

**TCVN 7909-2-6 : 2008**  
**IEC/TR 61000-2-6 : 1995**

Xuất bản lần 1

**TƯƠNG THÍCH ĐIỆN TỪ (EMC) –**  
**PHẦN 2-6: MÔI TRƯỜNG – ĐÁNH GIÁ MỨC PHÁT XẠ**  
**LIÊN QUAN ĐẾN NHIỀU DẪN TẦN SỐ THẤP TRONG**  
**CUNG CẤP ĐIỆN CỦA KHU CÔNG NGHIỆP**

*Electromagnetic compatibility (EMC) –*

*Part 2-6: Environment – Assessment of the emission levels in the power supply of industrial plants as regards low-frequency conducted disturbances*

**HÀ NỘI – 2008**



**Mục lục****Trang**

Lời nói đầu .....	4
Lời giới thiệu .....	5
1 Phạm vi áp dụng .....	7
2 Tài liệu viện dẫn .....	7
3 Yêu cầu chung .....	8
4 Phối hợp giữa các mức phát xạ với các mức tương thích .....	9
5 Định nghĩa .....	10
6 Khảo sát phát xạ dẫn của thiết bị công nghiệp .....	10
7 HÀI .....	11
7.1 Mô tả hiện tượng và nguồn nhiễu .....	11
7.2 Dữ liệu phát xạ điển hình .....	13
7.3 Ảnh hưởng của các điều kiện làm việc và lắp đặt đến phát xạ .....	13
7.4 Tổng các hài .....	13
8 HÀI trung gian .....	17
8.1 Nguồn dòng điện và điện áp hài trung gian .....	17
8.2 Dòng điện đường dây có hài trung gian của bộ chuyển đổi gián tiếp .....	18
8.3 Dòng điện hài trung gian phát ra từ bộ chuyển đổi trực tiếp .....	19
8.4 Tầng dưới đồng bộ .....	20
8.5 Bộ chuyển đổi tự đảo mạch phía đường dây .....	20
8.6 Lò hồ quang .....	20
8.7 Tính tổng các thành phần tần số hài trung gian .....	21
9 Mất cân bằng ba pha .....	21
9.1 Mô tả nguồn nhiễu .....	21
9.2 Đặc tính phát xạ .....	22
9.3 Tính tổng của một số nguồn .....	23
10 Thay đổi điện áp, chập chờn và sụt áp .....	23
10.1 Thay đổi điện áp .....	23
10.2 Chập chờn .....	25
10.3 Sụt áp .....	25
Phụ lục A (tham khảo) – Phát xạ hài .....	35
Phụ lục B (tham khảo) – Trở kháng mạng dùng để tính mức lan truyền hài và đánh giá các thành phần điện áp hài .....	50
Phụ lục C (tham khảo) – HÀI trung gian dòng điện đường dây của bộ chuyển đổi gián tiếp .....	59
Phụ lục D (tham khảo) – Mất cân bằng ba pha .....	64
Phụ lục E (tham khảo) – Thư mục tài liệu tham khảo .....	66

**Lời nói đầu**

TCVN 7909-2-6: 2008 hoàn toàn tương đương với IEC/TR 61000-2-6: 1995;

TCVN 7909-2-6: 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 7909-2-6: 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 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**

*Electromagnetic compatibility (EMC) –*

*Part 2-6: Environment – Assessment of the emission levels in the power supply of industrial plants as regards low-frequency conducted disturbances*

#### **1 Phạm vi áp dụng**

Tiêu chuẩn này đưa ra các qui trình khuyến cáo để đánh giá mức nhiễu sinh ra do phát xạ của máy móc, thiết bị và hệ thống được lắp đặt trong mạng lưới của môi trường công nghiệp, không phải là mạng cấp điện công cộng, liên quan đến nhiễu dẫn tần số thấp trong hệ thống cung cấp điện; trên cơ sở đó, có thể rút ra được mức phát xạ liên quan. Tiêu chuẩn này áp dụng cho hệ thống cung cấp điện xoay chiều hạ áp hoặc trung áp không phải là mạng cấp điện công cộng ở tần số 50/60 Hz. Các mạng cấp điện cho phương tiện đường thủy, phương tiện hàng không, giàn ngoài khơi và phương tiện đường sắt không nằm trong phạm vi áp dụng của tiêu chuẩn này.

Tiêu chuẩn này đề cập đến nhiễu dẫn tần số thấp được phát ra từ thiết bị nối với hệ thống cung cấp điện. Các nhiễu cần quan tâm là:

- hài và hài trung gian;
- mất cân bằng;
- thay đổi điện áp;
- sụt áp.

#### **2 Tài liệu viện dẫn**

Các tài liệu viện dẫn dưới đây là cần thiết để áp dụng tiêu chuẩn này. Đối với các tài liệu có ghi năm công bố, chỉ áp dụng các bản được nêu. Đối với các tài liệu không ghi năm công bố, áp dụng bản mới nhất (kể cả các sửa đổi).

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

IEC 60146, Semiconductor convertors (Bộ chuyển đổi bán dẫn)

IEC 61000-3-3:1994, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current  $\leq 16$  A (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 3: Giới hạn – Mục 3: Giới hạn biến động điện áp và nhấp nháy trong hệ thống cung cấp điện hạ áp dùng cho thiết bị có dòng điện danh định  $\leq 16$  A)

IEC 61000-3-5: 1994, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits – Section 5: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current greater than 16 A (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 3: Giới hạn – Mục 5: Giới hạn biến động điện áp và nhấp nháy trong hệ thống cung cấp điện hạ áp dùng cho thiết bị có dòng điện danh định lớn hơn 16 A)

### **3 Yêu cầu chung**

Để đạt được tương thích điện từ, cần hạn chế mức nhiễu tổng tại các điểm ghép nối khác nhau; điều này nghĩa là bộ khống chế phát xạ của phụ tải gây nhiễu phải nối vào hệ thống cung cấp điện.

Trong phạm vi mà mạng lưới hạ áp công cộng đề cập đến, việc khống chế mức nhiễu có được bằng cách giới hạn chặt chẽ mức phát xạ của thiết bị tiêu thụ đến 16 A lắp đặt trong mạng lưới. Các giới hạn này được cố định trên cơ sở xem xét thống kê về:

- tính phổ biến rộng rãi của thiết bị trong mạng lưới;
- loại ứng dụng (yếu tố đồng thời);
- đặc tính của mạng.

Tất cả các thiết bị tiêu thụ đến 16 A có thể được kết nối, miễn là thỏa mãn giới hạn phát xạ trong tiêu chuẩn liên quan.

Cách tiếp cận này phản ánh thực tế là trong mạng cấp điện công cộng không thể có phối hợp chặt chẽ giữa những người sử dụng khác nhau với các ngành phục vụ.

Liên quan đến khu công nghiệp và mạng không phải là mạng công cộng, sự phù hợp với mức tương thích phải đạt được ở các vị trí khác nhau:

**A. Tại điểm ghép nối chung (PCC) đến mạng công cộng.** Phát xạ tổng của khu công nghiệp vào mạng công cộng chịu giới hạn liên quan, dựa trên các yêu cầu của ngành phục vụ và dựa trên các điều kiện của mạng cung cấp điện.

**B. Tại (các) điểm ghép nối bên trong (IPC).** Mức nhiễu tổng sinh ra do phát xạ của thiết bị trong khu công nghiệp và mức nhiễu từ nguồn đưa vào cần được giới hạn để chọn mức tương thích tại IPC liên quan.



Sự phù hợp với các yêu cầu nêu trên có thể đạt được bằng cách ấn định các giới hạn về phát xạ của các mảng thiết bị đơn lẻ, có xem xét các yêu cầu dưới đây:

- trở kháng thực của mạng lưới mà thiết bị được nối vào;
- sự kết hợp giữa các thiết bị đang có trong khu công nghiệp;
- ứng dụng thực tế của thiết bị liên quan đến tổ chức quá trình sản xuất;
- khả năng khống chế và giảm nhẹ nhiều có thể đạt được nhờ các biện pháp như thiết bị lọc hoặc thiết bị bù, phân bố tải trên các nguồn cung cấp khác nhau, phân đoạn tải gây nhiễu.

Cách tiếp cận này phản ánh thực tế là trong khu công nghiệp có thể phối hợp các tải gây nhiễu, cả ở giai đoạn thiết kế và ở giai đoạn vận hành.

Để đạt được mức kinh tế tổng thể, các yếu tố dưới đây là quan trọng đối với giới hạn phát xạ của từng mảng thiết bị:

- phát xạ thực tế của mảng thiết bị có thể phụ thuộc nhiều vào đặc tính của mạng cung cấp;
- thiết bị công suất thấp, ngay cả khi không tương thích về mức phát xạ với tiêu chuẩn mạng công cộng thì cũng có thể có tác động tổng thể không đáng kể trong khu công nghiệp khi có thiết bị gây nhiễu nặng;
- dạng thức tổng của nhiễu gây ra do các nguồn khác nhau phụ thuộc nhiều vào thiết kế thiết bị và qui trình gia công liên quan;
- trong chừng mực nhất định, người sử dụng có thể chọn các mức tương thích điện từ áp dụng được tại IPC. Thực tế, việc chọn này là sự cân bằng giữa chi phí để giới hạn mức phát xạ và chi phí để giảm mức nhiễu bằng biện pháp giảm nhẹ nhiễu hoặc chi phí để tăng miễn nhiễm.

