng miễn nhiễm.

(161-01-21)

**3.14**

**Môi trường (environment)**

Trường điện từ phát sinh từ nguồn bên ngoài gây kích thích hệ thống, và có thể gây hỏng, xáo trộn hoặc mất chức năng.

**3.15**

**Mức hỏng (failure level)**

Mức qui định về biên độ (hoặc thuộc tính dạng sóng khác) của trường điện từ hoặc dòng điện (điện áp) cảm ứng mà khi mức này đặt vào linh kiện hoặc hệ thống điện, gây hỏng bên trong thiết bị.

**3.16**

**Xung điện từ ở độ cao lớn so với mực nước biển (high altitude electromagnetic pulse)**

**HEMP**

Xung điện từ tạo ra do nổ hạt nhân bên ngoài tầng khí quyển trái đất.

CHÚ THÍCH: Điểm hình là cao hơn mực nước biển 30 km.

**3.17**

**Điện từ công suất lớn (high power electromagnetics)**

**HPEM**

Lĩnh vực hoặc công nghệ phổ biến liên quan đến việc tạo ra trường điện từ bức xạ hoặc điện áp và dòng điện dẫn cường độ mạnh có khả năng gây hỏng hoặc làm xáo trộn hệ thống điện tử. Nhìn chung các nhiễu này vượt quá các nhiễu sinh ra trong các điều kiện bình thường (ví dụ 100 V/m và 100 V).

**3.18****Sóng cực ngắn công suất lớn** (high power microwaves)**HPM**

Tập hợp con của môi trường HPEM, thường gồm tín hiệu băng hẹp có công suất đỉnh dạng xung tại nguồn cao hơn 100 MW.

CHÚ THÍCH: Đây là định nghĩa đã cũ, tùy thuộc vào độ lớn của nguồn. Mối quan tâm trong tiêu chuẩn này chủ yếu là trường EM tác động lên hệ thống điện tử.

**3.19****Miễn nhiễm (đối với nhiễu)** (immunity (to a disturbance))

Khả năng của cơ cấu, thiết bị hoặc hệ thống làm việc trong môi trường có nhiễu điện từ mà tính năng không bị suy giảm.

(161-01-20)

**3.20****Mức miễn nhiễm** (immunity level)

Mức lớn nhất của nhiễu điện từ cho trước, tác động tới cơ cấu, thiết bị hoặc hệ thống cụ thể, nhưng vẫn duy trì được khả năng làm việc ở mức tính năng yêu cầu.

(161-03-14)

**3.21****Sự xâm nhập EM không chủ ý** (inadvertent [EM] penetration)

Lỗi hở, được tạo ra một cách không chủ ý, có thể tạo thành tuyến dẫn để năng lượng điện từ xuyên qua màn chắn điện từ. Hầu hết các xâm nhập không chủ ý đều không mong muốn. Điển hình, việc rò rỉ qua vật liệu dẫn không hoàn hảo được coi là xâm nhập không chủ ý.

**3.22****Nhiễm nhiễu điện từ có chủ ý** (intentional electromagnetic interference)**IEMI**

Việc phát năng lượng điện từ gây hại có chủ ý, đưa vào hệ thống điện và điện tử các tạp hoặc tín hiệu, từ đó làm phá vỡ, xáo trộn hoặc làm hỏng các hệ thống này vì mục đích khủng bố hoặc tội phạm.

**3.23****Sơ đồ trình tự tương tác** (interaction sequence diagram)**ISD**

Mô tả bằng hình vẽ các tuyến mà trường EM có khả năng xâm nhập xuyên qua một trong nhiều màn chắn bao quanh hệ thống hoặc thiết bị.

### 3.24

#### **Băng hẹp** (narrowband)

Tín hiệu hoặc dạng sóng có pbw (được định nghĩa trong 3.27) < 1% hoặc tỷ số băng tần (được định nghĩa trong 3.2) < 1,01.

### 3.25

#### **Xung điện từ hạt nhân** (nuclear electromagnetic pulse)

##### **NEMP**

Tất cả các loại trường điện từ được tạo ra do nổ hạt nhân.

### 3.26

#### **Xâm nhập** (penetration)

Việc truyền năng lượng điện từ từ thể tích này sang thể tích khác qua tấm chắn điện từ. Điều này cũng có thể xảy ra theo cách truyền trường điện từ qua tấm chắn, theo cách rò trường qua lỗ hở và bằng dòng điện chạy qua các dây dẫn nối giữa hai thể tích (dây, cáp, ống dẫn, ống cứng, ống mềm, v.v...).

### 3.27

#### **Phần trăm độ rộng băng tần** (percentage bandwidth)

##### **pbw**

Độ rộng băng tần của dạng sóng, được biểu diễn dưới dạng phần trăm của tần số trung tâm của dạng sóng đó.

CHÚ THÍCH: pbw có giá trị lớn nhất là 200 % khi tần số trung tâm bằng trung bình của tần số cao và tần số thấp; pbw không áp dụng cho các tín hiệu có thành phần một chiều lớn (ví dụ HEMP), mà với các tín hiệu này sử dụng tỷ số băng tần để các.

### 3.28

#### **Điểm/cổng vào** (point/port-of-entry)

##### **PoE**

Vị trí vật lý (điểm/cổng) trên tấm chắn điện từ, tại đó năng lượng điện từ có thể đi vào hoặc đi ra khỏi thể tích không gian, trừ khi có đủ thiết bị bảo vệ PoE.

CHÚ THÍCH 1: PoE không bị hạn chế bởi điểm hình học.

CHÚ THÍCH 2: PoE được phân loại thành PoE lỗ hở hoặc PoE dây dẫn, tùy theo loại xâm nhập. Chúng cũng được phân loại thành PoE kiến trúc, PoE cơ khí, PoE kết cấu hoặc PoE điện, theo chức năng của chúng.

### 3.29

#### **Tính nhạy bức xạ** (radiated susceptibility)

Tính nhạy của hệ thống với trường điện từ bức xạ.

**3.30****Thanh tăng cường (Rebar)**

Cụm từ giống như những thanh thép tăng cường được đặt trong khối bê tông để nâng cao tính toàn vẹn của kết cấu.

**3.31****Tạo màn chắn (shielding)**

Việc làm để làm giảm độ lớn của trường điện hoặc trường từ nhờ vật dẫn điện tốt ví dụ như thép tấm, mạch vòng bằng các thanh tăng cường, ống dẫn, v.v... Màn chắn cũng thường được hiểu là vỏ bọc để tạo ra việc giảm này.

**3.32****Xung ngắn (short pulse)****SP**

Tín hiệu gián đoạn có thời gian tăng và độ rộng xung được đo bằng pico giây và nano giây.

**3.33****Thiết bị bảo vệ chống đột biến (surge protection device)****SPD**

Thiết bị làm triệt tiêu quá điện áp và dòng điện trên đường dây, ví dụ như bộ chống đột biến được định nghĩa trong IEC 61024-1.

**3.34****Hệ thống (system)**

- (a) Tập hợp các hệ thống con, cụm lắp ráp và/hoặc các thành phần mà chức năng của chúng kết hợp chặt chẽ với nhau để thực hiện nhiệm vụ cơ bản;
- (b) Tập hợp các thiết bị, hệ thống con, người có kỹ năng và các kỹ thuật có khả năng thực hiện hoặc hỗ trợ vai trò hoạt động xác định. Hệ thống hoàn chỉnh bao gồm các phương tiện, thiết bị, hệ thống con, vật liệu, dịch vụ và con người cần thiết để hệ thống hoạt động ở mức độ sao cho bản thân hệ thống có thể được coi là đủ trong môi trường làm việc hoặc hỗ trợ của nó.

**3.35****Khống chế không gian (topological control)**

Duy trì màn chắn điện từ khép kín xung quanh hệ thống hoặc thiết bị để giảm môi trường điện từ bên trong và từ đó cung cấp bảo vệ cho thiết bị.

### 3.36

#### Băng siêu rộng (ultrawideband)

Tín hiệu hoặc dạng sóng có giá trị pbw từ 163,4 % đến 200 % hoặc tỷ số băng tần > 10 (còn được gọi là tín hiệu băng siêu rộng).

## 4 Tổng quan

Hơn 25 năm qua đã có sự tiến bộ đáng kể trong việc hiểu và giảm nhẹ các ảnh hưởng của trường xung điện từ ở độ cao lớn so với mực nước biển (HEMP) lên hệ thống và thiết bị điện. Bắt đầu từ các tài liệu trước đây về đặc tính của HEMP [1], [2] và tiếp tục với công việc của Ban kỹ thuật IEC gần đây về việc xây dựng các tiêu chuẩn để bảo vệ HEMP [3], đã có các hướng dẫn rõ ràng về phương pháp bảo vệ và các thiết kế để bảo vệ các hệ thống này [4]. Gần đây, hướng dẫn bảo vệ HEMP này được đưa vào cấu trúc của các phương tiện giảm nhẹ [5, 6] và đã xây dựng các phương tiện và qui trình thử nghiệm đối với môi trường HEMP.

Gần đây các môi trường EM khác đã phát triển và được thừa nhận, gồm môi trường băng siêu rộng (UWB), môi trường xung ngắn (SP) [7] và môi trường băng hẹp, sóng cực ngắn công suất lớn (HPM), mà tất cả các môi trường này đều có phổ tần làm việc mở rộng trên vài GHz [8]. Các tín hiệu này, cùng với dòng điện và điện áp dẫn công suất lớn, được gọi là môi trường “điện từ công suất cao” (HPEM). Kết hợp với thực tế là các mạch điện và hệ thống điện hiện đại có sử dụng các thiết bị kỹ thuật số trong thiết kế của chúng, hiển nhiên thấy rằng chúng ta cần mở rộng hiểu biết của mình về khái niệm bảo vệ hệ thống để tính đến cả các môi trường HPEM mới này.

Để phân tích các ảnh hưởng của HPEM lên hệ thống, một phương pháp phân tích khá tốt đã được triển khai. Phương pháp này gồm các bước sau: 1) định nghĩa về không gian điện từ của hệ thống; 2) xác định bộ thu năng lượng điện từ; 3) nhận diện vị trí “giao diện” của thiết bị nhạy; 4) tính toán ứng suất điện từ tại (các) phần tử giao diện; 5) xác định mức độ hỏng hóc tại giao diện; và 6) so sánh mức độ ứng suất/hỏng hóc để ước lượng tính dễ bị tác động của hệ thống. Đối với các hệ thống hiện đại phải chịu kích thích của HPEM, phương pháp phân tích tương tự cần được xây dựng và thử nghiệm. Cụ thể, cần đề cập đến những vấn đề sau:

- sửa đổi khái niệm phân tích không gian để tính đến các ảnh hưởng của tần số cao và kích thước trường phân bố;
- mở rộng mô hình tương tác điện từ (ví dụ ghép nối, xâm nhập và lan truyền) đến các tần số cao hơn (thời gian tăng nhanh hơn) của ứng suất HPEM;
- xây dựng những kiến thức tốt hơn về đáp ứng của các linh kiện và hệ thống chịu các ứng suất điện từ, kể cả cơ chế hỏng hóc của các linh kiện riêng rẽ và xáo trộn, phá vỡ hoặc làm hỏng hệ thống.

Tương tự, phương pháp thử nghiệm dùng cho HEMP cũng đã được thiết lập. Tuy nhiên, các phương pháp này không thể áp dụng trực tiếp để thử nghiệm ở mức hệ thống cho các hệ thống hiện đại. Đây

không chỉ có vấn đề về cách tạo ra môi trường thử nghiệm HPEM “tiêu chuẩn” và đại diện mà còn thiếu các qui trình thử nghiệm. Hệ thống có thể có các trạng thái khác nhau tùy thuộc vào hoạt động bên trong của nó và đáp ứng của hệ thống với các tác nhân EM bên ngoài có thể phụ thuộc vào “các trạng thái ban đầu” của hệ thống. Hơn nữa, trong thử nghiệm HEMP hiện hành, thường không có khống chế phần mềm đặc trưng hoặc phương thức thay đổi cho các thiết bị thử nghiệm, vì chỉ phần cứng mới được coi là quan trọng thực sự. Đối với các hệ thống này, phần mềm làm việc của hệ thống thường được thay đổi và chỉnh sửa để thử nghiệm, dẫn đến các đặc tính thực sự của hệ thống có thể không đại diện cho hệ thống cần thử nghiệm.

Do đó, phải xây dựng giao thức thử nghiệm thích hợp cho các hệ thống với nguyên tắc có thể áp dụng linh hoạt phần mềm.

#### 4.1 Kinh nghiệm trước đây về các ảnh hưởng HPEM lên hệ thống

Trước đây, có một số trường hợp được ghi lại trong đó môi trường EM có các ảnh hưởng không mong muốn lên hệ thống – đôi khi có những hậu quả nghiêm trọng. Một báo cáo của NASA [9] đã khảo sát nhiều trường hợp EMI này và một số trường hợp được nêu tóm tắt dưới đây.

Theo ghi chép trong quá khứ, hỏng hệ thống không chỉ giới hạn ở các thiết bị hiện đại mà vào năm 1967, USS Forrestal đã liên quan đến một trường hợp EMI có lẽ là xấu nhất từng được ghi lại. Theo [9],

“Vào năm 1967, ngoài khơi bờ biển Việt Nam, máy bay phản lực của Hải quân hạ cánh xuống tàu chở máy bay USS Forrestal đã làm nhả đạn không theo lệnh, bắn vào máy bay chiến đấu chứa đầy nhiên liệu và được trang bị đầy đủ vũ khí nằm trên boong tàu. Kết quả là gây nổ, 134 thủy thủ chết và hỏng nghiêm trọng tàu sân bay và máy bay. Tai nạn này gây ra do máy bay hạ cánh bị chiếu bởi radar trên tàu sân bay, và EMI tạo ra đã gửi tín hiệu không mong muốn đến hệ thống vũ khí. Nghiên cứu cho thấy rằng việc suy giảm phần cuối che chắn bảo vệ trên máy bay đã để tần số radar can thiệp đến các hoạt động thường xuyên. Từ trường hợp này, cần xem xét lại các yêu cầu EMC ở mức hệ thống để tính đến các lưu ý đặc biệt đối với các cơ cấu bị nổ vì điện”.

Rắc rối cho hệ thống điều khiển bay trên máy bay chiến đấu F-16 cũng được ghi lại như sau:

“Một máy bay chiến đấu F-16 đã đâm xuống vùng lân cận trạm phát sóng radiô của VOA vì hệ thống điều khiển bay bằng điện tín nhạy với HIRF được truyền. Vì F-16 vốn không ổn định nên phi công phải dựa vào máy tính của máy bay để điều khiển máy bay. Do đó, nhiều máy bay F-16 đã được sửa đổi để ngăn ngừa các EMI loại này, gây ra do các qui định quân sự không đủ về hệ thống điện tử cụ thể. Lịch sử về trường hợp của F-16 này là một trong những động lực để Cơ quan quản lý hàng không thành lập chương trình chứng nhận HIRF”.

Một sự cố xảy ra gần đây liên quan đến máy bay trực thăng Blackhawk UH-60 bị ảnh hưởng bởi trạm phát sóng radiô ở gần:

“Năm 1987, chiếc máy bay trực thăng quân sự Blackhawk UH-60 của hãng Sikorsky trong khi đang bay qua tháp phát thanh quảng bá ở Tây Đức thì bộ phận giữ ổn định đã bị dịch chuyển

không theo lệnh. Cũng đã ghi lại những chỉ thị ánh sáng cảnh báo giả và các cảnh báo sai trong buồng lái. Các nghiên cứu và thử nghiệm sau đó cho thấy rằng hệ thống giữ ổn định đã bị ảnh hưởng bởi EMI từ trường bức xạ cường độ cao (HIRF). Blackhawk có hệ thống điều khiển bay thông thường được liên kết về cơ, có sự trợ giúp của hệ thống thủy lực. Tuy nhiên, hệ thống giữ ổn định sử dụng các tín hiệu kỹ thuật số được truyền đến (điều khiển chỉ bằng tín hiệu điện) để tự động điều chỉnh vị trí của nó so với các tham số điều khiển và tham số bay. Các tín hiệu kỹ thuật số này có độ nhạy cao với HIRF. Với những trực thăng được thiết kế ban đầu, quân đội đã không thường xuyên bay gần các trạm phát RF lớn. Tuy nhiên, phiên bản của Blackhawk dùng trong hải quân, Seahawk SB-60 không gặp phải những vấn đề EMI tương tự vì chúng được làm chắc chắn để chống lại EMI khắc nghiệt trên các con tàu hiện đại. Mặc dù Quân đội đã nhận thức được hàng trăm trạm phát sóng trên toàn thế giới có thể gây ra các sự cố và đã hướng dẫn phi công tuân thủ các khoảng cách thích hợp nhưng từ năm 1981 đến 1987 đã có 5 máy bay Blackhawk bị đâm và làm chết và bị thương toàn bộ phi hành đoàn. Trong mỗi vụ đâm này, máy bay đã bay quá gần các trạm phát radiô. Giải pháp dài hạn là tăng che chắn cho các thiết bị điện tử nhạy và cung cấp dự phòng một số cơ cấu điều khiển tự động tự phục hồi”

Các sự cố tương tự về EMI không chỉ giới hạn trong quân sự, vì đã có bằng chứng về một số trường hợp sau đây liên quan đến ô tô:

“Trong những năm đầu sử dụng hệ thống phanh chống bó cứng (ABS), các ô tô có trang bị ABS đều có vấn đề nghiêm trọng khi phanh trên các quãng đường nhất định trên xa lộ ở Đức. Phanh bị ảnh hưởng bởi các trạm phát sóng radiô ở gần nếu lái xe đạp phanh ở các đoạn cong của xa lộ. Giải pháp nhanh nhất là lắp lưới chắn dọc theo đường cao tốc làm suy giảm EMI. Điều này cho phép phanh thực hiện đúng chức năng khi lái xe sử dụng chúng.”

Khu vực chăm sóc y tế cũng bị ảnh hưởng bởi EMI, được ghi lại như dưới đây:

“Độ nhạy của thiết bị y tế với phát xạ dẫn hoặc phát bức xạ là vấn đề đáng quan tâm (trong các máy theo dõi tim/khử rung tim trong xe cứu thương). Trong trường hợp này, một nạn nhân 93 tuổi bị đau tim được đưa vào bệnh viện và kỹ thuật viên y tế gắn máy theo dõi/khử rung tim vào bệnh nhân. Vì máy không hoạt động nên kỹ thuật viên đã bật bộ đàm để yêu cầu chỉ dẫn y tế, và bệnh nhân đã chết. Điều tra cho thấy rằng máy theo dõi/khử rung tim đã bị phơi nhiễm với các phát xạ bức xạ cao khác thường vì trần xe cứu thương dùng sợi thủy tinh thay cho kim loại trước kia và có lắp anten phát sóng radiô dải rộng. Việc giảm các che chắn bảo vệ kết hợp với tín hiệu radiô bức xạ mạnh đã gây ra EMI cho các máy móc thực hiện chức năng trợ giúp sự sống.”

Các trường hợp trường HPEM ảnh hưởng đến hệ thống điện là hậu quả không chủ ý của việc thiết kế hệ thống không tốt, trường EM lớn bất thường hoặc cả hai. Tuy nhiên, có thể hình dung được việc sử dụng các nguồn HPEM sẽ gây xáo trộn hoặc hỏng hóc trong hệ thống. Các sự cố này cũng có thể xuất hiện trong quân đội, nơi môi trường HPEM có thể hướng trực tiếp đến tên lửa, máy bay hoặc hệ thống khác có chứa các linh kiện điện tử nhạy. Tương tự, khái niệm tấn công này cũng có thể được tin tặc, khủng bố



hoặc các tổ chức tương tự sử dụng chống lại khu dân cư, mà ở đó chúng được gọi là “khủng bố bằng EM” [10], [11] hoặc gần đây được gọi là nhiễm nhiễu điện từ có chủ ý (IEMI).

Các khả năng xảy ra này là chủ đề về phần kỹ thuật trong các hội nghị chuyên đề khoa học gần đây [12], [13], [14] và [15], và tiếp tục được thảo luận trong các ấn phẩm phổ biến [16], [17]. Mặc dù có một số tính toán chưa được xác nhận về các trường hợp sử dụng vũ khí (EM) này chống lại khu dân cư và hệ thống quân sự [18], [19] nhưng những bằng chứng rõ ràng, thuyết phục và được ghi thành văn bản về môi trường HPEM này vẫn có khó nắm bắt.

Mặc dù vẫn chưa có đủ các bằng chứng chắc chắn về liên kết giữa việc sử dụng các nguồn HPEM với việc tấn công khu dân cư nhưng một số chính phủ vẫn tiếp tục các chương trình nghiên cứu để đánh giá các ảnh hưởng có thể có của môi trường HPEM lên các hệ thống và cơ sở hạ tầng. Ví dụ, đã có một chương trình nghiên cứu ở Thụy Điển [20]. Ngoài ra khả năng sử dụng vũ khí tần số radiô (RF) cũng được đề cập gần đây trong Quốc hội Hoa kỳ [21].

Để biết thêm thông tin liên quan đến việc sử dụng có chủ ý các môi trường HPEM, xem thêm các ấn phẩm đặc biệt đề cập đến EMI có chủ ý (IEMI) của văn kiện IEEE về tương thích điện từ [50].

#### 4.2 Các kỹ thuật chung bảo vệ khỏi EM dùng cho khu dân cư

Công việc quan trọng đã được thực hiện để phát triển khái niệm bảo vệ cho cả hệ thống quân sự và khu dân cư chống lại môi trường xung điện từ hạt nhân ở độ cao lớn so với mực nước biển (HEMP) [22]. Biện pháp bảo vệ gồm che chắn toàn bộ (ví dụ không chế không gian hệ thống [23]), lắp các bộ lọc và bảo vệ chống đột biến trên các đường dây cấp điện vào và đường dây tín hiệu [24], và bảo vệ các thiết bị riêng rẽ có thể đặc biệt nhạy với môi trường HEMP [25], [26].

Phần lớn nghiên cứu HEMP trước kia đã được áp dụng trực tiếp để bảo vệ các hệ thống điện và phương tiện dùng điện chống lại môi trường HPEM tần số cao hơn. Như trong trường hợp HEMP, các tuyến ghép nối quan trọng nhất đối với ứng suất HPEM bên ngoài là những đường dây dài đi vào bên trong hệ thống. Tuy nhiên, do có thành phần tần số cao hơn trong môi trường HPEM nên các tín hiệu sinh ra trong các đường dây này thường có độ suy giảm theo khoảng cách lớn hơn tín hiệu do HEMP gây ra. Do đó, trong một số trường hợp, các yêu cầu đặt lên các phần tử bảo vệ đối với các tín hiệu HPEM chống lại sự xâm nhập EM “có chủ ý” vào hệ thống có thể không khác nghiệt bằng đối với HEMP.

Tuy nhiên, đối với môi trường HPEM, còn có những sự xâm nhập khác cần quan tâm. Chúng được gọi là xâm nhập “không chủ ý”<sup>1)</sup> thường xuất hiện khi trường EM xâm nhập qua những vị trí không hoàn hảo của màn chắn hệ thống. Điển hình, khi tần số của môi trường EM bên ngoài tăng lên, hiệu quả xâm nhập của các trường cũng tăng lên thông qua các tuyến dẫn không chủ ý (không mong muốn) này, và

<sup>1)</sup> Thuật ngữ xâm nhập “cửa trước” và xâm nhập “cửa sau” thường được sử dụng để mô tả cách mà năng lượng EM có thể xâm nhập vào hệ thống. Đây là những thuật ngữ mô tả theo cách không kỹ thuật, và trong tiêu chuẩn này chúng ta chọn định nghĩa cơ chế xâm nhập EM tương ứng là “chủ ý” và “không chủ ý”, vì các thuật ngữ này đặc trưng đầy đủ hơn về nguyên nhân mà năng lượng HPEM bên ngoài có thể xâm nhập vào hệ thống.

phần bên trong hệ thống có thể bị tác động mạnh hơn. Việc cải thiện che chắn toàn bộ (không gian) của hệ thống đang xét sẽ giúp giảm thiểu vấn đề này.

Vì có rất nhiều hệ thống điện tử cần quan tâm là hệ thống kỹ thuật số nên có chiều hướng bổ sung cho các hiện tượng tương tác trường HPEM. Vì môi trường HPEM có tính lặp lại nên xung chu kỳ của ứng suất điện lên hệ thống có thể gây cản trở lên chu kỳ đồng hồ trong mạch kỹ thuật số. Do đó, có thể có sự xáo trộn hệ thống ở một số tốc độ xung tới hạn nhất định – mặc dù mật độ trường EM thấp hơn ngưỡng gây hỏng vĩnh viễn linh kiện. Điều này thừa nhận rằng khái niệm bảo vệ khỏi EM bổ sung là thiết kế cẩn thận trong các thiết bị điện tử số để không bị hỏng do sự can thiệp có chu kỳ này. Cách tiếp cận này thường được gọi là “sự phá vỡ” trong cộng đồng HEMP.

Thông tin chi tiết và các quy định kỹ thuật của khái niệm bảo vệ HPEM khuyến cáo cùng việc sử dụng chúng sẽ được đề cập trong các tiêu chuẩn khác của bộ tiêu chuẩn này.

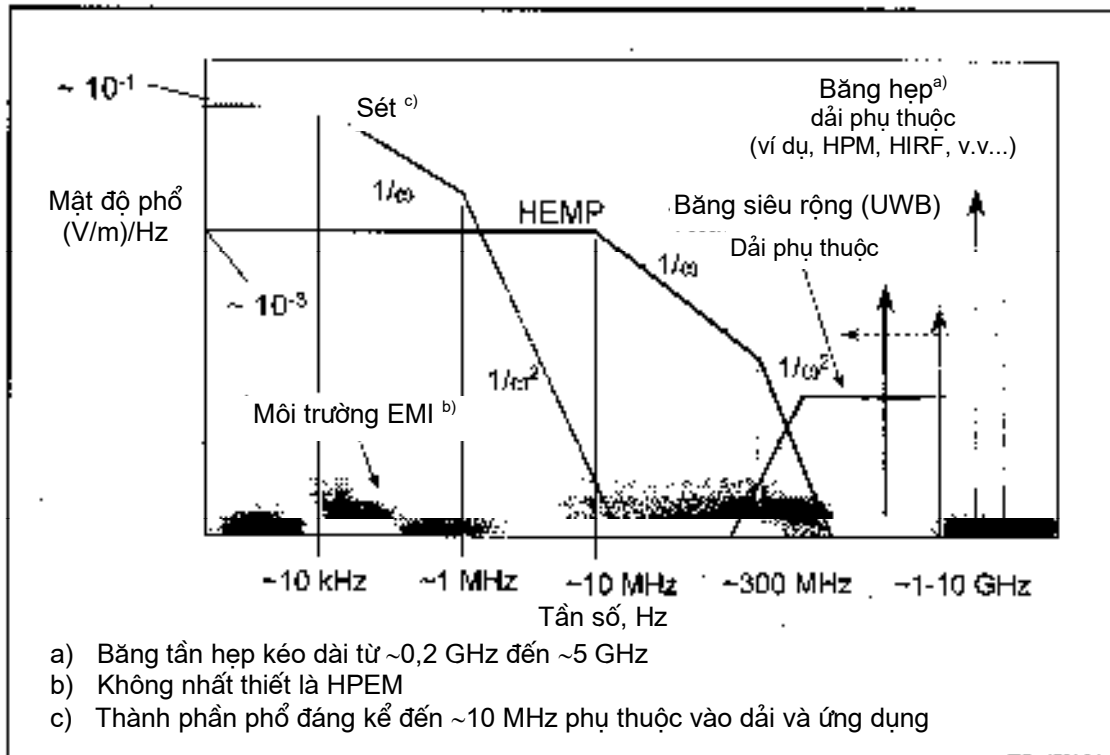
## **5 Phân loại môi trường HPEM**

HPEM là thuật ngữ được sử dụng để chỉ môi trường điện từ do con người tạo ra có thể có ảnh hưởng đến hoạt động của các hệ thống điện. Nó có thể xuất hiện ở dạng sóng xung của năng lượng sóng cực ngắn, và trong dạng này, nó thường được đề cập đến như tín hiệu sóng cực ngắn công suất lớn (HPM). Ngoài ra, kích thích này cũng có thể xuất hiện dưới dạng xung băng rộng của năng lượng EM, thường được đề cập đến như xung băng siêu rộng (UWB). Thông thường năng lượng HPEM này truyền đến hệ thống dưới dạng trường điện từ tới.

Một cách để minh họa sự khác nhau giữa môi trường HPM và UWB là kiểm tra phổ trong miền tần số của chúng, được thể hiện định tính trên Hình 1. Hình vẽ này minh họa độ lớn của mật độ phổ đối với xung điện từ ở độ cao lớn so với mực nước biển (HEMP) và xung sét điển hình, cùng với các tín hiệu xung ngắn (SP) của HPM và UWB. Lưu ý rằng cả môi trường UWB và HPM đều quan trọng đối với các tần số lớn hơn khoảng 300 MHz. Bản chất băng rộng của môi trường UWB là rõ ràng và phổ HPM được nhận thấy là giống với các tín hiệu một tần số. Cần lưu ý rằng thành phần tần số UWB thường sẽ giảm 3 GHz - 5 GHz và “các mũi tên” băng hẹp trong Hình 1 nhằm thể hiện các giá trị lớn.

Cũng được thể hiện trên hình này là các chuỗi tín hiệu liên tục mức thấp được gọi là “môi trường EMI”, mà đại diện cho mức xung quanh của môi trường tạp điện từ do hoạt động của thiết bị điện ở gần hoặc máy phát EM ở xa, và nó có thể gây EMI trong thiết bị.

Hệ thống điện thường được bảo vệ chống lại một số mức độ nhiễu nhiễu để đạt được EMC theo tiêu chuẩn có thể áp dụng. Tuy nhiên trong hầu hết các trường hợp, các mức môi trường HPEM là cao hơn đáng kể so với các mức bảo vệ dân cư thông thường.



Chú ý là cả hai thang đo đều là thang logarit.

### Hình 1 – Minh họa thành phần phổ của các tín hiệu HPM và UWB cùng với các tín hiệu EM [8]

Khả năng tạo ra, bức xạ, ghép nối và hồng/xáo trộn của mỗi môi trường EM này có thể rất khác nhau; tuy nhiên, ảnh hưởng của chúng lên hệ thống điện có thể lại giống nhau – xáo trộn hoặc hồng về mặt vật lý của hệ thống.

Tùy thuộc vào thiết kế, nguồn sóng cực ngắn công suất lớn thường tạo ra dạng sóng xuất hiện như tín hiệu hình sin bị chẵn [27] như trên Hình 2. Các tần số từ 0,2 GHz đến 5 GHz là điển hình, với độ rộng xung kéo dài đến vài microgiây. Các đặc trưng quan trọng khác của loại tín hiệu này và ảnh hưởng của chúng lên hệ thống như dưới đây.

- Các xung dạng sóng có thể lặp lại; tần số xung có thể thay đổi theo thời gian và được điều biến.
  - Ghép nối lớn nhất xảy ra nếu được điều hướng để có cộng hưởng đáng kể trong chức năng truyền dẫn của hệ thống.
  - Hàng trăm chu kỳ hoặc xấp xỉ là cần thiết để có cộng hưởng.
  - Có khả năng gây can nhiễu qua các tuyến ghép nối và xâm nhập không chủ ý và thậm chí cả hồng học vĩnh viễn qua các tuyến xâm nhập có chủ ý.
- Nhiều hệ thống bị chiếu đến có độ nhạy cộng hưởng đáng kể ở tần số cụ thể.
  - Điều này đề xuất khả năng điều hướng nguồn để gây ảnh hưởng cụ thể lên hệ thống.

## TCVN 7909-1-5 : 2008

- Các nguồn dùng cho môi trường EM này thường là radar hoặc đèn phát sóng siêu cao, magnetron tương đối, đèn dao động catốt ảo hoặc super-reltron.

Kích thích xung UWB quá độ nhanh có khác nhau, trong đó nó tạo ra tần số và thành phần năng lượng trên dải rộng của tần số, và về mặt này thì nó tương tự với HEMP.

Đặc trưng quan trọng như sau.

- Thời gian tăng thường là khoảng 100 ps và độ rộng xung khoảng 1 ns.
  - Công suất và thành phần tần số chính nằm trên một phổ rất rộng, xấp xỉ phạm vi dải tần từ 0,2 GHz đến 5 GHz.
- Các xung có thể lặp lại.
  - Cộng hưởng của các hệ thống khác nhau có thể được kích thích đồng thời.
  - Tuy nhiên, năng lượng do xung đơn tạo ra lại được trải dài trên nhiều tần số.
  - Do đó mật độ công suất thấp hơn mật độ công suất của nguồn sóng cực ngắn công suất lớn.
- Khả năng gây nhiễm nhiễu từ các tuyến ghép nối không chủ ý xảy ra nhiều hơn hồng học vĩnh viễn.

Để hiểu biết thêm về các ảnh hưởng của hệ thống, có thể cần thực hiện phân tích hoặc thực hiện thí nghiệm trên hệ thống cần quan tâm. Điều này đòi hỏi phải có bản yêu cầu kỹ thuật của môi trường HPEM kích thích lên hệ thống cùng với những yêu cầu khác. Các khía cạnh quan trọng của môi trường này được đề cập thêm trong 5.1.

### 5.1 Môi trường HPEM bức xạ và môi trường HPEM dẫn

Như đã đề cập ở [3], ứng suất HEMP quá độ lên hệ thống có thể chia thành thành phần trường EM bức xạ và thành phần dòng điện dẫn. Cũng có thể thực hiện cách chia tương tự đối với môi trường HPEM. Môi trường bức xạ được qui định bởi cường độ trường điện (hoặc cũng có thể là cường độ trường từ), cùng với thông tin về đặc trưng dạng sóng của trường và sự phân cực, góc tới, phạm vi về không gian và vị trí chiếu xạ của hệ thống. Môi trường bức xạ này được qui định ở bên ngoài hệ thống như một trường HPEM tới.

Môi trường dẫn nhìn chung ở dạng sóng dòng điện hoặc dạng phổ trên một hoặc nhiều dây dẫn điện trong hệ thống đang xét. Thông thường, qui định này là tại điểm xâm nhập vào hệ thống, ở vị trí mà dây dẫn mang dòng điện được tạo ra từ bên ngoài có khả năng xâm nhập vào vỏ bao quanh hệ thống và đưa dòng điện vào bên trong.