#### **4 Phối hợp giữa các mức phát xạ với mức tương thích**

Giới hạn phát xạ cho phép của thiết bị có thể được chỉ ra thông qua qui trình ba bước:

a) Thông tin giữa ngành phục vụ và người sử dụng, và giữa người sử dụng và nhà chế tạo

Ngành phục vụ cần cung cấp cho người sử dụng các thông tin tối thiểu dưới đây:

- giới hạn phát xạ tổng áp dụng cho khu công nghiệp;
- mức nhiễu hiện tại và tương lai có thể có tại PCC, chưa kể nhiễu do khu công nghiệp tạo ra;
- dải các giá trị của trở kháng nguồn tại điểm ghép nối cần thiết để đánh giá nhiễu; dải này liên quan đến cả cấu hình mạng và đặc tính tần số.

Người sử dụng cần cung cấp cho ngành phục vụ các thông tin về:

- đặc tính của thiết bị cần lắp đặt, và chế độ làm việc của nó;
- đặc tính của thiết bị bù hệ số công suất;
- đặc tính của bộ lọc có thể có để bù dòng điện hài.

## TCVN 7909-2-6 : 2008

Người sử dụng cần cung cấp cho nhà chế tạo các thông tin tối thiểu dưới đây:

- kế hoạch lắp đặt, và đặc tính của thiết bị được nối;
- mức phát xạ của các thiết bị khác nằm trong hệ thống lắp đặt và nhiễu dẫn bởi mạng cung cấp điện;
- đặc tính của quá trình.

Nhà chế tạo cần cung cấp cho người sử dụng các thông tin tối thiểu dưới đây:

- mức phát xạ có thể có của thiết bị hoặc hệ thống liên quan trong điều kiện làm việc qui định;
- độ nhạy của mức phát xạ để thay đổi, ví dụ như trở kháng nguồn, điện áp làm việc, v.v...

b) Chọn qui tắc tính tổng đúng để tính sự có mặt của các nguồn nhiễu khác nhau trong khu công nghiệp.

c) Đánh giá mức phát xạ tổng có thể có của khu công nghiệp tại PCC, và đánh giá mức nhiễu tổng có thể có tại IPC.

Nếu phát xạ tổng của hệ thống, hoặc mức nhiễu có thể có vượt quá mức tương thích liên quan, có tính đến việc phát triển mạng lưới sau này, và khả năng tăng số lượng nguồn nhiễu trong khu công nghiệp thì cần xem xét các điều khoản dưới đây:

- thay đổi cấu hình mạng lưới;
- thay đổi đặc tính của thiết bị gây nhiễu;
- đặt các bộ lọc hoặc thiết bị bù;
- chịu được nhiễu sinh ra và tăng mức miễn nhiễm của thiết bị liên quan (điều khoản này không áp dụng cho PCC mà chỉ áp dụng cho IPC).

Qui trình này được lặp lại cho đến khi đáp ứng được tất cả các yêu cầu.

## 5 Định nghĩa

Tất cả các thuật ngữ đều theo IEC 60050(161), IEC 60146 và IEC 61000-3.

## 6 Khảo sát phát xạ dẫn của thiết bị công nghiệp

Bảng 1 thể hiện việc khảo sát về nguồn phát xạ dẫn tần số thấp và ảnh hưởng của chúng đến lưới điện.

**Bảng 1 – Nguồn nhiễu dẫn tần số thấp**

Phân loại	Ví dụ	Dạng nhiễu được tạo ra
Đặc tính phi tuyến	Thiết bị bảo hoà từ, bóng đèn phóng điện trong chất khí	Hài
	Lò hồ quang, máy hàn hồ quang xoay chiều	Hài, hài trung gian, thay đổi điện áp, mất cân bằng
	Máy biến áp khi được đóng điện	Hài, sụt áp
Tải có đóng cắt bằng điện tử	Bộ chuyển đổi, bộ điều khiển xoay chiều	Hài, hài trung gian, thay đổi điện áp, mất cân bằng
	Cơ cấu điều khiển nhiễu chu kỳ	
Tải có đóng cắt	Tụ điện, bộ lọc và động cơ cảm ứng khi được đóng điện	Hài trung gian, sụt áp

## 7 Hài

### 7.1 Mô tả hiện tượng và nguồn nhiễu

Thành phần hài ở dòng điện đường dây chủ yếu phát ra theo các cách được mô tả trong các điều dưới đây; các đặc tính tải bổ sung được thể hiện trong Phụ lục A.

#### 7.1.1 Đóng cắt dòng điện đường dây với tần số đường dây hoặc bội số của tần số đường dây bằng thiết bị đóng cắt điện tử, ví dụ như bộ chuyển đổi bán dẫn

Chức năng này có thể điều khiển được nếu là thyristor hoặc không điều khiển được nếu là diốt. Chức năng này trong hầu hết các trường hợp, đạt được bằng cách đóng cắt theo chu kỳ một dây nối tiếp trở kháng và nguồn điện áp hoặc từ pha sang pha. Về nguyên tắc, ba đặc tính phát sinh hài trong bộ chuyển đổi có thể do:

a) Tải được đóng hoặc cắt theo chu kỳ, ví dụ, bộ đóng cắt điều khiển xoay chiều đóng điện cho tải của nó ở các góc pha rời rạc rời cắt điện khi dòng điện giảm về 0. Hình 1a chỉ ra bố trí theo sơ đồ. Biên độ và góc pha của dòng điện hài tùy thuộc vào góc mà tại đó điện áp đường dây được nối với tải, phụ thuộc vào chênh lệch giữa điện áp đường dây và điện áp tải, và kết quả nối tiếp của tải với trở kháng đường dây.

Các ứng dụng điển hình là:

- gia nhiệt, hàn, nấu chảy;
- cung cấp điện áp một chiều lớn cho máy ngưng tụ tĩnh điện hoặc van truyền;
- cung cấp dòng điện một chiều lớn để mạ điện hoặc tẩy rửa kim loại;
- bộ bù công suất phản kháng tĩnh;

## TCVN 7909-2-6 : 2008

- bộ khởi động động cơ xoay chiều.

b) Dòng điện đưa vào được đóng cắt theo chu kỳ từ pha sang pha (điện cảm một chiều cao).

Hình 1b thể hiện sơ đồ bố trí.

Thiết bị điển hình theo phân loại này là:

- bộ chuyển đổi cấp điện cho tải một chiều (như bộ truyền động bằng điện một chiều; bộ cấp nguồn một chiều cho xe kéo quá trình điện hoá và điện nhiệt; kích thích bằng điện một chiều cho cuộn dây máy điện hoặc nam châm; bộ chuyển đổi cho máy hàn một chiều);
- bộ chuyển đổi có tuyến một chiều (ví dụ, bộ truyền động xoay chiều có bộ chuyển đổi nguồn dòng (CSI) hoặc bộ chuyển đổi tăng dưới đồng bộ; nguồn một chiều dùng cho bộ chuyển đổi trung tần cấp điện để làm nóng đổ kim loại hoặc lò cảm ứng);
- bộ chuyển đổi hai chiều, bộ chuyển đổi vòng tròn (ví dụ, bộ truyền động bằng điện xoay chiều, cung cấp tần số thấp để làm nóng chảy và tinh chế bằng điện nhiệt) như chỉ ra trong Hình A.7 của Phụ lục A.

c) Điện áp một chiều được đóng và cắt theo chu kỳ vào đường dây qua các trở kháng. Bộ chuyển đổi được nối với đường dây ba pha được đóng cắt ở phía một chiều ở các góc pha rời rạc từ pha sang pha có độ tự cảm một chiều thấp. Hình 1b chỉ ra mạch điện tương đương. Dòng điện hài sinh ra tương ứng với dòng điện hài của bộ điều khiển xoay chiều. Ở đây, dòng điện giảm về 0 được bắt đầu tại thời điểm muộn nhất là lúc đóng chuyển mạch của pha tiếp theo hoặc xảy ra trước đó trong trường hợp dòng điện thấp hoặc độ tự cảm một chiều thấp, vì cực tính của điện áp đang giảm lúc đó.

Thiết bị điển hình trong loại này là:

- bộ chuyển đổi có đường điện áp một chiều (ví dụ bộ truyền động xoay chiều có bộ chuyển đổi nguồn áp (VSI); nguồn điện không gián đoạn (UPS); nguồn áp một chiều dùng cho bộ chuyển đổi cộng hưởng để gia nhiệt hoặc hàn kim loại);
- bộ chuyển đổi tự đổi chiều (bộ chuyển đổi dùng cho các bộ truyền động và bộ bù không yêu cầu công suất phản kháng hoặc bù).

### 7.1.2 Trở kháng không tuyến tính ví dụ như điện trở phụ thuộc dòng điện

(xem Hình 1c)

Thiết bị điển hình trong loại này là:

- lò hồ quang (hồ quang xoay chiều để làm nóng chảy kim loại và luyện kim);
- máy hàn xoay chiều (hàn hồ quang được cấp điện qua máy biến áp điện kháng cao);
- bóng đèn huỳnh quang, bóng đèn phóng điện qua chất khí trong phần lớn các ứng dụng dùng cho chiếu sáng.

### 7.1.3 Đóng điện cho cuộn cảm bão hoà (ví dụ, đóng điện cho động cơ cảm ứng hoặc máy biến áp)

Bão hoà từ có thể gây ra thành phần dòng điện quá độ. Đóng mạch cộng hưởng có điện cảm và điện dung dao động quá độ vào lưới điện (ví dụ, khi đóng điện cho bộ lọc hoặc tụ điện, các dao động quá độ được tạo ra giữa điện dung của bộ lọc và các điện cảm của bộ lọc với đường dây).