### 5.2 Dạng sóng (CW) băng hẹp

Môi trường HPM bức xạ và/hoặc dẫn băng hẹp thường được biểu diễn trong miền thời gian bởi dạng sóng hình sin có điều chế. Một dạng sóng này là sóng hình sin có điều chế Gauss, được cho bởi biểu thức giải tích sau:

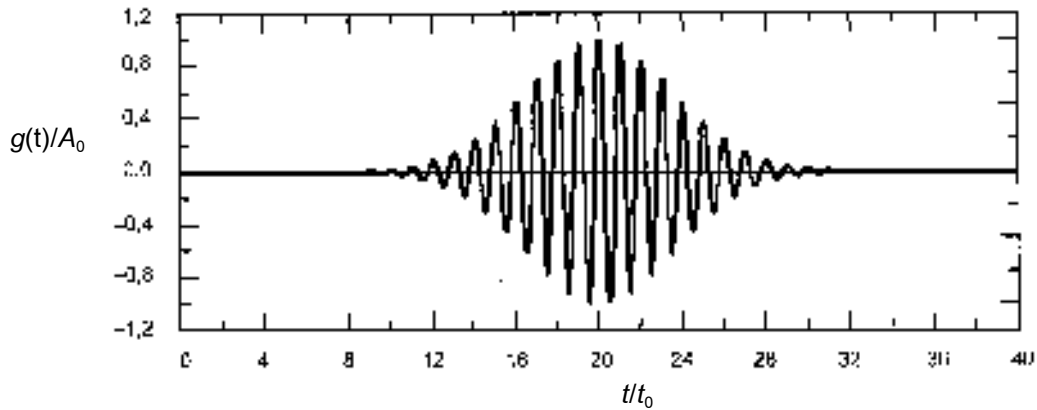
$$g(t) = A_o \cos(2\pi f_o (t - t_s)) e^{-\left(\frac{2(t-t_s)}{\alpha}\right)^2} \quad (1)$$

Dạng sóng  $g(t)$  này được xác định bởi các thông số sau:

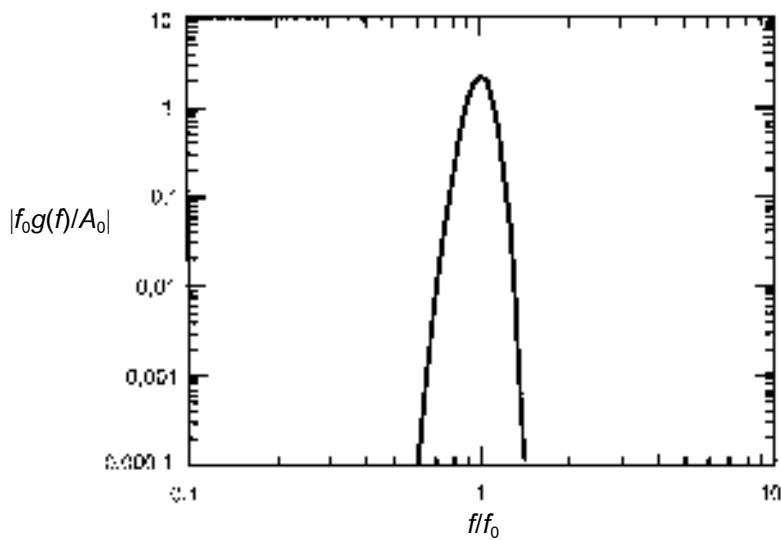
- $A_o$  là giá trị đỉnh của trường E quá độ (tính bằng đơn vị tương ứng)
- $f_o$  tần số của tín hiệu sóng mang (tính bằng Hz)
- $t_o$  thời gian của tín hiệu sóng mang (tính bằng giây) và bằng  $1/f_o$
- $t_s$  dịch chuyển thời gian bất kỳ của dạng sóng (tính bằng giây)
- $\alpha$  độ rộng hiệu quả của xung Gauss tính từ các điểm  $1/e$  (tính bằng giây)

Trên thực tế đã tìm thấy nhiều dạng đường bao khác nhau của dạng sóng này, tùy thuộc vào loại nguồn tạo ra trường bức xạ và vị trí quan sát dạng sóng trong hệ thống. Ví dụ, Hình 2a minh họa dạng sóng chuẩn hóa biên độ với tham số độ rộng Gauss  $\alpha = 10t_o$  và dịch chuyển thời gian  $t_s = 2\alpha$ , được vẽ là hàm của thời gian chuẩn hóa  $t/t_o$ .

Dạng sóng hình sin có điều chế ở Hình 2a vốn là băng hẹp. Độ lớn của phổ đối với dạng sóng này được minh họa trong Hình 2b. Dạng sóng này là ví dụ đơn giản về loại môi trường HPEM. Thông tin chi tiết hơn về môi trường HPEM và độ lớn mong muốn, tần số trung tâm, v.v... được cung cấp trong IEC 61000-2-13 [28].



Hình 2a – Dạng sóng quá độ



Hình 2b – Độ lớn của phổ

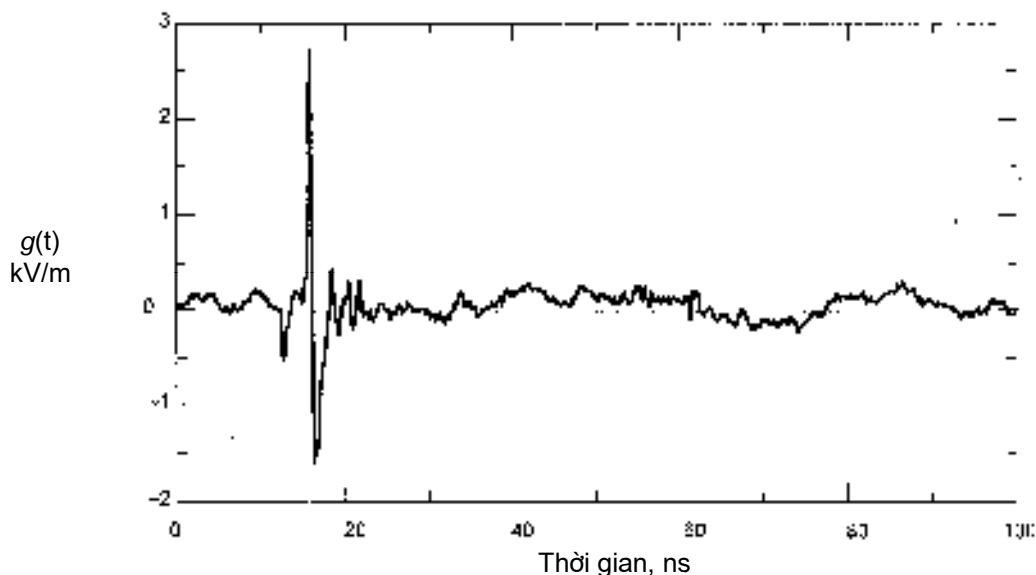
Hình 2a minh họa dạng sóng quá độ, còn Hình 2b là biên độ phổ chuẩn hóa.

**Hình 2 – Đồ thị của sóng sin được điều chế theo hàm Gauss chuẩn, biểu diễn một cách đơn giản dạng sóng HPEM bằng hẹp**

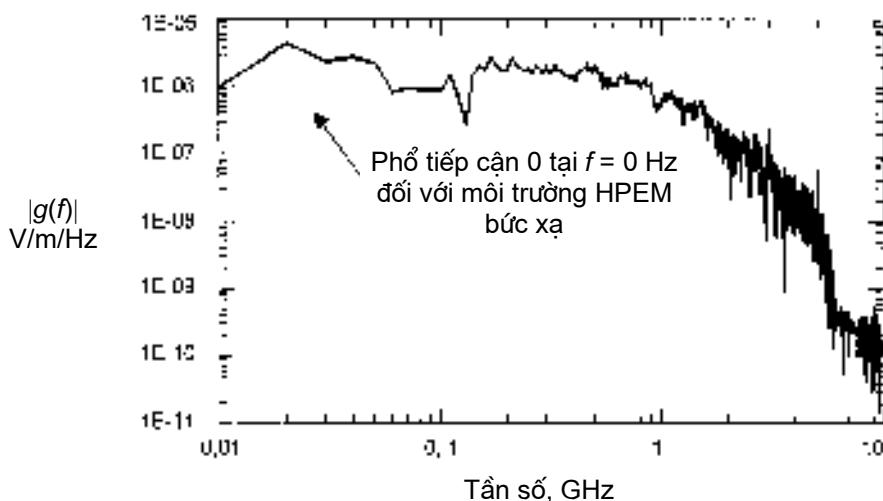
### 5.3 Môi trường quá độ xung ngắn/băng siêu rộng

Khả năng khác để kích thích HPEM là dạng tín hiệu quá độ băng siêu rộng (hoặc xung ngắn), như thể hiện trong Hình 3. Không giống như kích thích HPM bằng hẹp, dạng sóng này xuất hiện giống với xung lưỡng cực hơn, và do đó phân bố phổ của nó được thể hiện trên băng tần rất rộng.

Theo IEC 61000-2-13, có một số phân tích đơn giản có thể được sử dụng để biểu diễn các dạng sóng băng tần rộng này <sup>2)</sup>. Các dạng sóng này gồm xung Gauss và quá độ lũy thừa của hàm số mũ mà thường được sử dụng để mô hình hóa các trường từ vụ nổ hạt nhân ở độ cao lớn so với mực nước biển. Quá độ lũy thừa của hàm số mũ được thảo luận thêm trong tiêu chuẩn IEC 61000-2-9 [25].



Hình 3a – Dạng sóng quá độ



Hình 3b – Biên độ phổ

Hình 3 – Minh họa dạng sóng HPEM quá độ băng rộng cùng với biên độ phổ của nó

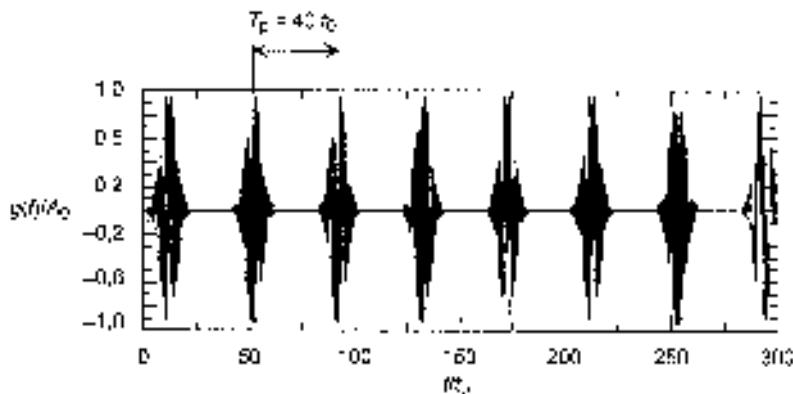
<sup>2)</sup> Đối với các trường HPEM bức xạ loại này, yêu cầu không được có thành phần một chiều trong phổ. Điều này ngụ ý là tích phân của vùng nằm bên dưới dạng sóng thể hiện trong Hình 3a) hoặc tích phân dạng sóng bất kỳ thể hiện môi trường này đều phải bằng “không”.

**5.4 Kích thích lặp lại**

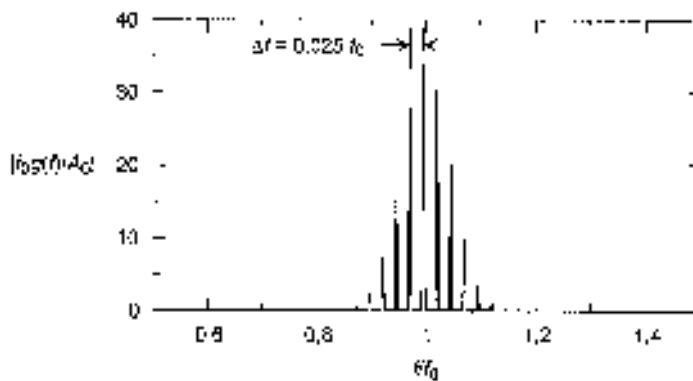
Các thảo luận trước đây giả thiết rằng dạng sóng HPEM là dạng sóng đơn – dạng sóng hình sin có điều chế hoặc một xung đơn băng rộng. Tuy nhiên, có thể hình dung ra sự lặp lại có chu kỳ của dạng sóng, ở dạng chuỗi xung như thể hiện trên Hình 4a. Trong hình này, dạng sóng trong Hình 2a với khoảng thời gian cơ bản  $t_0$ , được lặp lại theo chu kỳ, với thời gian giả thiết là  $T_p = 40t_0$ .

Loại dạng sóng này sẽ cung cấp thêm năng lượng cho hệ thống bị chiếu, và vì nó cho thấy rằng các ảnh hưởng gây rối loạn là hàm số của tốc độ lặp tín hiệu (từ tần số 100 Hz đến 1 000 Hz), nên loại môi trường HPEM này có thể gây ra một loại các vấn đề cho hệ thống. Do bản chất lặp của tín hiệu, phổ Furiê của dạng sóng cũng khác. Hình 4b minh họa biên độ phổ Furiê của chuỗi xung, và nhận thấy rằng phổ liên tục của xung dạng sóng đơn của Hình 2b được thay bằng phổ rời rạc, có các thành phần phổ xuất hiện trong các khoảng tần số chuẩn hóa là  $\Delta f = 0,025f_0$ . Nếu bản thân chuỗi xung không có thời gian xác định thì các hàm xung riêng rẽ trong phổ cũng trở thành hàm tần số rời rạc.

Rõ ràng là có thể có nhiều tham số khác nhau trong định nghĩa về dạng sóng HPEM. Yêu cầu chi tiết hơn về các môi trường này được nêu trong IEC 61000-2-13.



**Hình 4a – Dạng sóng quá độ**



**Hình 4b – Biên độ phổ**

**Hình 4 – Minh họa dạng sóng lặp của xung tương tự với xung ở Hình 2**



## 6 Ảnh hưởng của HPEM lên hệ thống

Giống như trong các lĩnh vực khác của công nghệ EMC, ảnh hưởng của HPEM lên hệ thống được phân loại thành nhạy với bức xạ và nhạy với dẫn.

Đối với loại nhạy với bức xạ, các trường HPEM được tạo ra từ bên ngoài lan truyền trong không khí và sẽ kết hợp trực tiếp với cáp và anten nối với các mảng thiết bị. Trường cũng lan truyền qua lỗ hở trên vỏ bọc và kết hợp với phần bên trong khi xảy ra hỏng hoặc xáo trộn hoạt động của hệ thống.

Nhiều điện (galvanic) cũng có thể được đưa vào trực tiếp, qua điện dung hoặc qua điện cảm lên cáp nguồn, cáp viễn thông hoặc cáp tín hiệu. Các nhiễu này có thể lan truyền cho đến khi chúng tới thiết bị nối với cáp. Cần lưu ý là chức năng truyền bằng dây và cáp có thể hạn chế sự lan truyền của thành phần tần số cao. Ví dụ, dây dẫn điện bên trong tòa nhà làm suy giảm đáng kể nhiễu trên vài megahéc. Các cáp khác (ví dụ cáp cáp 5) được thiết kế để làm việc ở các tần số cao hơn nhiễu (cỡ 1 GHz).

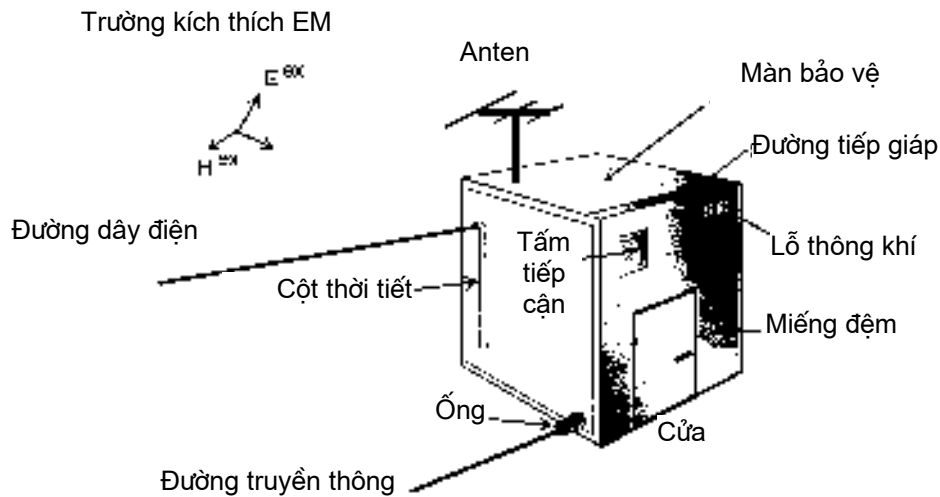
Điều 6 này xem xét chi tiết hơn các cơ chế kích thích hệ thống, cách có thể thể hiện hệ thống bằng cách sử dụng các khái niệm về không gian điện từ, và các ảnh hưởng khác nhau lên các hệ thống và linh kiện điện mà ứng suất HPEM này có thể có.

### 6.1 Thể hiện về mặt không gian của hệ thống

Khía cạnh quan trọng trong việc đánh giá các ảnh hưởng của trường HPEM lên hệ thống phức tạp là phải hiểu được cách kết hợp kích thích khi phân tích và cách thể hiện các tương tác điện từ trong các thành phần khác nhau của hệ thống. Việc mô tả các tấm chắn khác nhau trong phương tiện, cùng với các tuyến dẫn có thể có mà năng lượng EM có thể đi qua, tạo ra bản mô tả không gian điện từ của hệ thống. Khái niệm này được thảo luận trong IEC 61000-5-6. Cách tiếp cận này liên quan đến việc coi hệ thống là một tập hợp các tấm chắn (màn chắn) điện từ cản trở, ở một mức độ nhất định, hoặc tạo điều kiện thuận lợi để năng lượng HPEM truyền từ điểm này đến điểm khác. Các nguồn của trường HPEM có thể nằm bên ngoài hệ thống, như trong trường hợp sét, nhiễu nhiễu tần số radio, hoặc HEMP.

Trong thực tế không có tấm chắn EM kín hoàn toàn, và do đó, sẽ có một số lỗ hở mà năng lượng có thể truyền qua. Cường độ trường bên trong vỏ bọc bất kỳ sẽ nhỏ hơn cường độ trường bên ngoài, do sự suy giảm của vách dẫn và do chỉ có ít tuyến dẫn mà năng lượng có thể đi qua. Tuy nhiên, suy giảm này chỉ có chừng mực vì có những lỗ hở trong màn chắn và vật liệu màn chắn không hoàn hảo có thể cho phép trường EM khuếch tán qua các vách.

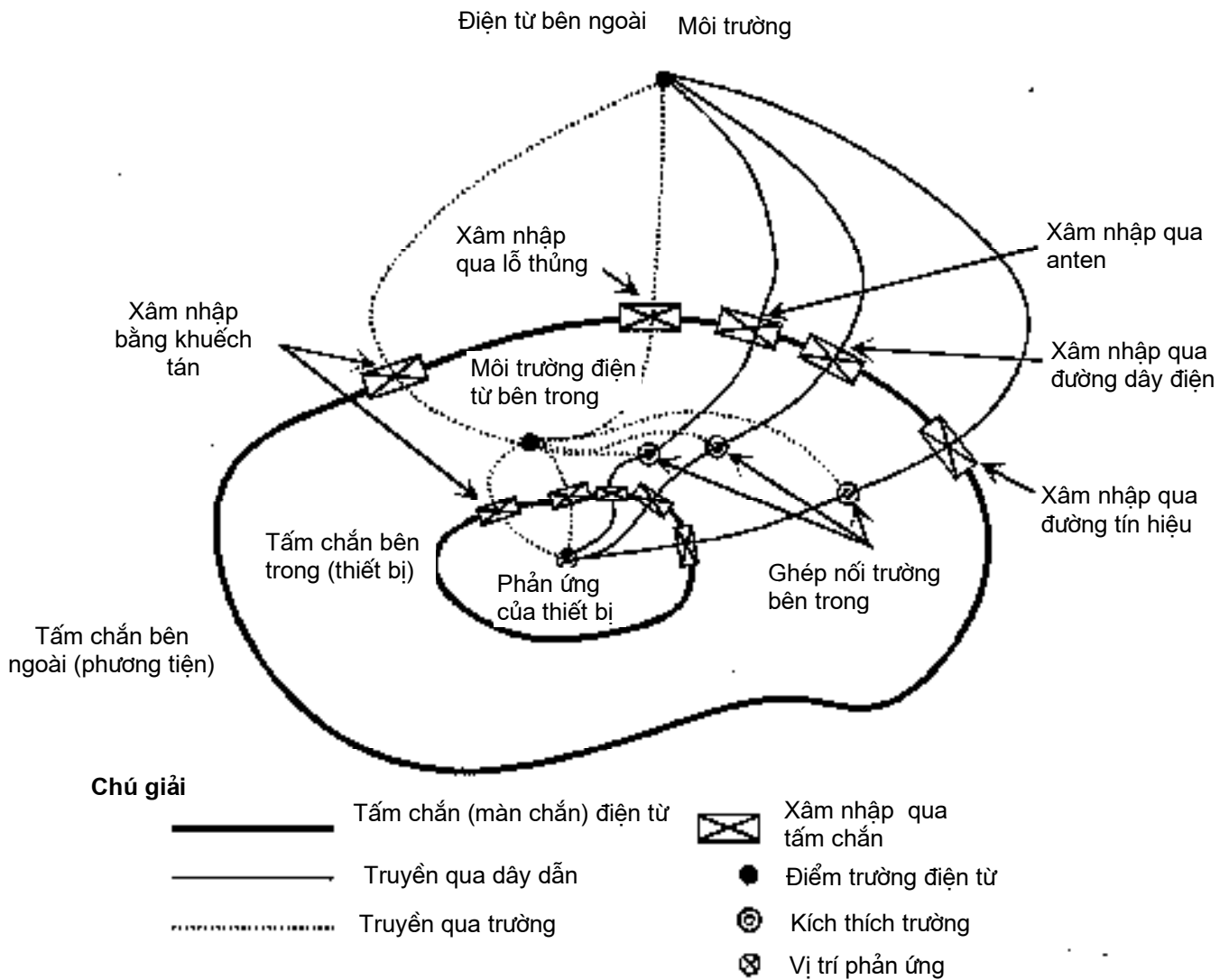
Hình 5 thể hiện một bản vẽ đơn giản về hệ thống có màn chắn được kích thích bởi trường điện từ bên ngoài. Rõ ràng có sự xâm nhập trường EM tại những vị trí riêng rẽ ở tấm chắn EM, ví dụ như tại đệm cửa, tại tấm tiếp cận, tại lỗ thông khí và tại chỗ nối và chỗ rách trên màn chắn. Ngoài ra, đường dây điện vào, có cách điện với vách màn chắn, cũng tạo ra tuyến dẫn, thông qua đó năng lượng từ môi trường bên ngoài có thể đi qua để vào các vùng bên trong phương tiện.



**Hình 5 – Minh họa đơn giản phương tiện giả định được kích thích bởi trường điện từ bên ngoài**

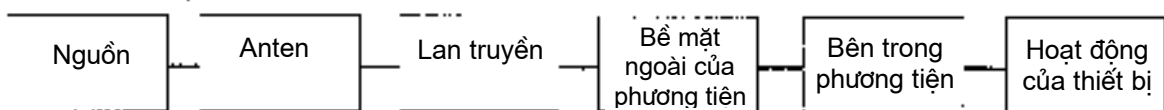
Thảo luận trên đây được thực hiện đối với một phương tiện có màn chắn. Tất nhiên không phải tất cả các phương tiện đều có màn chắn tốt: trên thực tế ở một số trường hợp như nhà bình thường, cơ sở kinh doanh hoặc trong ô tô có thể không cố ý tạo ra các màn chắn EM trong “hệ thống”. Tuy vậy, có thể có những màn chắn ngẫu nhiên dưới dạng thanh tăng cường hoặc xà rầm bằng thép trong kết cấu xây dựng và dưới dạng vỏ kim loại của ô tô, v.v... Ngoài ra, trong những phần khác, bảo vệ chống sét đối với đường điện hoặc đường tín hiệu vào có thể được tính đến. Trong tất cả các trường hợp như vậy và trong nhiều trường hợp khác, khái niệm không gian EM là công cụ hữu ích để xác định vùng “bảo vệ” trong đó ứng suất EM sinh ra nhỏ hơn ứng suất bên ngoài phương tiện.

Việc sử dụng khái niệm không gian EM là tương đối dễ. Hệ thống được coi là tập hợp một hoặc nhiều tấm chắn hoặc bề mặt EM, như thể hiện trên Hình 6. Liên kết các bề mặt này và tất cả các điểm xâm nhập đối với năng lượng EM được nhận dạng và phân loại. Xâm nhập dẫn là nghiêm trọng nhất, ví dụ như dây nguồn có cách điện đi qua lỗ trong vách dẫn, thường tạo ra các phản ứng bên trong lớn nhất. Nghiêm trọng tiếp sau là xâm nhập qua lỗ hở, và xâm nhập bằng khuếch tán là ít nghiêm trọng nhất. Cũng có một số cơ chế xâm nhập khác ví dụ thông qua (thông thường là ngoài băng) anten và các thiết bị khác, mà phải ghép nối với môi trường bên ngoài.



**Hình 6 – Biểu đồ không gian dùng cho hệ thống đơn giản thể hiện trên Hình 5**

Ảnh hưởng tổng thể có thể có của môi trường HPEM phát ra từ bên ngoài có thể ảnh hưởng lên hệ thống được xác định bằng biểu đồ trình tự tương tác. Biểu đồ này minh họa các khía cạnh khác nhau của việc tạo ra, lan truyền, tương tác và tác động lên hệ thống của tín hiệu EM. Đối với hệ thống giả định trong Hình 5, biểu đồ này được thể hiện dưới dạng cơ bản như Hình 7.



**Hình 7 – Biểu đồ trình tự tương tác chung đối với phương tiện trên Hình 5**

## 6.2 Ví dụ về ảnh hưởng HPEM lên hệ thống và linh kiện điện tử

Trong khi việc thể hiện hệ thống dưới dạng các khái niệm bằng mô hình không gian giúp hiểu được cách mà trường HPEM xâm nhập vào hệ thống và tác động lên các linh kiện điện bên trong thì lại khó sử dụng công cụ này để dự đoán chính xác các xáo trộn hoặc hỏng hóc. Điều này là do có độ không đảm bảo trong các cơ chế ghép nối, xâm nhập và lan truyền, và do độ không đảm bảo liên quan đến việc các linh kiện điện sẽ đáp ứng với ứng suất điện như thế nào. Tuy nhiên, lợi ích của các mô hình không gian này là ở chỗ nó cho phép thiết kế và thực hiện các thí nghiệm thích hợp để đánh giá các đáp tuyến của hệ thống với các ứng suất HPEM.

Trong khi các kết quả của nhiều chương trình thử nghiệm HPEM không được công khai, thì có một số kết quả thử nghiệm đã được công bố. LoVetri [29] mô tả cả các tính toán và phép đo FDTD nhằm mục đích phân tích sự xâm nhập và ghép nối năng lượng điện từ ở vỏ máy tính cá nhân (PC) thông thường. Các loại cấu hình khác nhau đã được nghiên cứu: bảng mạch chủ để lộ ra ngoài; có lắp vỏ case hoặc không lắp vỏ case. Mục đích của các nghiên cứu này nhằm hiểu biết tốt hơn về cơ chế ghép nối liên quan đến môi trường HPEM.

Kết quả thực nghiệm đáng chú ý, được ghi lại trong tài liệu viện dẫn này, gồm:

- a) việc ngắt máy tính chỉ xảy ra tại một số tần xuất nhất định;
- b) việc ngắt này chỉ xảy ra ở phân cực nhất định của sóng phẳng điện từ ở đầu vào; và
- c) việc ngắt luôn xảy ra ở dạng sự cố “treo”, tức là máy tính phải khởi động lại.

Cực tính và tần số phụ thuộc vào hiện tượng ghép nối cũng được LoVetri nghiên cứu, sử dụng mô hình trong miền thời gian giới hạn khác (FDTD).

Thí nghiệm về ghép nối HPEM với các PC được thực hiện trong các phòng âm, khi PC chịu phơi nhiễm với an ten loa từ khoảng cách 1 m và ở mức xấp xỉ 100 V/m. Thử nghiệm ba PC khác nhau ở các tần số, cường độ trường và điều biến sóng mang khác nhau. Kết quả của thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 1.

**Bảng 1 – Mô tả PC thử nghiệm, bố trí và ảnh hưởng (theo LoVetri [29])**

Kiểu PC	Tần số sóng mang GHz	Trường E V/m	Điều biến	Ảnh hưởng quan sát được
Pentium 133 MHz	2,731	30	CW	Mất dữ liệu
	2,770	50	AM	Mất dữ liệu
	1,133	50	AM, Xung	Khởi động lại
	2,675	50,75	AM, Xung	Không truy cập được
	2,887	75	AM	Không truy cập được
Pentium II 233 MHz	1,070	100	Xung	Lỗi ghi đĩa
	1,460	100	CW, AM, Xung	Tắt nguồn
	1,480	100	CW	Tắt nguồn
Pentium II 300 MHz	1,400	45	Xung	Tắt nguồn
		100	CW	Tắt nguồn
		100	AM	Tắt nguồn
		100	AM	Khởi động lại
		75	Xung	Tắt nguồn
		75	Xung	Tắt nguồn
		50	Xung	Tắt nguồn
		85	Xung	Tắt nguồn

AM: điều biên.

Trong các phép đo ở Bảng 1, nhận thấy rằng loại điều biến (CW, AM 80 % 1 kHz, xung có tần số lặp 217 Hz và 50 % chu kỳ làm việc) cũng là tham số quyết định trong các hạng mục quan sát được. Cả ba điều biến đều tạo ra các ảnh hưởng bất lợi lên PC. Các ảnh hưởng quan sát được bao gồm từ mất dữ liệu, khởi động lại (trong trường hợp PC tự khởi động lại) và lỗi ghi đĩa (thông báo từ hệ thống vận hành đĩa, trong trường hợp phải tắt nguồn bằng tay để phục hồi lại hệ thống) đến tắt nguồn, đòi hỏi phải rút và cắm lại phích cắm của dây nguồn. Trường điện nhỏ nhất gây ra ảnh hưởng bất lợi là 30 V/m. Dữ liệu về các ảnh hưởng này rất hữu ích để hiểu về hiện tượng ghép nối EM trong hệ thống điện tử.

Càng về sau các thiết bị càng được thiết kế tốt hơn, và do đó các mức xáo trộn điển hình đối với môi trường HPEM thường vào cỡ từ hàng chục đến hàng trăm V/m. Điều này có thể là do tốc độ xử lý cao hơn trong các thiết bị mới hơn và do các thiết bị này cần gắn với các yêu cầu EMC khác nhau đối với phát bức xạ khiến cho màn chắn thiết bị phải tốt hơn.

Một ví dụ thứ hai liên quan đến thử nghiệm tính nhạy HPEM của các PC trên ô tô và các thiết bị quân sự không có màn chắn bằng cách sử dụng các xung radar (điển hình là xung có độ rộng một hoặc một vài giây và tần số lặp xung khoảng 1 kHz) tại 1 GHz đến 3 GHz, Backstrom [30] đã ghi lại xáo trộn (đòi hỏi phải cài đặt lại hoặc khởi động lại các thiết bị trên ô tô) xuất hiện tại các cường độ trường cỡ vài trăm V/m (giá trị đỉnh hiệu dụng của cường độ trường), trong khi hồng học vĩnh viễn yêu cầu mức cao hơn 20 dB đến 30 dB.

Từ các kết quả này, có thể kết luận rằng xáo trộn có thể xuất hiện trong các hệ thống điện tử không được bảo vệ ở khoảng cách lớn nhất khoảng 500 m đối với nguồn HPM có thể được đặt trong xe tải. Đối với các nguồn có kích cỡ nhỏ hơn, ví dụ các nguồn có thể đặt trong xe thùng chuyên dụng, thì khoảng cách ước tính giảm xuống còn 50 m. Khoảng cách lớn nhất gây ra hỏng vật lý vĩnh viễn được ước tính khoảng 15 m đối với HPM có thể đặt trong xe tải, trong khi nguồn có thể đặt trong xe thùng chuyên dụng thì phải đặt rất gần, hoặc tiếp xúc trực tiếp với hệ thống. Bảng 2 tóm tắt các kết quả từ các thử nghiệm này.

**Bảng 2 - Ảnh hưởng HPEM lên ô tô là hàm của khoảng cách và công suất nguồn  
(Dựa vào dữ liệu đo được từ Backstrom [30])**

Nguồn	Khoảng cách m		
	15	50	500
HPM do xe tải chở $P = 10 \text{ MW}$	Hỏng vĩnh viễn	Xáo trộn <sup>b</sup>	Xáo trộn <sup>**</sup> )
HPM do xe thùng chuyên dụng chở <sup>a</sup> $P = 100 \text{ kW}$	Xáo trộn <sup>**</sup> )	Xáo trộn <sup>b</sup>	Không ảnh hưởng
HPM do xe tải chở $SE = 30 \text{ dB}$	Xáo trộn <sup>**</sup> )	Không ảnh hưởng	Không ảnh hưởng
HPM do xe thùng chuyên dụng chở $SE = 30 \text{ dB}$	Không ảnh hưởng	Không ảnh hưởng	Không ảnh hưởng

<sup>a</sup> Có thể gây ra hỏng vĩnh viễn khi đặt rất gần với vật bị ảnh hưởng (ví dụ ở khoảng cách vài mét)  
<sup>b</sup> Xáo trộn nhìn chung thường là mất chức năng tạm thời, tuy nhiên, trong một số trường hợp có thể sẽ có hỏng hóc vĩnh viễn.

Ví dụ thứ ba về ghép nối HPEM là việc chiếu xạ CW của nhiều thiết bị điện tử, ở tần số của lò vi sóng 2,4 GHz, được Giri và Kaelin ghi lại [8]. Trong thử nghiệm này, anten hình loa tiêu chuẩn được sử dụng để bức xạ ra năng lượng tạo ra từ lò vi sóng thương mại và chiếu đến một số vật thử nghiệm. Các vật thử nghiệm này được đặt cách nguồn khoảng 6 m và trường điện chiếu vào cỡ 350 V/m. Thử nghiệm này chứng tỏ những gì có thể làm được khi sử dụng các thiết bị bán sẵn.