Hình 1c chỉ ra mạch điện tương đương.

## 7.2 Dữ liệu phát xạ điển hình

Dải dữ liệu phát xạ điển hình được thể hiện trong Phụ lục A dùng cho hầu hết các phụ tải có phát sinh dòng điện hài đường dây. Chúng được đưa ra chỉ để hướng dẫn. Các dữ liệu tin cậy để đánh giá nhiều cần có được từ nhà chế tạo dựa trên các tham số thiết kế thực tế và bằng thực nghiệm với thiết bị tương tự.

### 7.3 Ảnh hưởng của các điều kiện làm việc và lắp đặt đến phát xạ

Để có kết quả phát xạ của một số tải (ví dụ như bộ chuyển đổi), cần ước tính tổng giá trị và góc pha của dòng điện hài. Cách đấu nối bộ chuyển đổi và máy biến áp (nếu có), cũng như điều kiện tải đồng bộ và đồng nhất đối với bộ chuyển đổi, hoặc hoạt động ngẫu nhiên của chúng, phải được xem xét; vấn đề này được đề cập ở 6.4.

Nhiều trong hệ thống cung cấp có thể được xác định bằng sự xuất hiện của các thành phần hài trong điện áp đường dây nhận được từ điện áp rơi do có dòng điện hài chạy qua trở kháng đường dây. Trở kháng đường dây này được xác định bằng cách nối song song và nối tiếp tất cả các trở kháng với lưới cao áp xếp chồng, và với tất cả các tải, thành phần bù và thành phần lọc, giả sử các giá trị này áp dụng cho tần số tương ứng (xem Hình 2a). Do đó, phải nhận biết và tính đến sự cộng hưởng có thể có. Các thông tin bổ sung được nêu trong Phụ lục B.

## 7.4 Tổng các hài

Khi một số thiết bị sinh ra dòng điện hài có trong cùng một khu công nghiệp thì dòng điện hài trong đường dây, và điện áp hài tại các điểm liên quan (IPC hoặc PCC) phụ thuộc vào hiệu ứng xếp chồng do chênh lệch về biên độ và góc pha của dòng điện phát ra từ các nguồn khác nhau.

Tính toán chính xác điện áp hài thu được (tổng vectơ) bị hạn chế ở một số trường hợp đặc biệt. Tính tổng đại số của các phần đóng góp từ từng nguồn hài có thể thể hiện trường hợp xấu nhất nhưng phương pháp này thường dẫn đến các giá trị cao không thực tế, đặc biệt là ở các bậc hài cao.

Ước lượng gần đúng là thích hợp cho hầu hết các trường hợp. Có một số phương pháp ước lượng gần đúng đối với các hài thu được, xem [4], [5] và [6] trong Phụ lục E về các tài liệu liên quan.

### 7.4.1 Điện áp hài tại điểm liên quan

Điện áp hài  $\underline{U}_h$  của bậc h tại điểm liên quan (IPC hoặc PCC) là kết quả của công thức (xem Hình 2b):

$$\underline{U}_h = \underline{U}_{ho} + \sum \underline{U}_{hi} \quad (1)$$

trong đó

$\underline{U}_{ho}$  là điện áp hài bậc h của lưới cung cấp không xét đến ảnh hưởng của các nguồn liên quan (nhiều nền);

$\underline{U}_{hi}$  là điện áp hài bậc h sinh ra do nguồn i đưa vào.

Giả thiết là tất cả các trở kháng truyền giữa điểm nối của các nguồn gây nhiễu và điểm liên quan là bằng nhau đối với tất cả các nguồn gây nhiễu (xem Hình 2b);  $\underline{U}_h$  thu được từ:

$$\underline{U}_h = \underline{U}_{ho} + Z_h \sum I_{hi} \quad (2)$$

trong đó

$Z_h$  là trở kháng hài tương đương nhìn từ điểm liên quan.

### 7.4.2 Tổng điện áp hài

#### 7.4.2.1 Nguyên tắc ước tính

Vấn đề tính tổng xuất hiện khi nghiên cứu cách nối một phụ tải công nghiệp mới có tạo ra hài, vì mức phát xạ có thể là hậu quả của dạng thức này nên các hài sẽ cộng thêm vào các hài phát ra từ các tải đang có sẵn và tải sẽ có khác. Vì thiếu thông tin và tính biến thiên vốn có liên quan đến tất cả các tải riêng rẽ phát ra hài dẫn đến cho nên phải sử dụng phương pháp thống kê để ước tính vectơ hài thu được. Ở phương pháp này, mỗi nguồn hài được thể hiện bằng vectơ biến thiên theo thời gian ngẫu nhiên. Cả độ lớn và góc pha của các vectơ này được mô hình bằng luật phân bố.

Để thu được qui tắc đơn giản cho các ứng dụng thực tế, chấp nhận hệ số đa dạng K:

$$K = \frac{\left| \sum \underline{U}_{hi} \right|}{\sum |\underline{U}_{hi}|} \quad (3)$$

K được xác định là tỉ số giữa tổng vectơ (thực tế hoặc có thể) và tổng đại số của phần đóng góp riêng rẽ của tất cả các nguồn hài. Phần đóng góp này là do phát xạ liên quan đến đặc tính thiết kế vận hành của thiết bị liên quan.

Với sự hỗ trợ của hệ số đa dạng K, nhiều tổng  $\underline{U}_h$  có thể được tính như sau:

$$|\underline{U}_h| \approx |\underline{U}_{ho}| + K \sum |\underline{U}_{hi}| \quad (4)$$

Giá trị của hệ số đa dạng có ảnh hưởng lẫn nhau do:

- loại tải gây nhiễu, ví dụ trong trường hợp bộ chuyển đổi;
  - bộ chuyển đổi có điều khiển hoặc không điều khiển;
  - điện cảm hoặc điện dung dùng để san phẳng;
  - loại tải (thuần trở, điện cảm, động cơ);
  - số lượng bộ chuyển đổi làm việc đồng thời;
- kiểu hoạt động của các nguồn nhiễu khác nhau (các chu kỳ công suất phối hợp, hoặc độc lập với nhau);
- tính biến thiên của tải;
- bậc của hài cần xem xét.

#### 7.4.2.2 Ứng dụng thực tế của việc ước tính

Hai phương pháp tính hệ số đa dạng K được đề xuất, tùy thuộc vào hiểu biết về phân bố hài của tất cả các thiết bị trong mạng lưới công nghiệp, và độ chính xác yêu cầu của điện áp hài thu được tại điểm liên quan. Cụ thể, phương pháp 1 đề cập đến các nhóm thiết bị đặc biệt, trong khi phương pháp 2 đề cập đến toàn bộ việc xem xét thống kê.

#### Phương pháp 1

Phương pháp này đưa ra các hệ số đa dạng có thể áp dụng. Phương pháp này được coi là tốt để ước tính gần đúng sơ bộ hoặc để nhận biết được giá trị điện áp hài ở điểm liên quan, với khoảng dư an toàn đáng kể liên quan đến mức tương thích. Phương pháp này áp dụng cho các hài bậc thấp  $h \leq 7$ .

Hệ số đa dạng K thu được từ công thức sau:

$$K = \frac{\sum K_i |U_{hi}|}{\sum |U_{hi}|} \quad (5)$$

Trong một khu công nghiệp có thể có một số  $K_i$  khác nhau.

Dựa vào [13] của Phụ lục E, hệ số đa dạng  $K_i$  dùng cho các tải riêng rẽ và đối với các bậc hài khác nhau được cho trong Bảng 2.

**Bảng 2 – Hệ số đa dạng  $K_i$  dùng cho các giá trị khác nhau x và các bậc của hài, x là tỷ số giữa tải của thiết bị cần xem xét và tải gây nhiễu tổng của khu công nghiệp**

h	3	5	7	11	13	> 15
$x < 0,05$	0,6	0,5	0,3	0,2	0,2	0,1
$x = 0,1$	0,7	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3
$x = 0,2$	0,9	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5
$x > 0,5$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

## TCVN 7909-2-6 : 2008

CHÚ THÍCH: Nếu hệ thống lắp đặt nhiều khối được tạo thành từ một số bộ chuyển đổi chỉnh lưu không điều khiển thì  $K_i = 0,9$ .

Ngoài ra, nếu bộ chỉnh lưu không điều khiển có cùng chu kỳ tải thì  $K_i = 1,0$ .

Hệ số đa dạng trong bảng đã tính đến sự biến thiên tăng lên của góc pha  $\Delta\phi$  theo các hài bậc cao hơn (xem các con số liên quan đến phương pháp 2).

### Phương pháp 2

Phương pháp này dựa trên cơ sở phương pháp thống kê, thừa nhận mức tương thích đã được đáp ứng với xác suất 95 % hoặc cao hơn.

Hiểu biết nhất định liên quan đến sự biến thiên về độ lớn và góc pha của các phần đóng góp hài riêng rẽ đòi hỏi:

$$K = \frac{S(\underline{U}_{hi}(p))}{\sum |U_{hi}|} \quad (6)$$

trong đó

$S(\underline{U}_{hi}(p))$  là tổng vectơ thống kê có xác suất không quá 95 %.