Đối tượng bị phơi nhiễm trong các trường này gồm:

- máy thu thanh AM, FM;
- đồng hồ đeo tay vỏ nhựa;
- thiết bị kích nổ bằng điện (EED) cỡ nhỏ;
- máy tính tay;
- vật liệu hấp thụ;
- bóng đèn huỳnh quang.

Các ảnh hưởng quan sát được gồm:

- a) máy thu thanh bị hỏng do nhiệt;
- b) đồng hồ vỏ nhựa bị hỏng hoàn toàn;
- c) EED bị nổ khi dây dẫn tạo thành một lưỡng cực nửa sóng;
- d) máy tính bị hỏng, màn hình LCD bị cháy;
- e) gây tăng nhiệt độ ở vật liệu hấp thụ;
- f) làm sáng bóng đèn huỳnh quang.

Những ví dụ trên đây cho thấy rằng việc ghép năng lượng EM vào hệ thống điện tử là hàm số của một số tham số của môi trường tới cũng như của các đặc trưng riêng của bản thân hệ thống điện tử.

### 6.3 Linh kiện/hệ thống con bị cháy và hỏng vĩnh viễn

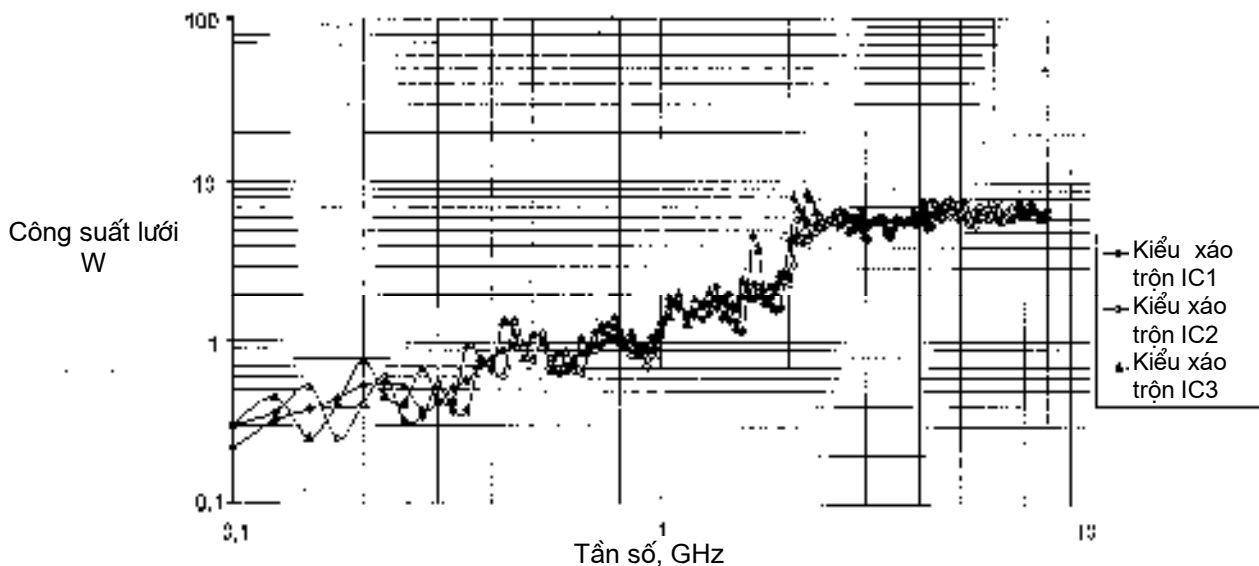
Có thể thấy các ảnh hưởng HPEM mô tả trong 6.2 có thể gây ra cháy (hỏng vĩnh viễn) thiết bị hoặc làm hỏng chức năng của thiết bị do xáo trộn logic. Điển hình, cháy thiết bị là ảnh hưởng dễ định lượng nhất, bằng cách sử dụng các chuẩn dạng sóng khác nhau để đặc trưng cho kích thích thiết bị hoặc linh kiện, và tương quan giữa các chuẩn này và hỏng hóc thiết bị (xem IEC 61000-5-3). Ví dụ, các chuẩn điển hình gồm biên độ đỉnh của tín hiệu đặt đến linh kiện, năng lượng tổng truyền đến linh kiện, v.v...

Từ năm 1970, đã có những nỗ lực đáng kể để hiểu và định lượng mức hỏng hóc và xáo trộn của các linh kiện do kích thích HPEM. Đã có lượng lớn các dữ liệu liên quan đến hỏng linh kiện do HPEM [1], và cũng có sẵn các kết quả của thử nghiệm mở rộng trên các hệ thống truyền thông, hệ thống và linh kiện điện [31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41 và 42].

Gần đây, một số thử nghiệm đã được thực hiện để đánh giá xáo trộn và hỏng hóc linh kiện, hệ thống con riêng rẽ (ví dụ PC nối với đường điện hoặc đường dây viễn thông), và để kiểm tra khả năng lan truyền của các quá độ hỏng tiềm ẩn trên cáp điện từ bên ngoài vào bên trong của tòa nhà. Kết quả này được thảo luận trong các điều nhỏ dưới đây.

#### 6.3.1 Hỏng linh kiện

Như đã lưu ý trước đây, môi trường HPEM bức xạ khác với trường HEMP bức xạ, và do đó, không phải tất cả các dữ liệu hỏng hóc linh kiện HEMP đều có thể áp dụng trực tiếp cho các nghiên cứu HPEM. Nghiên cứu gần đây của Goransson [43] về độ nhạy của HPEM lên các linh kiện đã kết luận rằng, liên quan đến độ nhạy HPM trên các mạch số, có thể có những khác biệt lớn về độ nhạy giữa các công nghệ mạch số khác nhau. Goransson cũng quan sát thấy những khác biệt nhỏ giữa những mẫu khác nhau của cùng một loại và cùng một nhà chế tạo; tuy nhiên cũng ghi lại được những khác biệt lên đến 16 dB trong mức nhạy của linh kiện đối với các nhà chế tạo khác nhau. Goransson cũng ghi nhận được sự phụ thuộc rất mạnh của tần số vào độ nhạy của linh kiện, với mức ngưỡng nhạy tăng nhanh khi tần số tăng. Ảnh hưởng này trong linh kiện của mạch TTL được minh họa trên Hình 8.



**Hình 8 – Ví dụ về ngưỡng nhảy đo được trong vi mạch DM74LS00N [TTL] 4 cổng NAND 2 đầu vào là hàm của tần số, thể hiện ngưỡng nhảy tăng tại các tần số cao hơn [43]**

Lưu ý rằng độ nhạy hệ thống có thể khác với độ nhạy của từng linh kiện riêng rẽ. Đối với hệ thống analog, mức nhạy HPM được Goransson nhận thấy là phụ thuộc vào ứng dụng. Tuy nhiên, thường có thể đạt được biện pháp độc lập với ứng dụng của ảnh hưởng HPM. Do đó có thể tính được mức nhạy đối với các ứng dụng khác nhau.

### 6.3.2 Ảnh hưởng quá độ dẫn lên PC

Đối với nghiên cứu này, Radasky và những người khác [44] quyết định sử dụng máy phát thử nghiệm quá độ lặp lại được và được hiệu chỉnh tốt. Vì lý do này, máy phát thử nghiệm được sử dụng là loại được IEC xác định để thử nghiệm thiết bị với quá độ sinh ra do sét hoặc quá độ điện nhanh. Trong khi các quá độ này thường bắt đầu trên các đường dây điện bên ngoài tòa nhà, thì lại có những ghép nối chéo đến các đường dây viễn thông cả bên ngoài và bên trong tòa nhà.

Đối với các thử nghiệm được tóm tắt ở đây, sử dụng hai máy phát qui định. Một để tạo ra “xung kết hợp” (thời gian tăng/giảm là 1,2/50  $\mu$ s) hoặc “xung viễn thông” (10/700  $\mu$ s) đối với dạng sóng điện áp mạch hở. Dạng sóng này được đề cập đến như dạng sóng của CWG (máy phát sóng kết hợp) và dạng sóng viễn thông, tương ứng, và các máy phát của chúng được qui định trong IEC 61000-4-5 [45]. Máy phát thứ hai để tạo ra dạng sóng điện áp quá độ điện nhanh (EFT) (5/50 ns) đưa vào tải 50  $\Omega$ . Dạng sóng và máy phát này được qui định trong IEC 61000-4-4 [46].

#### 6.3.2.1 Thiết bị cần thử nghiệm

Để thực hiện các thử nghiệm, sử dụng bốn máy tính cá nhân. Một là máy tính Macintosh SE và ba máy tính khác là loại PC (1 – Pentium 66 MHz, 2 – 486, 3 – Pentium 120 MHz). Cả bốn máy tính, dây nguồn được thử nghiệm cho dạng sóng EFT trong khi hai trong số bốn PC được thử nghiệm cho dạng viễn thông. Ngoài ra, các dạng sóng EFT được đặt lên dây chuột, dây bàn phím và dây điện nối vào modem.



Trong bộ thử nghiệm thứ hai, các cổng mạng được thử nghiệm với các dạng sóng EFT, CWG và viễn thông. Hai loại cổng ethernet được kiểm tra trên PC: 10base2 (cáp đồng trục RG 58) và 10baseT (cáp đôi xoắn cấp 5). Cổng Appletalk trên Macintosh cũng được thử nghiệm với EFT.

### 6.3.2.2 Kết quả thử nghiệm – các xung CWG và xung viễn thông

Bộ kết quả thử nghiệm đầu tiên cần mô tả đã bao gồm việc sử dụng xung viễn thông và xung sét CWG mạnh. Dạng sóng quá độ với xung có độ rộng lớn hơn 200  $\mu$ s được đưa vào dây nguồn của máy tính và dây mạng Ethernet nối đến các máy tính thông qua card Ethernet bên trong. Bảng 3 tóm tắt các kết quả của thử nghiệm.

Trong trường hợp các dây nguồn, không có các ảnh hưởng phát sinh đến giá trị điện áp mạch hở lớn nhất đầu ra của máy phát là 4,5 kV. Lưu ý là điện áp được phân phối đến đối tượng thử nghiệm chỉ là 1,2 kV trong 4  $\mu$ s sau đó là khoảng 300 V trong 300  $\mu$ s. Trong khi âm thanh do phóng hồ quang là rõ ràng trong quá trình thử nghiệm nhưng máy tính không có ảnh hưởng gì sau khi thực hiện các thử nghiệm.

**Bảng 3 – Tóm tắt các kết quả thử nghiệm cổng nguồn và cổng dữ liệu với máy phát xung viễn thông và xung CWG**

#### Tóm tắt thử nghiệm xung viễn thông/CWG

- Dây nguồn (chỉ thử nghiệm xung viễn thông):
  - Không có hỏng hóc phát sinh hoặc xáo trộn máy tính đến giá trị điện áp lớn nhất.
  - Hồ quang nghe được từ khu vực nguồn cung cấp.
  - Ứng suất lớn nhất điển hình tại tải (điện áp mạch hở của máy phát 4,5 kV)
    - xung điện áp đỉnh 1,2 kV (rộng 4  $\mu$ s) tiếp sau là suy giảm chậm 200 V đến 300 V (rộng 300  $\mu$ s)
    - dòng điện đỉnh 300 A (giới hạn bởi máy phát).
- Cổng Ethernet 10base2 (đồng trục)
  - Cổng bị hỏng bởi cả xung CWG và xung viễn thông.
    - xung 500 V (điện áp nhỏ nhất của máy phát)
    - xung 50 V một chiều (độ dốc 100 V/s đến 200 V/s).
  - Không hỏng máy tính ngoại trừ card Ethernet
- Cổng Ethernet 10baseT (đôi xoắn)
  - Hỏng hóc xảy ra ở xung viễn thông 4 kV.
    - đòi hỏi khoảng 4 J để gây hỏng.
    - hồ quang bắt đầu tại 3 kV đối với cả xung CWG và xung viễn thông.
  - Không hỏng máy tính ngoại trừ card Ethernet

Đối với cáp Ethernet, các kết quả đáng chú ý hơn. Trong trường hợp cáp đồng trục 10base2, card mạng Ethernet bị hỏng ở mức thử nghiệm nhỏ nhất 500 V đối với cả xung CWG và xung viễn thông. Lưu ý rằng mức thử nghiệm 50 V một chiều cũng làm hỏng card mạng Ethernet. Qua xem xét nhận thấy rằng

cáp R-58 được nối đất để không phải nối đất tại card bằng thiết kế, do đó điện áp phương thức chung được chuyển đổi thành tín hiệu vi sai. Cần nhấn mạnh rằng trong khi bị mất khả năng của card Ethernet và khả năng truyền thông sau thử nghiệm này nhưng máy tính có chứa card Ethernet thì lại không bị hỏng.

Trong trường hợp cáp đôi xoắn 10baseT, kết quả cũng tương tự mặc dù hỏng hóc xảy ra ở mức cao hơn nhiều do quá trình thử nghiệm ở mức 4 kV (phương thức vi sai) đối với xung vi sai thông. Trong các thử nghiệm, có thể nghe được việc phóng hồ quang ở 3 kV đối với cả xung CWG và xung vi sai thông nhưng hỏng hóc chỉ xảy ra đối với xung vi sai thông. Hình 9 minh họa một trường hợp khi phích cắm RJ-45 bị hỏng do việc phóng hồ quang đáng kể ở bộ nối trong quá trình thử nghiệm xung vi sai thông. Năng lượng dẫn đến hỏng hóc vào khoảng 4 J, và như trong trường hợp 10base2 cũng không phát hiện hỏng máy tính. Rõ ràng là 10baseT ít bị ảnh hưởng do hỏng hóc cho trước mà có các mức hỏng hóc lớn hơn nhiều và thử nghiệm được thực hiện theo phương thức vi sai.



**Hình 9 – Ví dụ về hỏng hóc gây ra bởi máy phát xung vi sai thông do một xung đơn 4,5 kV**

### **6.3.2.3 Kết quả thử nghiệm – EFT**

Một chuỗi các thử nghiệm EFT được thực hiện trên dây nguồn của tất cả bốn máy tính sử dụng bố trí cơ cấu cáp điện dung theo tiêu chuẩn IEC 61000-4-4. Trong khi một số ảnh hưởng được ghi lại, kể cả những “tiếng bíp” của máy tính và chuyển động của trỏ chuột, thì các ảnh hưởng này không phải lúc nào cũng đòi hỏi khởi động lại máy tính. Trong một số trường hợp với các máy tính pentium, các xung đơn EFT từ 2 kV đến 2,5 kV đã làm cho máy tính bị treo và bắt buộc phải khởi động lại (khởi động nguội). Các kết quả này được cho là do “lỗi bit” gây ra do trường EM trong vỏ máy làm thay đổi trạng thái bit. Trong hầu hết các trường hợp, nhận thấy rằng cần có các điện áp cao hơn 4,5 kV đối với máy phát EFT để gây ra các vấn đề khởi động lại.

Để thử nghiệm các đường dây dữ liệu, máy phát EFT được nối trực tiếp đến các máy tính (điện áp phân phối đến đối tượng thử nghiệm bằng điện áp đầu ra máy phát); nhận thấy là các xáo trộn máy tính bị lặp

lại cao đối với các máy tính và loại cáp giao diện khác nhau. Trong Bảng 4, đối với cáp AppleTalk được nối với máy tính Mac SE, xuất hiện một xu hướng giữa mức điện áp và số lượng xung đặt vào. Nếu xét hàng cuối cùng của bảng đối với xung đơn, chỉ ghi được ảnh hưởng ở 4,5 kV, và chỉ xuất hiện 1 lần trong 10 thử nghiệm. Vì các xung thử nghiệm được lặp lại, ví dụ 20 xung ở 1 kHz nên các ảnh hưởng bắt đầu tại 2 kV và xuất hiện trong mỗi thử nghiệm ở 4 kV. Xu hướng này tiếp tục khi các xáo trộn được phát hiện ở 1,5 kV đối với tất cả các tốc độ lặp lớn hơn hoặc bằng 10 kHz.

**Bảng 4 – Kết quả đo các xung EFT đưa vào cáp AppleTalk có chỉ ra số lượng xáo trộn/số lượng chuỗi thử nghiệm (x để chỉ những trường hợp không thử nghiệm được)**

Mức điện áp	1 000 V	1 500 V	2 000 V	3 000 V	4 000 V	4 500 V
Dải tần số (số lượng xung)						
1 000 kHz (20 000)	0/3	4/4	3/3	3/3	3/3	2/2
100 kHz (2 000)	0/5	4/4	3/3	3/3	x	3/3
10 kHz (200)	0/4	4/4	3/3	3/3	x	3/3
1 kHz (20)	0/6	0/5	3/5	4/6	4/4	3/3
Xung đơn	0/2	x	0/2	0/2	0/3	1/10

Không hỏng	
Một số hỏng	
Tất cả hỏng	

Trong Bảng 5 thể hiện xu hướng chung mặc dù một số xáo trộn được tìm thấy chỉ ở mức 1 kV và có biểu hiện sự phụ thuộc của tần số lặp bổ sung. Lưu ý là ở 2 000 V và thấp hơn, xác suất xáo trộn ở 1 MHz thấp hơn ở 100 kHz. Cũng có xác suất ảnh hưởng thấp hơn ở 1 kHz so với ở 10 kHz hoặc 100 kHz.