Hệ số đa dạng  $K$  phụ thuộc vào sự biến thiên độ lớn và góc pha của các điện áp hài và số nguồn  $N$  thu được từ phương pháp [4] của Phụ lục E:

$$K \sum |U_{hi}| = b \left( \sum |U_{hi}|^a \right)^{1/a} \quad (7)$$

Các giá trị liên quan điển hình đối với  $a$  và  $b$  được cho trong Bảng 3 dưới đây; chúng được áp dụng cho các giá trị có xác suất không vượt quá 95 %:

**Bảng 3 – Giá trị  $a$  và  $b$  áp dụng đối với phân bố thống kê đồng nhất về biên độ và góc pha.  
Biên độ lớn nhất đều bằng nhau**

Dải phân bố góc pha	Dải phân bố độ lớn	N = 2		N > 2	
		b	a	b	a
0 - 360	0 - 1	1,0	2,0	1,0	2,0
	0,5 - 1	1,3	2,0	1,3	2,0
	1	1,0	1,0	1,7	2,0
0 - 270	0 - 1	0,9	1,6	0,9	1,6
	0,5 - 1	1,0	1,4	1,0	1,4
	1	1,0	1,0	1,3	1,4
0 - 180	0 - 1	0,8	1,3	0,8	1,3
	0,5 - 1	0,9	1,2	0,9	1,2
	1	1,0	1,0	1,2	1,2
0 - 90	0 - 1	0,9	1,2	0,9	1,2
	0,5 - 1	0,9	1,1	0,9	1,1
	1	1,0	1,0	1,0	1,0



CHÚ THÍCH: Công thức nêu trên chỉ có thể được sử dụng khi không có nguồn hài nào tạo ra lớn hơn 50 % tổng đại số của điện áp hài cần xét. Nếu không, xem phương pháp 1.

Thông thường áp dụng các yêu cầu dưới đây:

- hài bậc 3, 5 và 7                      góc pha đến  $90^\circ$
- hài bậc 11 và 13                      góc pha đến  $270^\circ$
- hài bậc cao hơn 13                      góc pha đến  $360^\circ$

Đối với các vectơ có độ lớn tối đa khác nhau, có thể sử dụng các hệ số có độ chính xác thích hợp. Nếu kết quả vượt quá tổng đại số thì sử dụng tổng đại số thay thế. Trong các trường hợp đặc biệt, khi kết quả có thể thấp hơn các thành phần riêng rẽ lớn nhất thì áp dụng thành phần riêng rẽ lớn nhất đó.

Nếu trong một trạm, một số bộ chuyển đổi được nối qua máy biến áp dịch pha (nhóm Y/ $\Delta$ ) và một số bộ chuyển đổi khác nối qua máy biến áp không dịch pha (nhóm Y/Y hoặc  $\Delta/\Delta$ ); các dòng điện hài bậc 5 và bậc 7 phát ra có xu hướng được bỏ qua, với điều kiện là các bộ chuyển đổi làm việc trong các điều kiện giống nhau.

## 8 Hài trung gian

### 8.1 Nguồn dòng điện và điện áp hài trung gian

Phần lớn điện áp và dòng điện hài trung gian ở hệ thống cung cấp điện được phát ra từ bộ chuyển đổi tần số tĩnh. Máy điện quay không có bộ chuyển đổi cũng phát ra điện áp hài trung gian nhưng liên quan đến bộ chuyển đổi sinh ra các hài trung gian, độ lớn của chúng là không đáng kể và được bỏ qua. Việc đưa các điện áp hài trung gian dự kiến vào lưới điện, ví dụ để điều khiển nhấp nhô, không được đề cập tại đây vì phát xạ đã biết hoàn toàn.

Cơ chế phát tần số hài trung gian tùy thuộc vào loại bộ chuyển đổi. Bảng 4 đưa ra tổng quan về các ứng dụng phổ biến của bộ chuyển đổi tần số tĩnh hoạt động như các nguồn hài trung gian.

**Bảng 4 – Tổng quan về dòng điện hài trung gian phát ra từ bộ chuyển đổi**

Bố trí bộ chuyển đổi		Ứng dụng điển hình
Phía nguồn	Phía tải	
Bộ chuyển đổi đảo mạch đường dây và có tuyến một chiều	Bộ nghịch lưu có đảo mạch đường dây	Bộ truyền động có tốc độ thay đổi, trao đổi công suất giữa các mạng lưới, tầng dưới đồng bộ
	Bộ nghịch lưu tự đảo mạch	Bộ truyền động có tốc độ thay đổi, UPS
	Bộ nghịch lưu cộng hưởng	Gia nhiệt cảm ứng
Bộ chuyển đổi tự đảo mạch và có tuyến một chiều		Bộ truyền động có tốc độ thay đổi
		Lưu giữ năng lượng
Bộ chuyển đổi trực tiếp (bộ biến đổi vòng tròn)		Chuyển đổi tần số dùng cho xe kéo và cho quá trình điện nhiệt, tầng siêu đồng bộ, truyền động có tốc độ thay đổi ở tốc độ quay thấp

Lò hồ quang xoay chiều cũng là nguồn hài trung gian. Ngoài ra, bất kỳ bộ chuyển đổi hoặc thiết bị không tuyến tính nào trong điều kiện làm việc không tĩnh tại đều có thể tạo ra dòng điện hài trung gian.

## 8.2 Dòng điện đường dây có hài trung gian của bộ chuyển đổi gián tiếp

Bộ chuyển đổi gián tiếp gồm có bộ chuyển đổi có đảo mạch đường dây ở phía nguồn cung cấp xoay chiều nối qua tuyến một chiều đến bộ chuyển đổi thứ hai, là bộ chuyển đổi động cơ, hoặc bộ chuyển đổi đổi cộng hưởng hoặc bộ chuyển đổi tự đảo mạch.

Tần số dưới đây thể hiện theo dòng điện nhấp nhô của tuyến một chiều:

$$\begin{aligned} f_{lh} &= n p_L f_L \\ &\text{và} \\ f_{lh} &= k p_A f_A \end{aligned} \quad (8)$$

trong đó

$f_{lh}$  là tần số của thành phần hài trong dòng điện của tuyến trung gian (Hz)

$p_L$  là số lượng xung của bộ chuyển đổi ở phía nguồn xoay chiều

$f_L$  là tần số đường dây (Hz)

$n, k$  là số nguyên 0, 1, 2, 3...

$p_A$  là số lượng xung của bộ chuyển đổi phía tải

$f_A$  là tần số phía tải (Hz); khi tải là động cơ thì tần số này liên quan đến tốc độ thực của động cơ.

Ở trạng thái ổn định, tần số dòng điện đường dây là:

$$f_{hh} = f_L (1 \pm n p_L) \pm k p_A f_A \quad (9)$$

trong đó

$f_{hh}$  là thành phần tần số dòng điện đường dây (Hz)

Khi  $k = 0$  (ứng với thành phần một chiều trong dòng điện của tuyến một chiều), công thức này cho đặc tính hài theo dòng điện đường dây. Với  $k$  khác 0, công thức này cho các tần số hài trung gian.

Tần số hài trung gian có biên độ lớn nhất là:

$$f_{mh} = (f_L \pm p_A f_A) \quad (10)$$

Hình 3a và 3b nêu tổng quan về các thành phần tần số. Số nằm dưới đường tần số là hệ số  $G$ , là tỷ số giữa dòng điện đường dây và dòng điện tuyến tương ứng với từng thành phần hài riêng rẽ.

Phụ lục C đưa ra công thức cần áp dụng vào ước tính gần đúng sơ bộ đối với dòng điện hài trung gian và cũng là ví dụ về ứng dụng của Hình 3b.

Nhà chế tạo có thể cung cấp các thông tin cụ thể hơn.

### 8.3 Dòng điện hài trung gian phát ra từ bộ chuyển đổi trực tiếp

Bộ chuyển đổi trực tiếp là bộ thay đổi tần số không có tuyến trung gian và không có cơ cấu lưu giữ năng lượng. Bộ chuyển đổi này chuyển đổi tần số đường dây thành dải tần từ 0 (một chiều) đến khoảng 40 % tần số đường dây.

Bộ chuyển đổi ba pha sang ba pha, gọi là bộ chuyển đổi vòng tròn, điều khiển cả tần số và biên độ điện áp. Ứng dụng chính của bộ chuyển đổi này là điều khiển tốc độ của máy điện quay ba pha cỡ lớn nhờ điều khiển tổng năng lượng truyền hoặc bằng cách điều khiển truyền năng lượng kiểu trượt của hệ truyền động. Trong trường hợp thứ hai, bộ chuyển đổi được nối với động cơ cảm ứng qua các vòng trượt, bộ điều khiển tốc độ bị giới hạn đến phạm vi sát với tốc độ đồng bộ (tăng của bộ chuyển đổi vòng tròn).

Sự chuyển đổi trực tiếp từ ba pha sang một pha được sử dụng trong các ứng dụng điển hình như các tuyến giữa hệ thống cung cấp điện công cộng và hệ thống cung cấp cho phương tiện đường sắt một pha, hoặc hệ thống cung cấp điện xoay chiều cho một số qui trình luyện kim cần tần số rất thấp. Phổ của dòng điện cung cấp bị chi phối bởi đặc tính của các hài:

$$f_{ch} = (1 \pm np_L) f_L \quad (11)$$

Ngoài ra, tồn tại các tần số biên.

Các tần số này được cho bởi:

$f_{hh} = f_{ch} \pm 2k f_A$       trong trường hợp phụ tải một pha (xem Hình 4);

$f_{hh} = f_{ch} \pm 6k f_A$       trong trường hợp phụ tải ba pha (bộ chuyển đổi vòng tròn, xem Hình 4);

$f_{ch}$       các tần số đặc trưng theo số lượng xung của bộ chuyển đổi nguồn cung cấp;

$f_A$       tần số đầu ra của bộ chuyển đổi vòng tròn.