**Bảng 5 – Kết quả do các xung EFT được đưa vào cáp 10baseT có chỉ ra số lượng xáo trộn/số lượng chuỗi thử nghiệm (x để chỉ những trường hợp không thử nghiệm được)**

Mức điện áp	1 000 V	1 500 V	2 000 V	3 000 V	4 000 V	4 500 V
<b>Tần số xung (số lượng xung)</b>						
1 000 kHz (20 000)	0/7	2/5	1/5	3/3	3/3	x
100 kHz (2 000)	7/9	3/3	3/3	3/3	2/2	x
10 kHz (200)	6/8	1/3	3/3	3/3	2/2	x
1 kHz (20)	0/6	2/5	3/5	6/8	3/3	x
Xung đơn	0/2	x	0/3	1/3	0/3	4/4

Không hỏng	
Một số hỏng	
Tất cả hỏng	

Trong Bảng 6a các xáo trộn đối với xung đơn trên cáp 10base2 (chỉ những dữ liệu lấy được) thể hiện mức cao nhất của độ nhạy với các xáo trộn xung đơn ở 2,5 kV mà không phải ở 4,5 kV đối với 10baseT và trên 4,5 kV đối với AppleTalk.

**Bảng 6 – Kết quả do các xung EFT được đưa vào cáp 10base2 có chỉ ra số lượng xáo trộn/số lượng chuỗi thử nghiệm**

Mức điện áp	500 V	1 000 V	1 500 V	2 000 V	2 500 V	3 000 V	4 000 V	4 500 V
<b>Tần số xung (số lượng xung)</b>								
Xung đơn	1/6	3/6	3/6	4/6	3/3	3/3	6/6	4/4

Không hỏng	
Một số hỏng	
Tất cả hỏng	

#### 6.3.2.4 Kết luận về quá độ dẫn

Các thí nghiệm này, trong khi được giới hạn về điện áp đỉnh đưa vào, thể hiện rằng các xung có năng lượng cao như xung CWG và xung viễn thông là những mối đe dọa rõ ràng với hệ thống dữ liệu cáp Ethernet dưới dạng gây hỏng cho các card Ethernet của máy tính nối vào. Cũng biết rằng thành phần tần số thấp của các xung thử nghiệm này (thấp hơn 1 MHz) lan truyền rất tốt dọc theo các loại cáp này. Đối với các xung EFT, rõ ràng chúng là mối đe dọa nghiêm trọng, gây ra các xáo trộn của máy tính ở các mức rất thấp (1 kV đến 2 kV) được đưa vào cáp Ethernet. Các xung này suy giảm theo khoảng cách trên cáp cấp 5, nhưng mức suy giảm chỉ vừa phải (30 % trong 30 m).

Đối với dây điện dẫn vào, các giới hạn của bộ tạo xung không cho phép có những kết quả rõ ràng của dạng sóng xung bất kỳ, mặc dù một số xáo trộn EFT được ghi lại chỉ ở mức 2 kV. Các xung có năng lượng cao (xung viễn thông, xung CWG) không thể ghép nối quá 1 kV với tải, và không ghi lại được hồng học hoặc xáo trộn bất kỳ từ những dạng sóng này.

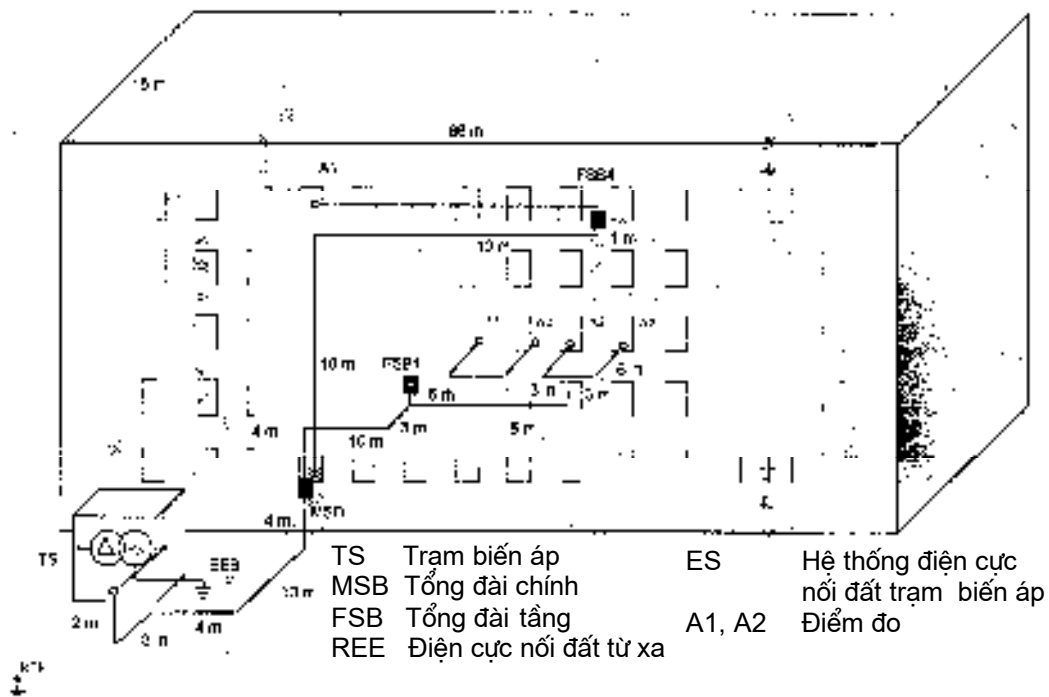
### 6.3.3 Thử nghiệm dẫn ở mức tòa nhà

Trong những năm gần đây, mối quan tâm ngày càng tăng đến khả năng khủng bố và tội phạm sử dụng có chủ ý các quá độ điện từ để phá vỡ các hoạt động kinh doanh vận hành theo cách thông thường. Trong khi có nhiều mối đe dọa liên quan đến trường EM bức xạ tần số cao tại tòa nhà từ vị trí bị che khuất, nhưng cũng có nhiều khả năng các quá độ EM dẫn có thể được đưa vào trên các dây điện hoặc dây viễn thông đi vào tòa nhà khi không bị hạn chế xâm nhập.

Dưới đây là tóm tắt công trình đáng chú ý được thực hiện bởi Parfenov và những người khác [47, 48], họ đã đưa các loại tín hiệu quá độ khác nhau vào dây dẫn của tòa nhà để nghiên cứu các đặc tính lan truyền của các quá độ này từ bên ngoài vào các phích cắm trên tường bên trong tòa nhà. Ngoài ra, các tác giả còn nghiên cứu các loại quá độ có thể gây hỏng nguồn máy tính.

#### 6.3.3.1 Bố trí thử nghiệm

Tòa nhà cần thử nghiệm được cấp điện từ máy biến áp lắp ráp liên hợp sao-tam giác 1 MW, 10 kV/380 V như thể hiện trên Hình 10. Tòa nhà có năm tầng và các phép đo thực hiện ở tầng 2 và tầng 5. Lưu ý là tổng đài điện thoại chính của tòa nhà và tổng đài điện thoại của từng tầng là một phần của thử nghiệm.



Hình 10 – Mô tả thử nghiệm đưa nhiễu dẫn vào

Trong thử nghiệm, máy phát xung được bố trí ở phía thứ cấp của máy biến áp. và thử nghiệm được thực hiện ở chế độ không cấp điện. Điều này chỉ để thuận tiện, và các tác giả cũng lưu ý rằng không khó khăn khi đưa nhiều vào trong khi tòa nhà vẫn làm việc với đầy đủ điện áp đầu vào. Các tác giả đã đưa nhiều vào theo nhiều cách khác nhau gồm:

- giữa pha 1 và trung tính;
- giữa pha 2 và trung tính;
- giữa pha 1 và điện cực đất từ xa;
- giữa pha 2 và điện cực đất từ xa;
- giữa trung tính và điện cực đất từ xa.

Trong tất cả các trường hợp, phép đo được thực hiện trong tòa nhà giữa pha 1 và trung tính tại các phích cắm trên tường khác nhau.

Loại quá độ đưa vào gồm cả xung và sóng liên tục (CW). Đặc tính của xung được thay đổi nhưng nhìn chung có thời gian tăng là 30 ns và độ rộng xung thay đổi từ 30 ns đến 10  $\mu$ s. Các xung có giá trị đỉnh tại điểm đưa vào là 1,5 kV và được lặp lại ở tần số 5 Hz. Từ việc đánh giá cách điện và từ những kết quả, rõ ràng thấy rằng các xung 1,5 kV được đưa vào không làm hỏng cách điện trong dây dẫn của tòa nhà. Đối với sóng liên tục, tần số được đặt vào từ 500 Hz đến 1 MHz.

### **6.3.3.2 Kết quả thử nghiệm tòa nhà**

Không ngạc nhiên rằng sự xuất hiện suy giảm tín hiệu nhỏ nhất từ bên ngoài của tòa nhà vào các phích cắm trên tường bên trong khi dây pha được đo bên trong giống với dây pha được đưa vào từ bên ngoài. Cũng nhận thấy rằng suy giảm là nhỏ nhất với xung rộng nhất (10  $\mu$ s), không ghi lại được suy giảm giá trị đỉnh nhận thấy được nào. Đối với các thử nghiệm tương tự được thực hiện với các nguồn CW, suy giảm tăng theo tần số với mức suy giảm lớn nhất là 5 dB ở  $f = 1$  MHz. Nhận thấy rằng khi sử dụng các tần số cao hơn, sự không phối hợp trở kháng và tổn thất điện cảm cao hơn sẽ làm tăng sự suy giảm.

Về mặt hiệu quả của ghép nối từ một dây pha đến dây pha khác, nhận thấy rằng truyền ở pha 2 và đo ở pha 1 sẽ tạo ra tổn thất 30 dB đến 50 dB trong tín hiệu có tần số từ 0,1 MHz đến 1 MHz, mặc dù có cộng hưởng mạnh tại 250 kHz và 900 kHz. Việc đưa tín hiệu nhiều vào giữa các pha (hoặc trung tính) và điện cực đất ở xa và đo các điện áp từ pha 1 đến trung tính cũng nhận thấy sự suy giảm 40 dB trong cùng dải tần số.

### **6.3.3.3 Nguồn máy tính**

Phần thứ hai của công trình [47, 48] liên quan đến việc kiểm tra tính dễ bị hỏng của nguồn máy tính với các quá độ dạng xung đi vào thông qua dây nguồn. Cũng nhận thấy rằng các mạch bộ lọc nguồn máy tính hay bị hỏng nên đã thực hiện phân tích ba mạch bộ lọc nguồn khác nhau: bộ lọc tải thấp (200 W), bộ lọc tải trung bình (500 W – 800 W) và bộ lọc công nghiệp.

Các phân tích được thực hiện với mã hóa mạch điện sử dụng các đặc tính xung đầu vào khác nhau và tín hiệu nhiễu được đưa vào giữa pha và trung tính tại phích cắm điện. Mô hình đã xem xét các phần tử ký sinh và phần tử phi tuyến của bộ lọc nguồn. Các kết quả nghiên cứu cho thấy rằng đối với một xung đặt vào có độ rộng 100  $\mu$ s, có thể có những hiệu ứng sau:

- đánh thủng tụ lọc, với các xung đặt vào từ 3 kV đến 4 kV;
- đánh thủng điốt chỉnh lưu, với các xung đặt vào từ 5 kV đến 6 kV;
- bộ lọc chỉnh lưu quá điện áp, với các xung đặt vào là 8 kV.

Để thử nghiệm một phần của phân tích này, đầu vào của nguồn điện được đặt một xung có đặc tính mong muốn bắt đầu ở 3 kV. Mức hỏng của tụ điện trong mạch từ 4,2 kV đến 5,6 kV, cao hơn một chút so với dự kiến, nhưng vẫn phù hợp với phân tích.

Để thử nghiệm tính năng tổng thể của hệ thống máy tính có bộ lọc nguồn công nghiệp các xung được đưa vào có độ rộng 50  $\mu$ s. Thử nghiệm cho thấy hỏng nguồn điện máy tính ở điện áp đưa vào là 6 kV. Hỏng hóc tìm thấy ở nguồn điện gồm: hai điốt chỉnh lưu, điện trở bù nhiệt, tụ điện ở đầu vào bộ lọc và cầu chảy. Các phân tích thêm nghiên cứu tác động của độ rộng xung đã phát hiện rằng đối với xung có độ rộng 1 ms, mức hỏng hóc dự kiến giảm xuống từ 1 kV đến 2 kV.

#### 6.3.3.4 Tóm tắt nghiên cứu về tòa nhà

Các phép đo được thực hiện bởi Parfenov và những người khác chỉ ra rõ ràng rằng điện áp đưa vào hệ thống đi dây bên ngoài có thể lan truyền khá tốt trong hệ thống đi dây của tòa nhà ngay cả khi xét đến nhiễu tổng đài điện thoại bên trong tòa nhà. Rõ ràng từ công trình này là các tần số nhỏ hơn 1 MHz lan truyền với độ suy giảm thấp như các xung có độ rộng lớn hơn 1  $\mu$ s. Mặc dù nghiên cứu này không trực tiếp đề cập đến vấn đề phóng điện đánh thủng cách điện của hệ thống đi dây nhưng nhận thấy rằng, đối với các loại xung đang xét, hệ thống đi dây thông thường của tòa nhà cần có khả năng chịu được các điện áp đỉnh trong phạm vi 10 kV.

Xét về tính dễ bị hỏng của máy tính, cả phân tích và thử nghiệm giới hạn đều cho thấy rằng nguồn điện của máy tính, và cụ thể là các bộ lọc đầu vào, dễ bị hỏng với xung 50  $\mu$ s ở các mức 6 kV. Phân tích cũng cho thấy rằng các mức từ 1 kV đến 2 kV thường tạo ra hỏng hóc đối với các xung có độ rộng 1 ms.

Bằng cách xem xét cả hai khía cạnh của công trình nghiên cứu, nhận thấy là có thể đưa các mức điện áp đáng kể vào hệ thống đi dây của tòa nhà và điện áp đưa vào có thể dễ dàng lan truyền và có thể làm hỏng nguồn máy tính.

#### 6.4 Xáo trộn mạch logic hoặc gián đoạn dịch vụ

Hậu quả có nhiều khả năng xảy ra hơn khi chiếu xạ HPEM vào hệ thống là sự xáo trộn (trục trặc tạm thời) hoặc tháo chốt (trục trặc làm cho mạch ngừng hoạt động cho đến khi đóng lại nguồn) của mạch digital bên trong.

## **TCVN 7909-1-5 : 2008**

Kiểu nhạy với hỏng hóc này của hệ thống rất khó dự đoán, tuy nhiên, nguyên nhân là do các độ không đảm bảo trong các trường hợp sau:

- a) trạng thái logic của hệ thống và các hoạt động sắp xảy ra vào thời điểm chiếu EM,
- b) đưa năng lượng EM vào hệ thống, do nhiều tham số quan trọng, mà giá trị của chúng là chưa biết hoặc biến đổi,
- c) hướng và khoảng cách của hệ thống liên quan đến nguồn EM là chưa biết hoặc thay đổi theo thời gian, và
- d) sự biến đổi theo mục tiêu của các mức dễ bị hỏng của trường EM.

Do khó đoán trước được nên việc thử nghiệm thiết bị là cần thiết để hiểu đầy đủ các ảnh hưởng HPEM có thể có. Tuy nhiên, có thể khảo sát các mức điện áp đóng cắt logic trong thiết bị cụ thể và yêu cầu tín hiệu HPEM thấp hơn đáng kể so với các điện áp hệ thống chuẩn này. Các tiếp cận thận trọng này có thể dẫn đến việc bảo vệ quá cẩn thận cho hệ thống nhưng là một kỹ thuật có thể áp dụng để bảo vệ các hệ thống tới hạn cao.

## **7 Khái niệm bảo vệ HPEM**

Như đã đề xuất trong các điều trước của tiêu chuẩn này, môi trường HPEM có thể tạo ra các hiệu ứng dưới đây lên hệ thống (để giảm mức khắc nghiệt):

- a) hỏng hóc về vật lý vĩnh viễn;
- b) hỏng chức năng vĩnh viễn;
- c) xáo trộn tạm thời (có sự can thiệp của người vận hành);
- d) giảm tính năng;
- e) xáo trộn tạm thời (không có sự can thiệp của người vận hành).

Trong một số trường hợp, có thể mong muốn bảo vệ hệ thống khỏi các trường HPEM. Trong điều này, đưa ra xem xét các phương pháp bảo vệ khác nhau.

### **7.1 Chiến lược lựa chọn mức miễn nhiễm**

Khía cạnh quan trọng của việc bảo vệ EM là hiểu được hệ thống bền vững như thế nào. Điều này thường được thể hiện dưới dạng xác suất hỏng hóc của hệ thống khi chịu môi trường EM qui định. Để thực hiện điều này, phải sử dụng khái niệm thống kê, do độ không đảm bảo của chiếu xạ EM lên hệ thống, cũng như lên sự thay đổi của tham số hệ thống. Một số hệ thống có thể được coi là “tới hạn tính năng” và có yêu cầu về “tới hạn tính năng” rất cao; các hệ thống không tới hạn về tính năng khác có thể không được bảo vệ. Giải quyết các yêu cầu về khả năng tồn tại thích hợp là phức tạp, bao gồm những phác họa ban đầu, lập kế hoạch chiến lược, chi phí, v.v...



Để đánh giá sự cần thiết đối với bảo vệ HPEM, cần xác định yêu cầu về khả năng tồn tại của hệ thống theo nội dung rộng hơn các quan hệ với các linh kiện khác trong cơ sở hạ tầng có chứa hệ thống đang xét. Ví dụ, nếu hệ thống cần nghiên cứu là khối liên lạc lệnh và điều khiển trong cơ sở hạ tầng bảo vệ dân cư, hoạt động của khối này được coi là cốt yếu trong toàn bộ hoạt động của cơ sở hạ tầng đó. Tuy nhiên, nếu hệ thống là các thành phần điện không tới hạn (ví dụ thiết bị làm nóng cà phê) thì yêu cầu về khả năng tồn tại của nó có thể được giảm thiểu. Do đó, cần thực hiện đánh giá cẩn thận vai trò của hệ thống và đánh giá các yêu cầu bảo vệ của hệ thống.

Cũng quan trọng để nhận thấy rằng môi trường HPEM là môi trường cục bộ (trái ngược với môi trường HEMP có độ bao phủ rất rộng). Điều này cho thấy rằng đối với hệ thống được phân bố và liên kết, xác suất hỏng hóc do HPEM có thể khác đáng kể so với HEMP. Thực tế có thể có tác động đến quyết định bảo vệ thiết bị khỏi các môi trường HPEM. Hơn nữa, phải thực hiện đánh giá cẩn thận yêu cầu bảo vệ.

## 7.2 Tổng quan về kỹ thuật bảo vệ HPEM

Nếu phân tích hoặc thử nghiệm đáp ứng của hệ thống với môi trường HPEM đã chỉ ra rằng cần bảo vệ hệ thống thì một số phương pháp giảm nhẹ có thể được xem xét. Chúng bao gồm:

- a) bảo vệ EM áp dụng cho hệ thống liên quan;
- b) thiết kế sai hỏng cho phép đối với phần cứng và phần mềm của hệ thống;
- c) theo dõi từ bên ngoài đối với các kích thích HPEM;
- d) an toàn vật lý của hệ thống; và
- e) dự phòng chức năng của hệ thống.

Phương pháp giảm nhẹ đầu tiên (a) rất giống với phương pháp bảo vệ được sử dụng cho HEMP (xem IEC 61000-5-6). Phương pháp này cũng liên quan đến việc khống chế kết cấu về điện của hệ thống để giảm thiểu ghép nối với các trường EM bên ngoài, và tăng cường chống nhiễu hiệu quả cho hệ thống bằng cách xử lý các lỗ thủng, xâm nhập dẫn hoặc PoE cùng với thiết bị bảo vệ khác.

Vì nhiều hệ thống đang xét về bản chất là hệ thống số nên xác suất xáo trộn hệ thống ở các mức thấp của kích thích HPEM có thể giảm xuống bằng cách xem xét các thiết kế sai hỏng cho phép của phần cứng và phần mềm. Tuy nhiên, cách tiếp cận (b) này không thích hợp để giảm nhẹ hư hại về vật lý mà có thể xảy ra do các trường HPEM.

Các tiếp cận giảm nhẹ (c) là hữu ích nhất trong trường hợp môi trường HPEM có tính lặp lại. Với khái niệm này, người sở hữu phương tiện có thể tìm ra nguồn gây nhiễu khi cảm biến phát hiện có trường HPEM, lan toả vào tòa nhà. Điều này có thể rất có ích vì có nhiều khả năng nguồn gây nhiễu rất gần với phương tiện.

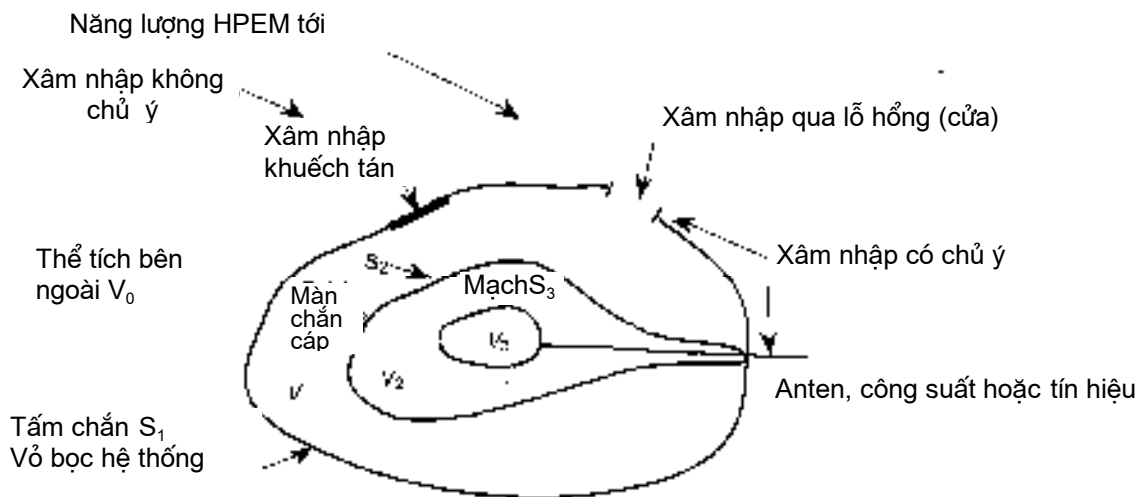
Phương pháp giảm nhẹ (d) là phương pháp mang nhiều tính chất phòng ngừa – ngăn không cho xâm nhập vào hiện trường có thể dễ bị xâm nhập. Cuối cùng cách tiếp cận dự phòng (e) giảm khả năng bị

xâm nhập của hệ thống trong trường hợp, ví dụ, mất hệ thống con thì được "dự phòng" bằng một hệ thống con riêng rẽ, giống hệt như hệ thống "EM - có cách ly".

### 7.3 Thực hiện bảo vệ HPEM

HPEM tổng thể tương tác với hệ thống có thể được coi là chuỗi chức năng truyền từ nguồn EM đến cổng (linh kiện) cần quan tâm trong hệ thống, như được đề xuất trong Hình 6. Đối với các tuyến tương tác này, có thể thực hiện tính toán trên các linh kiện cụ thể của hệ thống để xác định các chức năng truyền, và ước lượng đáp ứng của hệ thống tổng thể. Do đó, bảo vệ hệ thống có thể được xác định như một kỹ thuật chung để giảm ứng suất EM tại cổng đang xét. Phương pháp này toàn diện hơn (và cũng phức tạp hơn) là chỉ cố định "rò rỉ" trên màn chắn và đặt bộ lọc cho cáp. Để làm điều này, yêu cầu có các chuyên gia ở các lĩnh vực kỹ thuật khác nhau để xác định đặc điểm của quá trình tương tác.

Với việc sử dụng không gian hệ thống giới thiệu trong 6.1, để thuận tiện nên chia sự xâm nhập làm hai loại: có chủ ý và không chủ ý, như thảo luận dưới đây.



Hình 11 – Minh họa xâm nhập có chủ ý và không chủ ý vào hệ thống giả định của Hình 5

Như thể hiện trên Hình 11, xâm nhập chủ ý là những xâm nhập một cách có ý thức vào hệ thống để đưa thông tin (tín hiệu EM), công suất, nước, lực cơ khí hoặc thậm chí con người từ bên ngoài vào bên trong và ngược lại. Trong các định nghĩa này, anten, cáp công suất và tín hiệu đi vào màn chắn trong Hình 11 tạo nên những xâm nhập có chủ ý. Tương tự xâm nhập qua lỗ thủng cũng được coi là xâm nhập có chủ ý nếu lỗ thủng là cửa hoặc cửa sổ được định vị có chủ ý trên màn chắn để cho "thông tin" đi qua.

Ngược lại, lỗ thủng được hình thành bởi mối ghép giữa hai miếng kim loại che chắn vỏ bọc có thể được phân thành loại xâm nhập không chủ ý. Tương tự, xâm nhập trường EM thông qua vật liệu dẫn không hoàn hảo là ví dụ về xâm nhập không chủ ý.

Mặc dù các tuyến ghép nối xâm nhập EM có chủ ý thường đã biết, và các chức năng truyền khác nhau cũng đã biết hoặc dễ dàng tính được, thì việc bảo vệ khỏi các xâm nhập này thường khó hơn đối với các xâm nhập không chủ ý. Để bảo vệ các xâm nhập không chủ ý, thường áp dụng công nghệ EMC “tiêu chuẩn”, tức là dùng miếng đệm, bộ lọc, màn chắn cáp, v.v... Tất nhiên, nếu các mức môi trường qui định là cao, thì có thể sử dụng nhiều mức bảo vệ; tuy nhiên các giải pháp tiêu chuẩn sẽ đủ để đáp ứng.

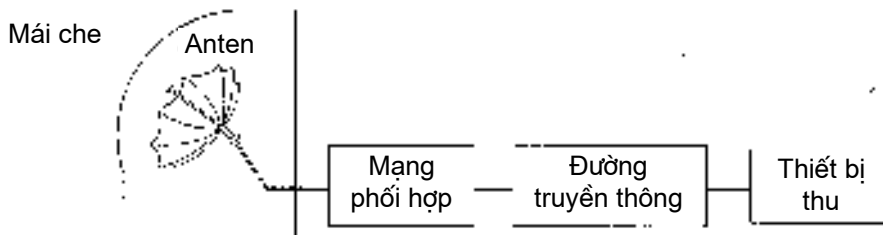
Mặt khác, đối với bảo vệ xâm nhập EM có chủ ý, thường có thể có khó khăn để tìm được biện pháp bảo vệ thích hợp, vì các xâm nhập này có thể cho đi qua các tín hiệu mong muốn, nhưng đồng thời lại hạn chế môi trường HPEM. Các phần tử không tuyến tính thường được xem xét đối với loại bảo vệ này nhưng nếu các xung HPEM rất ngắn thì bảo vệ có thể không đáp ứng đủ nhanh để hấp thụ năng lượng xung. Đối với một số loại xâm nhập có chủ ý nhất định, ví dụ như lỗi hở đối với các máy quay, rất khó để tìm được bảo vệ thích hợp.

Một vấn đề khác cần lưu ý khi xem xét biện pháp bảo vệ HPEM đối với hệ thống là bản chất tần số cao của môi trường EM làm cho nó khó xác định đáp tuyến trường hợp xấu nhất (tức là khi che chắn kém), nếu không thực hiện nhiều phép đo. Điều này cũng gây khó khăn và mất nhiều thời gian khi thực hiện thử nghiệm để cho thấy rằng hệ thống cần thử nghiệm không nhạy đối với góc tới bất kỳ của trường bức xạ [49].

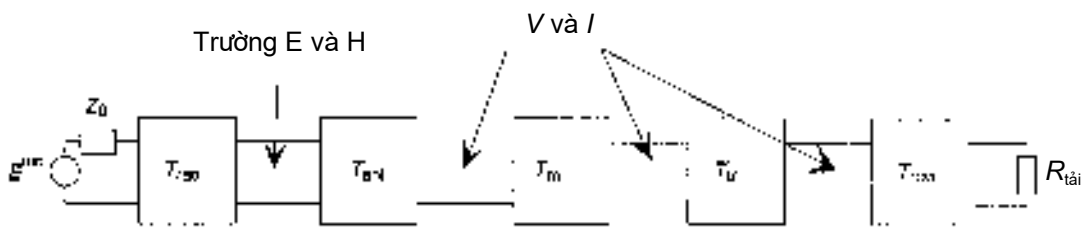
### 7.3.1 Bảo vệ xâm nhập có chủ ý

Các phần tử bảo vệ xâm nhập EM có chủ ý được yêu cầu để bảo vệ hệ thống khỏi môi trường HPEM qui định với xác suất qui định về khả năng tồn tại. Tuy nhiên, các phần tử bảo vệ này không nên can thiệp vào hoạt động bình thường của hệ thống, và các phần tử bảo vệ cần đảm bảo môi trường HPEM vẫn tiếp tục tồn tại trừ khi chúng được thiết kế là thiết bị tác động một lần duy nhất như cầu chảy.

Bảo vệ này được hỗ trợ bởi thực tế là các tuyến ghép nối thường đã biết và được điều khiển. Ví dụ, xem xét tuyến ghép nối giả thuyết thể hiện trên Hình 12a. Việc thể hiện tác động về điện của tuyến ghép nối có chủ ý có thể được thực hiện bằng chuỗi các cặp 2 cổng nối tầng bằng các chức năng truyền T, như thể hiện trên hình 12b.



Hình 12a – Sơ đồ khối



**Chú giải**

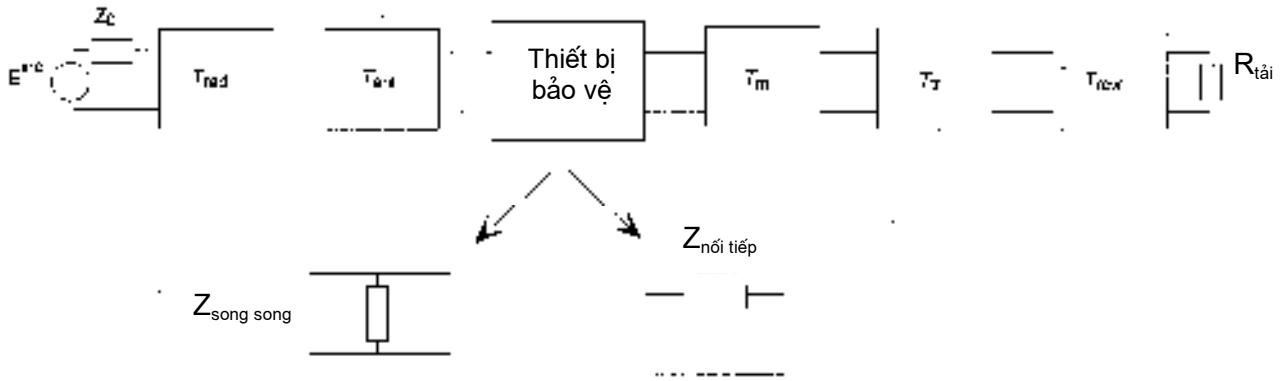
- |           |                                    |            |   |
|-----------|------------------------------------|------------|---|
| $T_{rad}$ | Chức năng truyền của mái che       | $T_{tr}$   | Chức năng truyền của đường truyền thông |
| $T_{ant}$ | Chức năng truyền của anten         | $T_{rcvr}$ | Chức năng truyền của thiết bị thu       |
| $T_m$     | Chức năng truyền của mạng phối hợp |            |   |

Hình 12b – Mô hình chức năng truyền

**Hình 12 – Ví dụ về tuyến ghép nối giả thuyết có chú ý vào hệ thống**

Các chức năng truyền trong Hình 12 nhìn chung là đã biết trong dải tần làm việc của hệ thống. Việc bảo vệ hệ thống này có thể được thực hiện theo hai cách cơ bản:

- a) bằng cách thêm thiết bị bảo vệ nối tiếp hoặc song song trong tuyến dẫn tín hiệu để phản xạ hoặc hấp thụ nhiễu nhiễu HPEM, như thể hiện trên Hình 13, hoặc
- b) bằng cách thiết kế cẩn thận các phần tử hệ thống (tức là các chức năng truyền  $T_i$ ) để loại bỏ nhiễu nhiễu ngoài dải.



### Chú giải

$T_{rad}$	Chức năng truyền của mái che	$T_T$	Chức năng truyền của đường truyền thông
$T_{ant}$	Chức năng truyền của anten	$T_{rcvr}$	Chức năng truyền của thiết bị thu
$T_m$	Chức năng truyền của mạng phối hợp		

### Hình 13 – Chèn thêm thiết bị bảo vệ vào tuyến ghép nối có chủ ý để cung cấp bảo vệ EM chống các nhiễu ngoài dải

Thiết bị bảo vệ được thể hiện trên Hình 13 có thể có một số loại khác nhau. Tại các tần số thấp, có thể sử dụng các mạch lọc thông số tập trung, và tại các tần số cao hơn có thể sử dụng mạch lọc hình răng lược, mạch lọc cài răng lược và bộ lọc ống dẫn sóng. Ngoài ra, các linh kiện hạn chế phi tính gồm bộ hạn chế diốt, ống phóng khí, bộ hạn chế ferit và các cơ cấu đóng cắt cũng thường được sử dụng.

Ngoài việc bảo vệ xâm nhập EM có chủ ý đạt được bằng cách thêm các phần tử thích hợp vào chuỗi chức năng truyền, còn có thể sửa đổi thiết kế hệ thống. Ví dụ, trong trường hợp bộ tập trung anten trên hình 12, có thể sử dụng các bề mặt chọn lọc tần số trên mái che để hạn chế năng lượng ngoài dải tới anten. Ngoài ra, anten có thể được thiết kế sao cho điều khiển được phân cực và độ rộng chùm tia của anten để giảm thu HPEM không mong muốn. Mỗi biện pháp này đều dẫn đến việc sửa đổi chức năng truyền ngoài dải của tuyến tương tác.