Hình 4, 5 và 6 chỉ ra ảnh hưởng của các tham số phụ tải khác nhau, như:

- tần số phụ tải thấp và cao;
- bố trí 6 xung và 12 xung.

Biên độ của dòng điện hài phụ thuộc nhiều vào:

- dòng điện phụ tải;
- hệ số công suất phụ tải;
- điện áp động cơ (tùy thuộc vào tốc độ thực);
- kiểu điều khiển của bộ chuyển đổi, ví dụ, điều khiển hình sin, điều khiển hình thang, v.v...

#### 8.4 Tầng dưới đồng bộ

Kiểu điều khiển kiểu trượt này, nhờ bộ chuyển đổi gián tiếp đơn giản, được sử dụng để điều chỉnh tốc độ của động cơ cảm ứng trong dải công suất trung bình, và trong dải tốc độ xấp xỉ từ 60 % đến gần tốc độ hoàn toàn đồng bộ. Cuộn dây rôto truyền năng lượng (qua một bộ chỉnh lưu, tuyến một chiều và bộ nghịch lưu) trở về nguồn cung cấp xoay chiều. Dòng điện hài do bộ chỉnh lưu và bộ nghịch lưu phát ra chạy vào mạng lưới cung cấp. Ngoài ra, dòng điện hài phát ra từ các bộ chỉnh lưu ở phía rôto và được chuyển đổi tần số do cuộn dây quay.

Hình 7 thể hiện các tần số phát ra trong dòng điện đường dây là hàm của tốc độ.

Các công thức dưới đây gồm có:

$$f_{hh} = (1 \pm k s p_r) f_L \quad \text{phần đóng góp của stato}$$

và

$$f_{hh} = (1 \pm n p_L \pm s p_r) f_L \quad \text{phần đóng góp của rôto}$$

$$S = \frac{u_s - u_A}{u_s} \quad (12)$$

trong đó

$p_L$  là số lượng xung của bộ chuyển đổi được nối tại nguồn cung cấp xoay chiều;

$p_r$  là số lượng xung của bộ chỉnh lưu phía rôto  $p_r = 6$ ;

$u_s$  là tốc độ đồng bộ;

$u_A$  là tốc độ thực;

$s$  là hệ số trượt.

Hình 8 thể hiện một ví dụ về tầng siêu đồng bộ và tầng dưới đồng bộ, trong đó năng lượng trượt được điều khiển bởi bộ chuyển đổi vòng tròn.

#### 8.5 Bộ chuyển đổi tự đảo mạch phía đường dây

Điện áp hoặc dòng điện hài trung gian có thể được tạo ra nếu tần số phách không phải là số nguyên lần của tần số đường dây.

#### 8.6 Lò hồ quang

Lò hồ quang xoay chiều phát ra tần số hài và tần số hài trung gian. Trong khi bộ chuyển đổi phát ra phổ tần số rời rạc thì lò hồ quang phát ra phổ liên tục. Trong trường hợp đó, mật độ phổ hài cần được quan tâm.

Hình 9 đưa ra một ví dụ về lò hồ quang.

## 8.7 Tính tổng các thành phần tần số hài trung gian

Chỉ trong các trường hợp ngoại lệ, và trong thời gian ngắn thì các thành phần hài trung gian có cùng tần số; do đó, việc tính tổng các hài trung gian chỉ có thể thực hiện trong các trường hợp ngoại lệ này.

## 9 Mất cân bằng ba pha

### 9.1 Mô tả nguồn nhiễu

#### 9.1.1 Yêu cầu chung

Điện áp ba pha không cân bằng xuất hiện khi phụ tải không cân bằng được nối vào hệ thống điện. Phụ tải không cân bằng có dòng điện khác nhau về độ lớn hoặc pha ở cả ba pha.

Tải, ví dụ như động cơ xoay chiều ba pha, máy phát và bộ chuyển đổi, về nguyên tắc, không góp phần vào sự mất cân bằng trong quá trình hoạt động bình thường. Tuy nhiên, có thể xảy ra mất cân bằng nhỏ, do thiết kế không hoàn hảo nhưng điều này thường được bỏ qua và không thể tính bằng qui tắc chung.

Điện áp không cân bằng cũng có thể do dòng điện đối xứng trong hệ thống điện có trở kháng đường dây không cân bằng, nhưng điều này nằm ngoài phạm vi áp dụng của tiêu chuẩn này.

Trong trường hợp chung, có thể xuất hiện hài không cân bằng nhưng điều này không được xử lý ở đây. Phần này chỉ đề cập đến sự mất cân bằng điện áp cơ bản và dòng điện.

#### 9.1.2 Ví dụ về tải không cân bằng

Tất cả các phụ tải một pha, hoặc nối pha-trung tính hoặc pha-pha, đều gây mất cân bằng.

Các ví dụ điển hình là:

- thiết bị gia nhiệt;
- hệ thống chiếu sáng;
- bộ chuyển đổi và bộ chỉnh lưu một pha;
- bộ điều khiển xoay chiều;
- thiết bị dùng cho xe kéo dùng điện xoay chiều;
- máy hàn.

Để giảm sự mất cân bằng tổng, các tải này cần được phân phối càng đồng đều càng tốt trên ba pha. Lò hồ quang, ngay cả nếu chúng là thiết bị ba pha, cũng đại diện cho thiết bị gây mất cân bằng lớn.

## 9.2 Đặc tính phát xạ

### 9.2.1 Thành phần đối xứng

Hệ thống không cân bằng, có sử dụng các thành phần đối xứng, có thể được chia làm ba thành phần: thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không.

CHÚ THÍCH: Thành phần thứ tự không nằm ngoài phạm vi áp dụng của tiêu chuẩn này. Chúng không ảnh hưởng đến các tải được nối giữa các pha.

Thành phần thứ tự không có thể có trong điện áp pha-đất của bất kỳ hệ thống nào. Chúng có thể tồn tại trong dòng điện đường dây ngay cả khi hệ thống không có sẵn điểm trung tính; dòng điện có thể chạy xuống đất qua điện dung pha-đất.

### 9.2.2 Đánh giá dòng điện thứ tự nghịch

Việc tính thành phần dòng điện thứ tự nghịch là như nhau đối với các tải một pha kể trên, riêng rẽ hoặc phối hợp. Với điện áp không tải của pha A, là hướng chuẩn cho tất cả các góc pha, công thức sau đây có thể sử dụng để xác định dòng điện thứ tự nghịch thu được, nếu độ lớn và độ lệch pha của dòng điện riêng rẽ trong ba pha, A, B và C, đã biết.

a) Tải ba pha nối pha-trung tính

$$I_{neg} = \frac{1}{3} \left( |I_a| \angle \varphi_a + |I_b| \angle \varphi_b - \frac{2}{3}\pi + |I_c| \angle \varphi_c + \frac{2}{3}\pi \right) \quad (13)$$

b) Tải ba pha nối pha-pha

$$I_{neg} = \frac{1}{\sqrt{3}} \left( |I_{ab}| \angle \varphi_{ab} + \frac{\pi}{6} + |I_{bc}| \angle \varphi_{bc} - \frac{\pi}{2} + |I_{ca}| \angle \varphi_{ca} + \frac{5}{6}\pi \right) \quad (14)$$

Trong trường hợp tải một pha nối giữa hai pha:

$$|I_{neg}| = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{1\varphi} \quad (15)$$

Để có thêm chi tiết, xem Phụ lục D.

### 9.2.3 Đánh giá điện áp thứ tự nghịch

Phần đóng góp vào điện áp thứ tự nghịch từ phụ tải có thể được tính như sau:

$$\underline{U}_{neg} = I_{neg} \underline{Z}_{neg} \quad (16)$$

Trở kháng thứ tự nghịch, có thể lấy bằng với trở kháng thứ tự thuận của mạng lưới; điều này liên quan đến trở kháng cận quá độ của máy điện quay.

Công thức trên có thể chuyển thành:

$$u_{neg} = \frac{|I_{neg}|}{I_{sc}} \quad (17)$$

trong đó

$u_{neg}$  là điện áp thứ tự nghịch tương đối,  $\underline{U}_{neg}/\underline{U}_{nom}$  ;

$I_{neg}$  là dòng điện thứ tự nghịch;

$I_{sc}$  là dòng điện ngắn mạch ba pha tại IPC.

### 9.3 Tính tổng của một số nguồn

Dòng điện thứ tự nghịch thu được từ các tải không cân bằng khi làm việc ở trạng thái ổn định có thể được tính bằng cách sử dụng công thức cho trong 6.4.

Nếu tải biến đổi, về độ lớn và pha, thì các qui luật tính tổng thống kê tương tự như đối với các hài có thể được sử dụng. Thực tế, thành phần thứ tự nghịch có thể được xem là thành phần hài có bậc số 1. Do đó, nếu sử dụng phương pháp 1 thì các giá trị xấp xỉ đối với K là tương tự với các giá trị của bậc 3 trong Bảng 2.

## 10 Thay đổi điện áp, chập chờn và sụt áp

### 10.1 Thay đổi điện áp

#### 10.1.1 Yêu cầu chung

Thay đổi điện áp là do có sự thay đổi dòng điện phản kháng và dòng điện tác dụng đi qua phụ tải được nối với mạng điện và do đó gây ra sự thay đổi điện áp rơi trên trở kháng mạng lưới (xem Hình 10).