Đối với các xâm nhập dẫn có chủ ý không được coi là một phần của tuyến liên lạc EM thì bảo vệ của chúng cũng có thể được thực hiện bằng các bộ lọc và thiết bị bảo vệ đấu nối trên dây dẫn. Sự khác nhau chủ yếu giữa các xâm nhập này và xâm nhập EM có chủ ý là ở chỗ các xâm nhập này được thiết kế để dẫn năng lượng EM từ bên ngoài vào bên trong hệ thống. Ví dụ như các cáp bằng kim loại không chế xâm nhập, trục quay, ống nước, v.v... Khái niệm bảo vệ cơ bản của chúng là ngăn việc trực tiếp đưa dòng điện HPEM vào hệ thống, và điều này có thể được thực hiện bằng cách cung cấp liên kết điện tốt tại điểm xâm nhập, hoặc bằng cách đưa bộ cách ly cơ, bộ triệt về điện hoặc bộ lọc tại vị trí xâm nhập này. Việc lựa chọn sử dụng thiết bị nào tùy thuộc vào nội dung chi tiết của xâm nhập cụ thể.

**7.3.2 Bảo vệ xâm nhập không chủ ý**

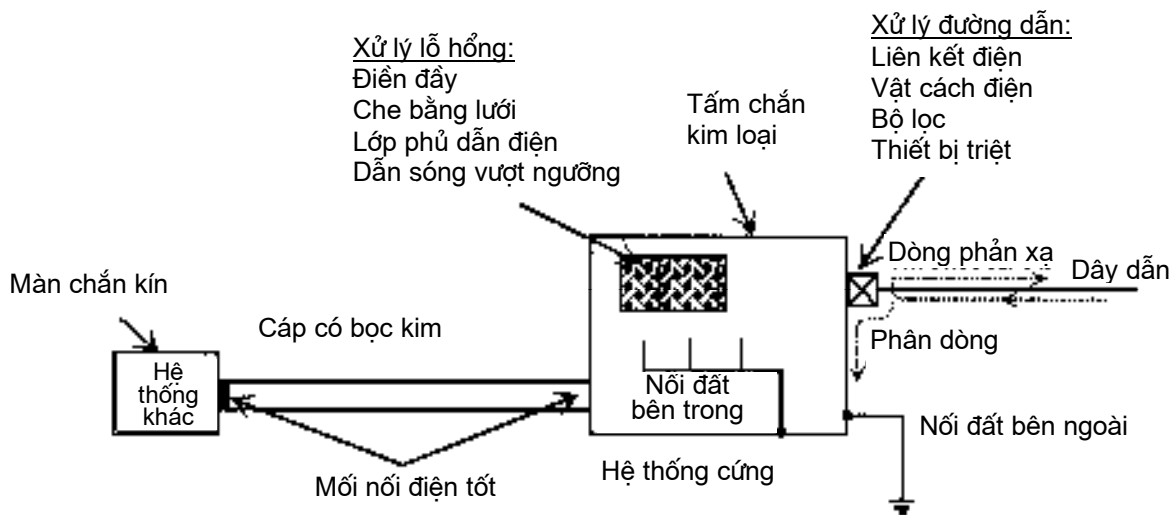
Như đã nêu ở trên, các cơ chế xâm nhập không chủ ý cơ bản gồm:

- a) khuếch tán trường HPEM qua các bề mặt dẫn của tấm chắn hệ thống, và
- b) xâm nhập trường HPEM thông qua các lỗ hở, khe rãnh, đường nối và mối ghép không chủ ý trong tấm chắn của hệ thống.

Khái niệm bảo vệ xâm nhập không chủ ý rất đơn giản: lấp kín các khe hở trong (các) tấm chắn EM của hệ thống. Như tóm tắt trong Hình 14, điều này có thể thực hiện được theo một số cách khác nhau, tùy thuộc vào kiểu xâm nhập trong hệ thống.

Đầu tiên, màn chắn bên ngoài của hệ thống cần được làm bằng vật liệu có độ dẫn cao, ví dụ bằng kim loại như trong ví dụ ở Hình 14. Lỗ thủng bất kỳ cần được xử lý bằng cách sử dụng vỏ hoặc lưới dẫn, lớp phủ dẫn, một hoặc nhiều cơ cấu dẫn sóng vượt ngưỡng hoặc đơn giản là được điền đầy như trong Hình 14 cũng minh họa cách xử lý nối đất hệ thống. Phải có cả hệ thống nối đất bên trong và bên ngoài, với giao diện giữa chúng là màn chắn của hệ thống, và không đấu nối dây dẫn xuyên qua màn chắn. Trong vấn đề này, các tín hiệu bên trong và bên ngoài loại trừ lẫn nhau bởi không gian màn chắn. Cuối cùng, mọi mối nối điện đến các hệ thống khác đều phải ghép nối với màn chắn của hệ thống tổng thể, như được chú thích trên hình.

Tuy nhiên, cần chú ý rằng việc bảo vệ sự xâm nhập EM có chủ ý có thể bảo vệ thiết bị khỏi hỏng hóc, nhưng không nhất thiết bảo vệ khỏi trục trặc tạm thời (ví dụ do không nhận được tín hiệu), trong khi đó bảo vệ xâm nhập không chủ ý thích hợp sẽ bảo vệ được hệ thống khỏi cả hỏng hóc và trục trặc



**Hình 14 – Minh họa các phương pháp bảo vệ xâm nhập HPEM không chủ ý điển hình**

### 7.3.3 Sơ đồ bảo vệ HPEM thay thế

Có các kỹ thuật khác để bảo vệ HPEM trong trường hợp không xuất hiện các thành phần gây hỏng nặng nề trực tiếp đến hệ thống, nhưng khi đó lại gặp phải vấn đề phản logic hoặc chặn đứng thời gian. Trong trường hợp đó, số lần xuất hiện hỏng có thể so sánh với một số lần chu kỳ logic và điều đó có thể cung cấp đủ thời gian cho “bảo vệ chức năng”.

Các khả năng để áp dụng bảo vệ này gồm:

- a) bảo vệ chủ động;
- b) dự phòng của hệ thống;
- c) phần mềm phát hiện và hiệu chỉnh sai lỗi.

Khái niệm bảo vệ chủ động liên quan đến khả năng phán đoán môi trường HPEM và bảo vệ hệ thống trước khi có các ảnh hưởng gây hỏng. Việc sắp đặt thủ công “các tấm che EMP” trên phương tiện hàng không là một ví dụ của kiểu bảo vệ này. Mặt khác, các ví dụ phức tạp hơn có thể tìm thấy trong bảo vệ xâm nhập EM có chủ ý của hệ thống radiô hoặc radar.

Yếu tố quan trọng của phương pháp này là làm trễ tín hiệu nhận được. Việc trễ này phải đủ dài để cho phép thiết bị đóng cắt hoặc thiết bị bảo vệ tác động; tuy nhiên, việc trễ không được có ảnh hưởng bất lợi đến hoạt động bình thường của hệ thống.

Sử dụng dự phòng của hệ thống để bảo vệ được áp dụng cho các trường hợp trong đó cần tăng độ tin cậy. Phương pháp này thích hợp cho cả hỏng hóc và xáo trộn từng phần. Trong khái niệm này, có nhiều ví dụ về hệ thống con hoặc linh kiện, nhiều máy tính trong truyền thông mà các kết quả đã được trưng cầu. Điều này dẫn đến con số tổng quát về khả năng tồn tại lớn hơn đối với một hệ thống con đơn lẻ. Dự phòng của hệ thống này thường được sử dụng trong thiết bị phóng và tàu vũ trụ nơi cần độ tin cậy cao.

Qui trình phát hiện và hiệu chỉnh sai lỗi trong hệ thống điện tử cũng có thể làm tăng độ tin cậy. Thiết kế phần mềm và đường truyền dữ liệu bền vững phục vụ các môi trường HPEM và hiệu chỉnh sai lỗi dữ liệu và mất dữ liệu là các kỹ thuật có thể áp dụng để bảo vệ HPEM.

Cuối cùng, nếu cần có thể thực hiện theo dõi định kỳ (tự động hoặc thủ công) hoạt động của hệ thống và/hoặc sự xuất hiện của môi trường HPEM, và thực hiện khởi động lại thiết bị.

## Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] *EMP Engineering and Design Principles*, Technical Publications Department, Bell Laboratories, Whippany, NJ., 1975.
- [2] *EMP Interaction: Principles, Techniques and Reference Data*, K. S. H. Lee, editor, Hemisphere Publishing Co., New York, 1989.
- [3] IEC 61000-1-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) -Part 1-3: General -The effects of high-altitude EMP (HEMP) on civil equipment and systems*
- [4] VANCE, EF., "EMP Hardening of Systems", *Proceeding of the 4th Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility*, Zurich, March 10-12, 1981.
- [5] MIL-STD-188-125-1,2:1999 *High-Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) Protection For Ground-Based C41 Facilities Performing Critical, Time-Urgent Missions; Part 1: Fixed Facilities, Part 2 Transportable Systems*.
- [6] *Electromagnetic Pulse (EMP) and Tempest Protection For Facilities*, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC 20314-1000, Publication 1110-3-2, 31 December 1990.
- [7] TAYLOR, CD. and GIRI, D V. *High Power Microwave Systems and Effects*. Taylor & Francis, Inc., January 1994
- [8] GIRI, DV and KAELIN AW. *Many Faces of High-Power Electromagnetics (HPEM) and Associated Problems in Standardization*. Presentation at the AMEREM'96 Meeting, Kirtland AFB, Albuquerque, NM, 1996
- [9] LEACH, PO. and ALEXANDER, MB. *Electronic Systems Failures and Anomalies Attributed to Electromagnetic Interference*", NASA Report 1374, National Aeronautics and Space Administration. Washington, CC 20546-0001, July 1995.
- [10] GARDNER, RL. *Electromagnetic Terrorism. A Real Danger*. Proceedings of the XI<sup>th</sup> Symposium on Electromagnetic Compatibility, Wroclaw, Poland, June 1998.
- [11] BACKSTROM, M., NORDSTROM, B., LOVSTRAND, KG. *Is HPM a Threat Against the Civil Society?*" URSI XXVIIth General Assembly, Maastricht, the Netherlands, August 17- 24,2002.
- [12] Workshop on "*Electromagnetic Terrorism and Adverse Effects of High Power Electromagnetic (HPE) Environments*", Proceedings of the 13th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility, February 16-18, 1999.
- [13] AMEREM'96 Meeting, Albuquerque, New Mexico, May 27-31,1996.
- [14] EUROEM'98, Tel Aviv, Israel, June 14-19, 1998, and EUROEM 2000, Edinburgh, Scotland, 30 May-2 June 2000.



- [15] International Scientific Radio Union (URSI) General Assembly, Toronto, 1999.
- [16] ROSENBERG, E. "New Face of Terrorism: Radio-Frequency Weapons", *New York Times*, 23 June 97.
- [17] "City surrenders to £400m gangs", *The Sunday Times*, London, 2 June 1996.
- [18] LOBOREV, VM. The Modern Research Problems. Plenary Lecture, AMEREM'96 Meeting, Albuquerque, NM, USA, May 1996.
- [19] SAWYER, D. "20/20 Segment on Non-lethal Weapons", American Broadcasting Company (ABC), aired in February 1999.
- [20] BACKSTROM, M., FROST, C., ANAS, P. *Forstudie rörande vitala samhällssystem motståndskraft mot elektromagnetisk strålning med hög intensitet (HPM)*. Användarrapport FOA-R--97-00538-612--SE, August 1997, ISSN 1104-9154. In Swedish (abstract in English), English title: "Preliminary Study on the Resistance of Critical Societal Functions Against Intense Electromagnetic Radiation".
- [21] MERRITT, IW., U. S. Army Space and Missile Defense Command. *Proliferation and Significance of Radio Frequency Weapons Technology*. Testimony before the Joint Economic Committee, United States Congress, February 25, 1998.
- [22] IEC 61000-5-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 5-3: Installation and mitigation guidelines -HEMP protection concepts*
- [23] IEC 61000-5-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 5: Installation and mitigation guidelines -Section 4: Immunity to HEMP -Specifications for protective devices against HEMP radiated disturbance*
- [24] IEC 61000-5-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 5-6: Installation and mitigation guidelines -Mitigation of external EM influences*
- [25] IEC 61000-2-9, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2: Environment -Section 9: Description of HEMP environment -Radiated disturbance*
- [26] IEC 61000-2-10, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-10: Environment - Description of HEMP environment - Conducted disturbance*
- [27] BENFORD, J. and SWEAGLE, J. (Editors), *High-Power Microwaves*, Artech House, Norwood, Massachusetts, 1992.
- [28] IEC 61000-2-13, *Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-13: Environment -High- power electromagnetic (HPEM) environments - Radiated and conducted (to be published)*
- [29] LOVETRI, J., WILBERS, ATM. and ZWAMBORN, APM. *Microwave Interaction with a Personal Computer: Experiment and Modeling*. Proceedings of the 1999 Zurich EMC Symposium.

- [30] BACKSTROM, M. *HPM Testing of a Car: A Representative Example of the Susceptibility of Civil Systems*. Workshop W4, Proceedings of the 13th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on EMC, February 1999, pp. 189-190.
- [31] ROE, JM. and PUGLIELLI, VG. Using the Integrated Circuit Electromagnetic Susceptibility Handbook to Assess the Susceptibility of Electronic Systems. *Proceedings of the 1979 Symposium and Technical Exhibition on EMC*, Rotterdam, Holland.
- [32] WHALEN, JJ. Assessment Procedure Application Utilizing UHF Transistor RF Pulse Susceptibility Data. *Proceedings of the 1977 Symposium and Technical Exhibition on EMC*, Montreux, Switzerland.
- [33] HJELLEN, GA. and LANGE, T J. A Thermal Damage Model for Bipolar Semiconductors, *Proceedings of the 1977 IEEE Symposium on EMC*.
- [34] VAN KEUREN, E., HENDRICKSON, R. and MAGYARICS, R. Circuit Failure Thresholds Due to Transient Induced Stresses. *Proceedings of the 1975 Symposium and Technical Exhibition on EMC*, Montreux, Switzerland.
- [35] CLARK, OM., Device and Methods for EMP Transient Suppression, *Proceedings of the 1975 IEEE Symposium on EMC*.
- [36] FOWLES, HM. *Test and Evaluation of Electrical PoE Protection Devices Using MIL-STD- 188-125 Short-, Intermediate-, and Long-Duration Pulses*. Mission Research Corp., Technical Report MRC/ABQ-1340, July 1990.
- [37] WIK, M., KAPP, WH., EGGENDORFER, A., JOHL, W., BUCHMANN, W. Measurement and Application of Secondary Surge Arresters for the Purpose of HEMP Protection. *Proceedings of the 1981 Symposium and Technical Exhibition on EMC*, Zurich, Switzerland.
- [38] EICHLER, CH., IECRO, JR. and BARNES, PR. Experimental Determination of The Effects of Steep Front-Short Duration Surges on 25 KVA Pole-Mounted Distribution Transformers, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, No.2, April 1989.
- [39] SALAS, TM., WIGGINS, CM. and BARNES, PR. Steep Front Impulse Flashover Tests on a Solid-State Relay. Paper No. 90 WM 126-3 PWRD, *Proceedings of the IEEE/PES 1990 Winter Meeting*, Atlanta, Georgia, February 4-8,1990.
- [40] BARNES, PR. and HUDSON, TL. Steep-Front Short-Duration Voltage Surge Tests of Power Line Filters and Transient Voltage Suppressors. Paper 88 SM 541-5, *Proceedings of the IEEE/PES Summer Meeting*, July 1988.
- [41] MILLER, D B., LUX, AE. GRZYBOWSKI, S. and BARNES, PR. The Effects of Steep- Front, Short-Duration Impulses on Power Distribution Components. *Digest of the IEEE/PES Summer Meeting*, Long Beach, CA, July 10-14,1989.

- [42] BACHL, H., MARTZLOFF, F. and NASTASL, D. Using Incandescent Lamp Failure Levels for Assessment of the Surge-Environment. *Proceedings of the 1997 Symposium and Technical Exhibition on EMC*, Zurich, Switzerland.
- [43] GORANSSON, G. HPM Effects on Electronic Components and the Importance of This Knowledge in Evaluation of System Susceptibility. *Proceedings of the 1999 IEEE EMC Symposium*, Seattle, Washington.
- [44] RADASKY, WA., MESSIER, MA., WIK, MW. Intentional Electromagnetic Interference (EMI) -Test Data and Implications. *Proceedings of the 14th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on EMC*, February 2001.
- [45] IEC 61000-4-5, *Electromagnetic Compatibility (EMC) -Part 4: Testing and measurement techniques -Section 5: Surge immunity test*
- [46] IEC 61000-4-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) -Part 4-4: Testing and measurement techniques -Electrical fast transient/burst immunity test*
- [47] FORTOV, V., LOBOREV, V., PARFENOV, Y., SIZRANOV, V., YANKOVSKII, B., RADASKY, W. Estimation of Pulse Electromagnetic Disturbances Penetrating into Computers Through Building Power and Earthing Circuits. *EUROEM 2000 Conference*, Edinburgh, May 2000.
- [48] FORTOV, V., PARFENOV, Y., ZDOUKHOV, L., BORISOV, R., PETROV, S., SINIY, L. A computer code for estimating pulsed electromagnetic disturbances penetrating into building power and earthing connections. *Proceedings of the 14th International Zurich Symposium and Technical Exhibition on EMC*, February 2001.
- [49] LANDGREN, PG. Some Directivity Properties of Test Objects in the Microwave Region. *Proceedings of the 2001 IEEE EMC Symposium*, Montreal, Canada.
- [50] *Special Issue on Intentional Electromagnetic Interference (IEMI)*. *IEEE Transactions on EMC*, August 2004.
-