Trong các trường hợp nhất định, thay đổi điện áp cũng có thể là do sự thay đổi công suất ngắn mạch của mạng lưới, do thay đổi trong máy phát, hoặc do sự thay đổi cấu hình mạng lưới. Các thay đổi này dẫn đến sự thay đổi trở kháng mạng lưới. Chúng được bỏ qua trong báo cáo này và trở kháng mạng lưới được lấy là hằng số và đã biết.

Nói chung, điện áp duy trì ở trạng thái ổn định với khối lượng tải đã có.

Sự thay đổi riêng rẽ hoặc phát xạ được giới hạn sao cho điện áp làm việc ở trạng thái ổn định  $U_c$  duy trì trong phạm vi dải điện áp được thoả thuận (Hình 11) để có tính năng đúng của tất cả các ứng dụng nối với IPC hoặc PCC.

Thay đổi động học lớn tương đối  $\Delta I$  gây ra  $\Delta U_c$ , do đấu nối hoặc ngắt tải lớn tương đối, hoặc thay đổi lớn trở kháng tải, ví dụ như với hoạt động khởi động động cơ hoặc hoạt động của lò hồ quang, ngay cả trong phạm vi dải điện áp đã thoả thuận, được xem là hiện tượng nhiễu.

Thay đổi điện áp tương đối được xem xét dưới đây.

### 10.1.2 Ví dụ về tải gây ra sự thay đổi điện áp lớn tương đối

Các ví dụ điển hình là:

- hoạt động của lò hồ quang;
- hoạt động của máy hàn;
- khởi động động cơ;
- đóng cắt tụ điện

Hình 11 chỉ ra việc khởi động động cơ có thể làm thay đổi điện áp làm việc như thế nào. Việc khởi động một số động cơ cũng có thể được thể hiện bằng hình vẽ tương tự với tổng vectơ của các dòng điện khởi động riêng rẽ.

### 10.1.3 Đánh giá thay đổi điện áp động hoặc thay đổi điện áp tương đối do tải đơn lẻ tại điểm ghép nối

Có thể đánh giá đơn giản sự thay đổi điện áp như sau (xem Hình 11):

$$\begin{aligned} \Delta I &= \Delta I_p - j\Delta I_q && \text{thay đổi dòng điện} \\ \underline{Z}_L &= R_L + jX_L && \text{trở kháng mạng lưới} \end{aligned} \tag{18}$$

Đối với các tải một pha và ba pha đối xứng:

$$\Delta U_{dyn} \approx \Delta I_p R_L + \Delta I_q X_L \tag{19}$$

Giới hạn phát xạ tại IPC của môi trường loại 2 yêu cầu giới hạn của  $\underline{U}_{dyn}/\underline{U}_{nom}$  theo qui trình đánh giá chấp chừa.

Giới hạn phát xạ tại IPC của môi trường loại 3 phải xem xét điện áp thực:

$$U_o - \Delta U_c \pm \Delta U_{dyn} \tag{20}$$

### 10.1.4 Tính tổng các biến động điện áp

Các qui tắc dưới đây áp dụng cho IPC trong môi trường loại 3 để xem xét sự có mặt của các nguồn nhiễu khác nhau;

- dòng điện tác dụng và dòng điện phản kháng trung bình của các tải biến động được cộng đại số, cho  $\Delta U_c$  tương đương;
- thay đổi động học lớn nhất cho giá trị  $\Delta U_{dyn}$ ; trong một số trường hợp đặc biệt, chỉ cần xem xét sự trùng hợp của nhiễu.



$$\Delta U_c \approx \sum_i [I_q X_L]_i + \sum_i [I_p R_L]_i \quad (21)$$

$$\Delta U_{\text{dyn}} \approx \text{MAX}_i (|\Delta I_q X_L + \Delta I_p R_L|_i)$$

## 10.2 Chập chờn

### 10.2.1 Yêu cầu chung

Chập chờn là cảm giác chủ quan về biến động độ sáng và do tải thay đổi đột ngột gây ra từ:

- lò hồ quang;
- máy hàn;
- khởi động và dừng động cơ (nếu tần suất thay đổi điện áp tương đối nằm trong khoảng từ 0,1 đến 3 000 lần thay đổi trong một phút).

Mô tả chi tiết hiện tượng này được nêu trong hướng dẫn UIE [15] trích trong Phụ lục E.

### 10.2.2 Đánh giá phát xạ chập chờn

IEC 61000-3-3 nêu các phương pháp đánh giá bằng dụng cụ phân tích, mô phỏng và phép đo trực tiếp. Các giới hạn của IEC 61000-3-3 và IEC 61000-3-5 là có hiệu lực đối với IPC trong môi trường loại 2 và PCC.

Vì IPC trong môi trường loại 3 không có tải chiếu sáng nên không yêu cầu đánh giá chập chờn. Khi áp dụng trong trường hợp ngược lại, thực hiện đánh giá chập chờn theo qui định của IPC trong môi trường loại 2.

## 10.3 Sụt áp

### 10.3.1 Yêu cầu chung

Sụt áp là sự sụt giảm đột ngột của điện áp tại một điểm trong hệ thống cung cấp điện, sau đó là sự phục hồi sau thời gian ngắn, từ nửa chu kỳ đến vài giây.

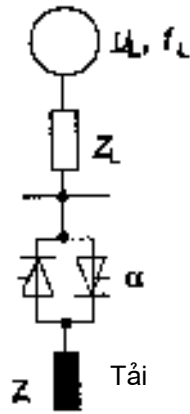
Sụt áp là do sự cố trong mạng lưới và hệ thống lắp đặt, hoặc do sự thay đổi lớn, đột ngột của phụ tải.

### 10.3.2 Đánh giá nhiễu

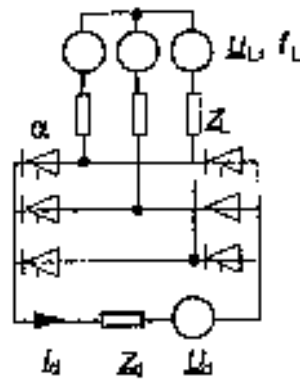
Phép thống kê phân loại liên quan đến độ sâu, thời gian và tần suất xuất hiện mỗi năm đối với mạng lưới cung cấp điện trung áp cho hộ dân cư là sẵn có đối với Châu Âu. Thống kê từ hệ thống công nghiệp chưa sẵn có.

Dựa trên cơ sở thống kê ở trên, có thể đánh giá độ lớn của nhiễu trong các hệ thống công nghiệp.

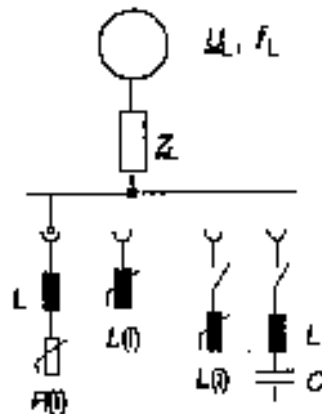
Các thay đổi lớn đột ngột có thể được ước tính cho tất cả các điểm ghép nối như chỉ ra ở 9.2.



a) Bộ điều khiển xoay chiều, tải đóng cắt theo chu kỳ

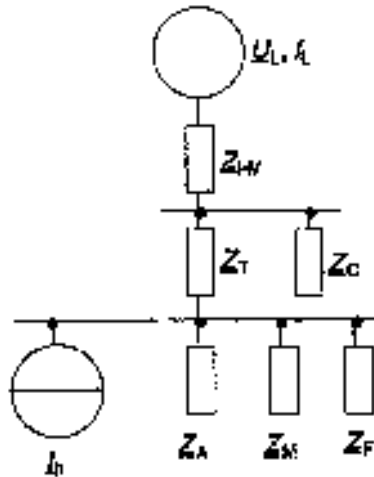


b) Bộ chuyển đổi nối ba pha sơ đồ cầu (B6), điện áp một chiều  $\underline{U}_d$  và dòng điện một chiều  $\underline{I}_d$ , với trở kháng  $\underline{Z}_d$  chuyển mạch theo chu kỳ từ pha đến pha



c) Điện trở phụ thuộc vào dòng điện  $R(i)$  (đặc tính hồ quang), điện cảm phụ thuộc vào dòng điện  $L(i)$  (bảo hoà từ tính), chuyển mạch trên điện cảm bảo hoà  $L(i)$

**Hình 1 – Ví dụ về các bộ chuyển đổi hoặc phụ tải sinh ra dòng điện hài hoặc hài trung gian xoay chiều**



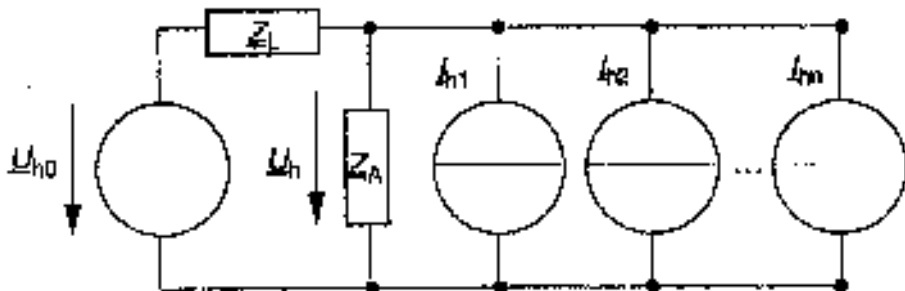
Ví dụ về trở kháng Z:

- $Z_A = R_A + jh X_A$       tải thụ động
- $Z_M = R_M + jh X_M$       trở kháng rò của máy điện cảm ứng
- $Z_F = jh X_{LF} - jh^{-1} X_{CF}$       điện kháng của bộ lọc
- $Z_T = R_T + jh X_T$       trở kháng rò của máy biến áp
- $Z_C = -jh^{-1} X_C$       điện dung của cáp
- $Z_{HV} = jh X_{HV}$       điện kháng của lưới cao áp

Hình 2a – Đánh giá trở kháng thu được từ phía nguồn cung cấp  $Z_L$  có hiệu quả đối với nguồn hài  $I_h$

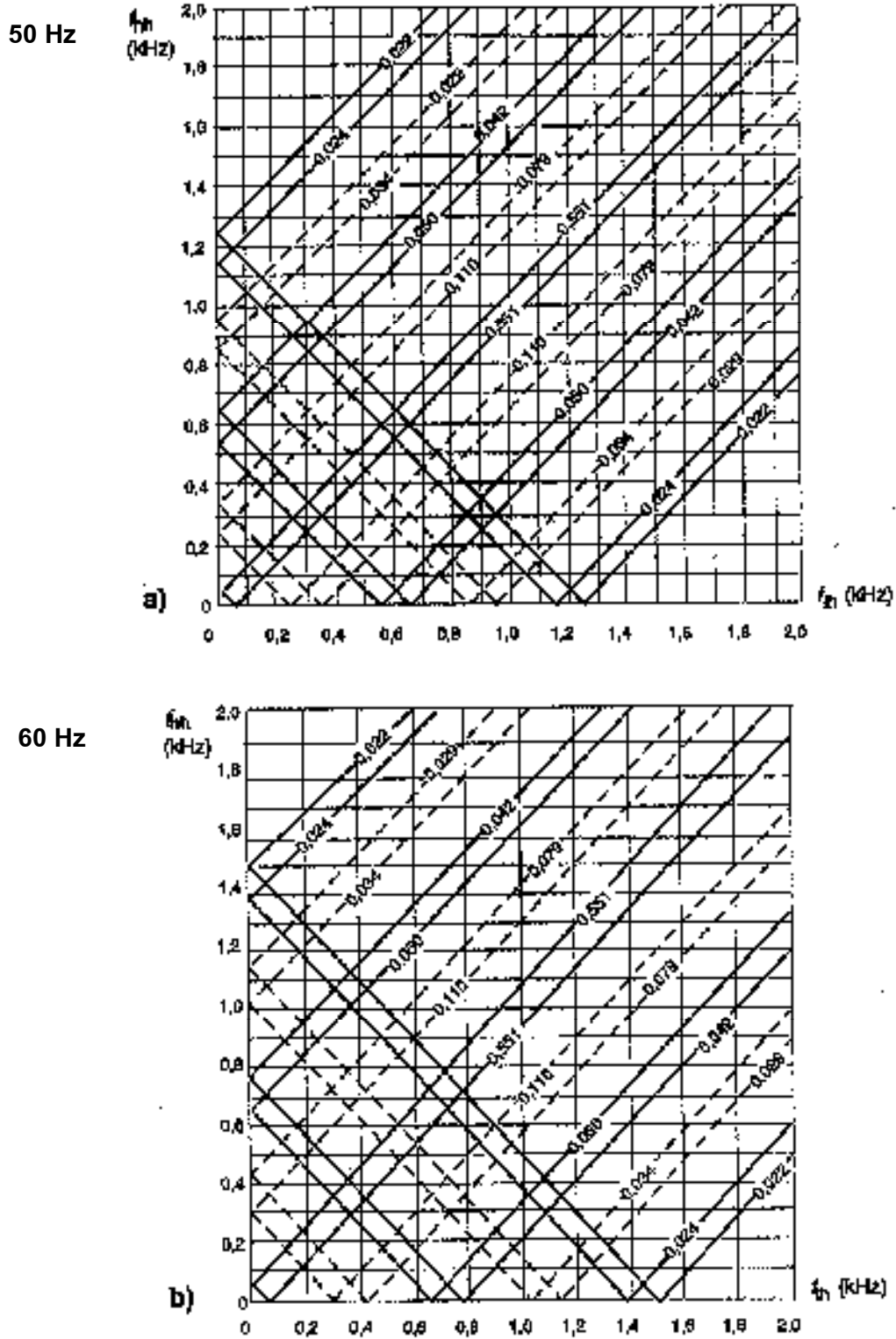
$$Z_L = Z_A // Z_M // Z_F // (Z_T + (Z_C // Z_{HV}))$$

Ký hiệu // nghĩa là đấu nối song song; tất cả các trở kháng được quy về một mức điện áp và phụ thuộc vào bậc hài h.



$$\begin{aligned}
 U_h &= \frac{Z_A}{Z_A + Z_L} U_L + \frac{Z_A \cdot Z_L}{Z_A + Z_L} \sum_{i=1}^n (I_{hi}) \\
 &= U_{ho} + Z_h \sum_{i=1}^n (I_{hi}) \\
 &\approx U_{ho} + Z_L I_h \\
 &\text{nếu } |Z_A| \gg |Z_L| \text{ và } \varphi(Z_A, Z_L) < 120^\circ
 \end{aligned}$$

Hình 2b – Đánh giá điện áp hài thu được  $U_h$  tại điểm ghép nối bên trong khu công nghiệp IPC liên quan đến các nguồn dòng điện hài  $I_{h1} \dots I_{hn}$ , mức hài  $U_{ho}$  của nguồn cung cấp, trở kháng hài  $Z_A$  của phía tải và  $Z_L$  của phía nguồn cung cấp



Sơ đồ a) áp dụng cho nguồn cung cấp tần số 50 Hz  
Sơ đồ b) áp dụng cho nguồn cung cấp tần số 60 Hz  
Đường liền nét áp dụng cho bộ chuyển đổi 6 xung  
Đường nét đứt áp dụng cho bộ chuyển đổi 6 xung và 12 xung

**Hình 3 – Sơ đồ các tần số hài trong dòng điện đường dây  $I_{hh}$  của nguồn điện xoay chiều, được tạo ra bởi dòng điện hài  $I_{ih}$  trong tuyến một chiều. Tham số G là tỷ số giữa  $I_{hh}$  và  $I_{ih}$ .**

A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
...			...			...			...			...		
30	*	.	230	*	.	330	*	.	530	*	.	630	*	.
35	.	*	235	*	*	335	.	*	535	*	*	635	*	*
40	*	.	240	*	.	340	*	.	540	*	.	640	*	.
45	*	.	245	*	.	345	*	.	545	*	.	645	*	.
50	*	*	250	*	.	350	*	*	550	*	*	650	*	*
55	*	.	255	*	.	355	*	.	555	*	.	655	*	.
60	.	.	260	*	.	360	*	.	560	*	.	660	*	.
65	*	*	265	*	*	365	*	*	565	*	*	665	*	*
70	*	.	270	.	.	370	*	.	570	*	.	670	*	.
...			...			...			...			...		

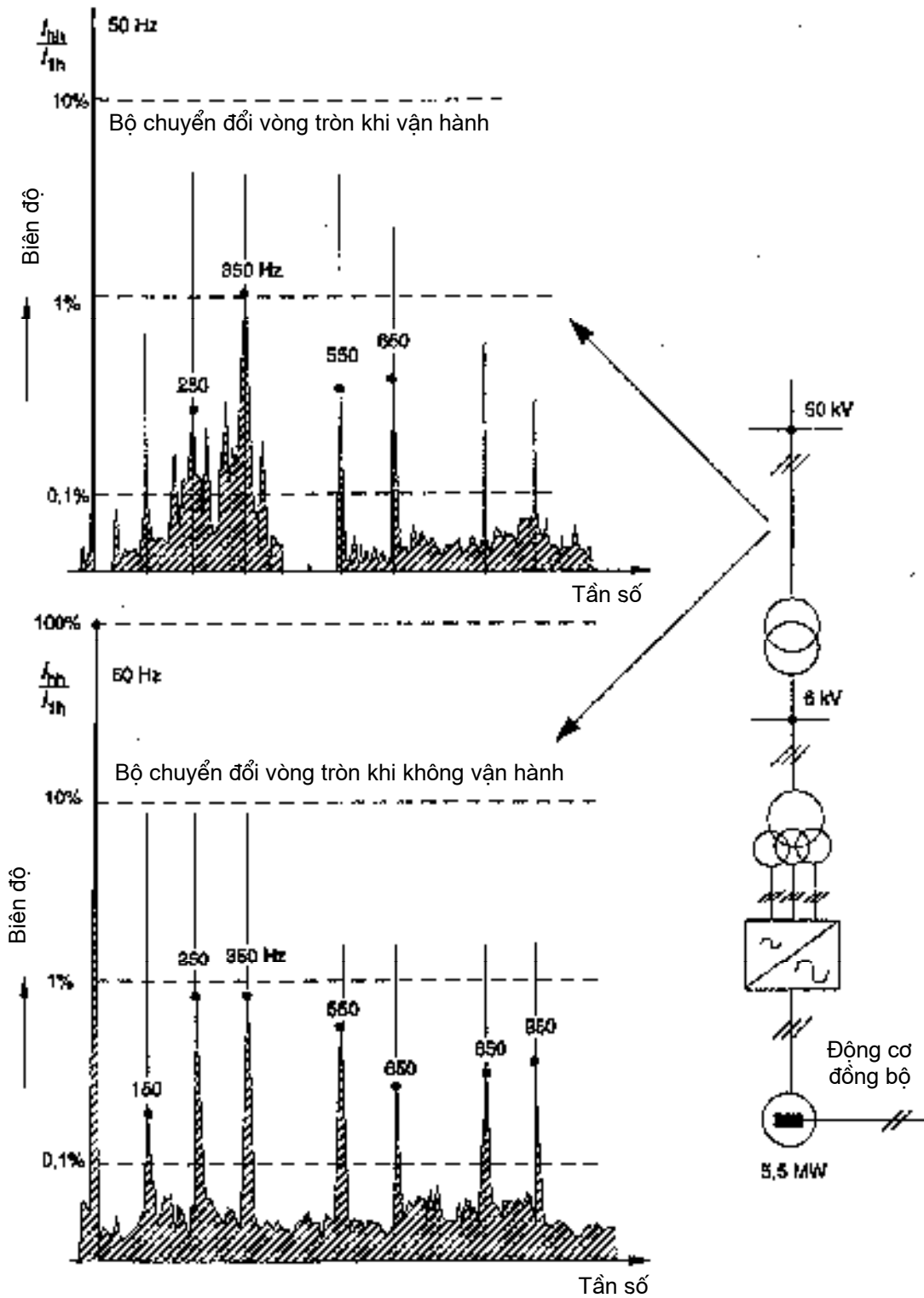
A tần số, tính bằng Héc

B tải một pha  $p_A = 2$

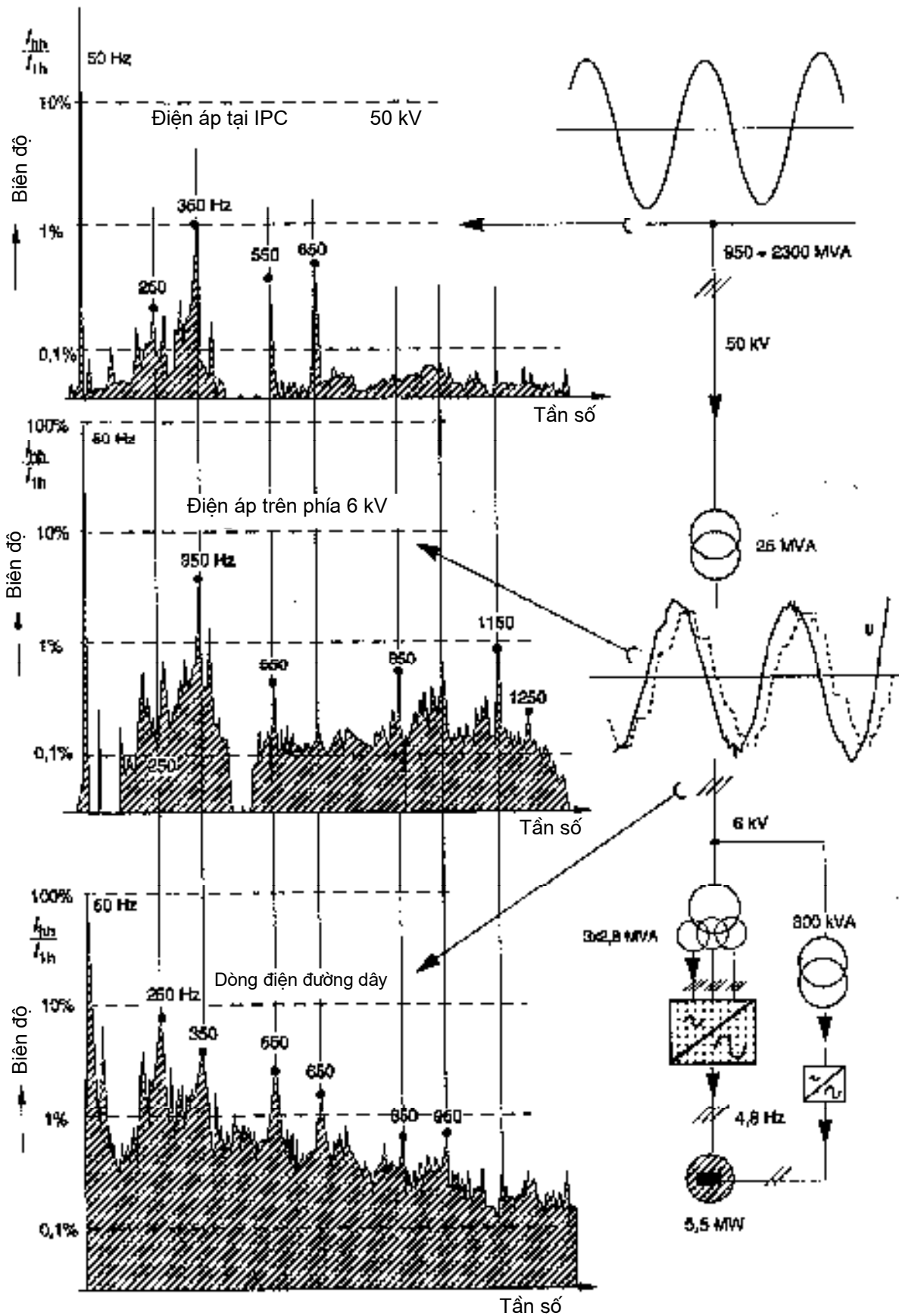
C tải ba pha  $p_A = 6$

Hình 4 – Tần số hài trung gian phát ra từ bộ chuyển đổi một chiều

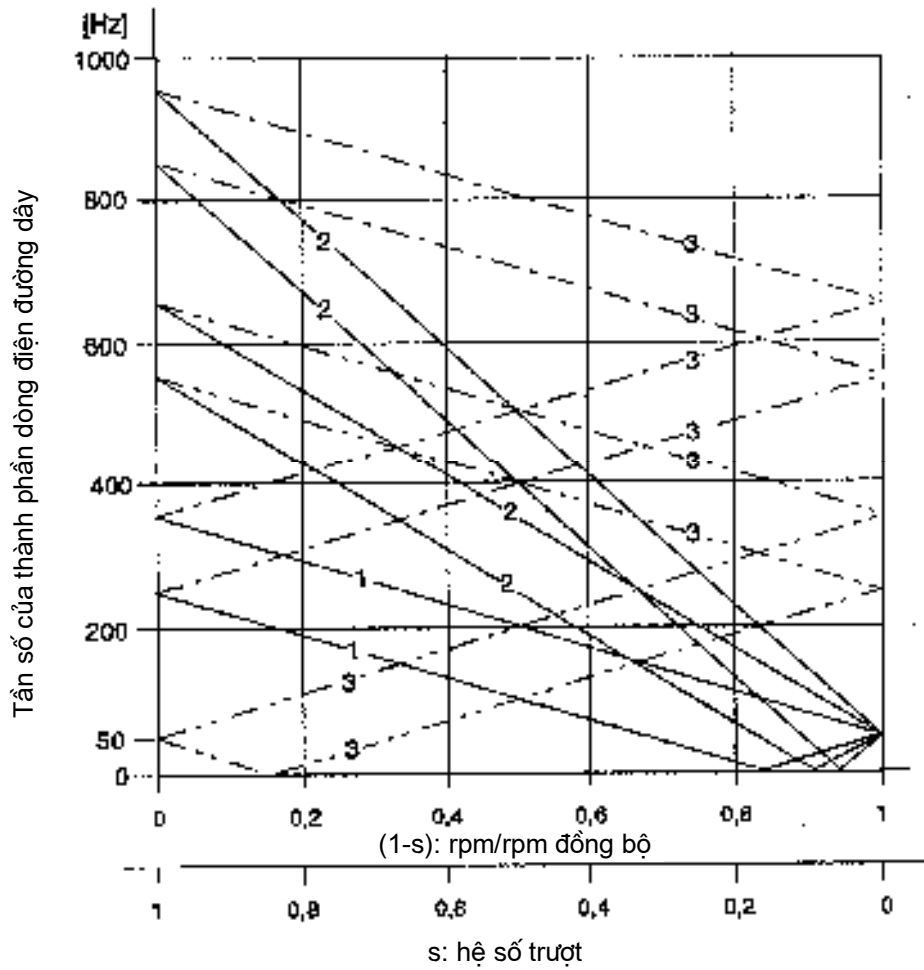
$$f_L = 50 \text{ Hz}, f_A = 2,5 \text{ Hz}, p_L = 6$$



Hình 5 – Đo điện áp hài và điện áp hài trung gian tại điểm ghép nối chung của hệ thống truyền động có bộ chuyển đổi vòng tròn ở 5,5 MW

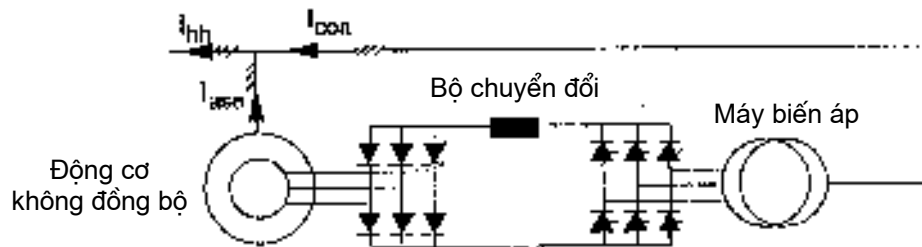


Hình 6 – Phép đo điện áp và dòng điện hài và hài trung gian tại điểm ghép nối chung và đầu nối 6 kV của máy biến áp. Hệ thống tương tự như trong Hình 5



a) Thành phần phổ trong dòng điện đường dây là hàm của hệ số trượt, hoặc của tỷ số tốc độ (1 s)

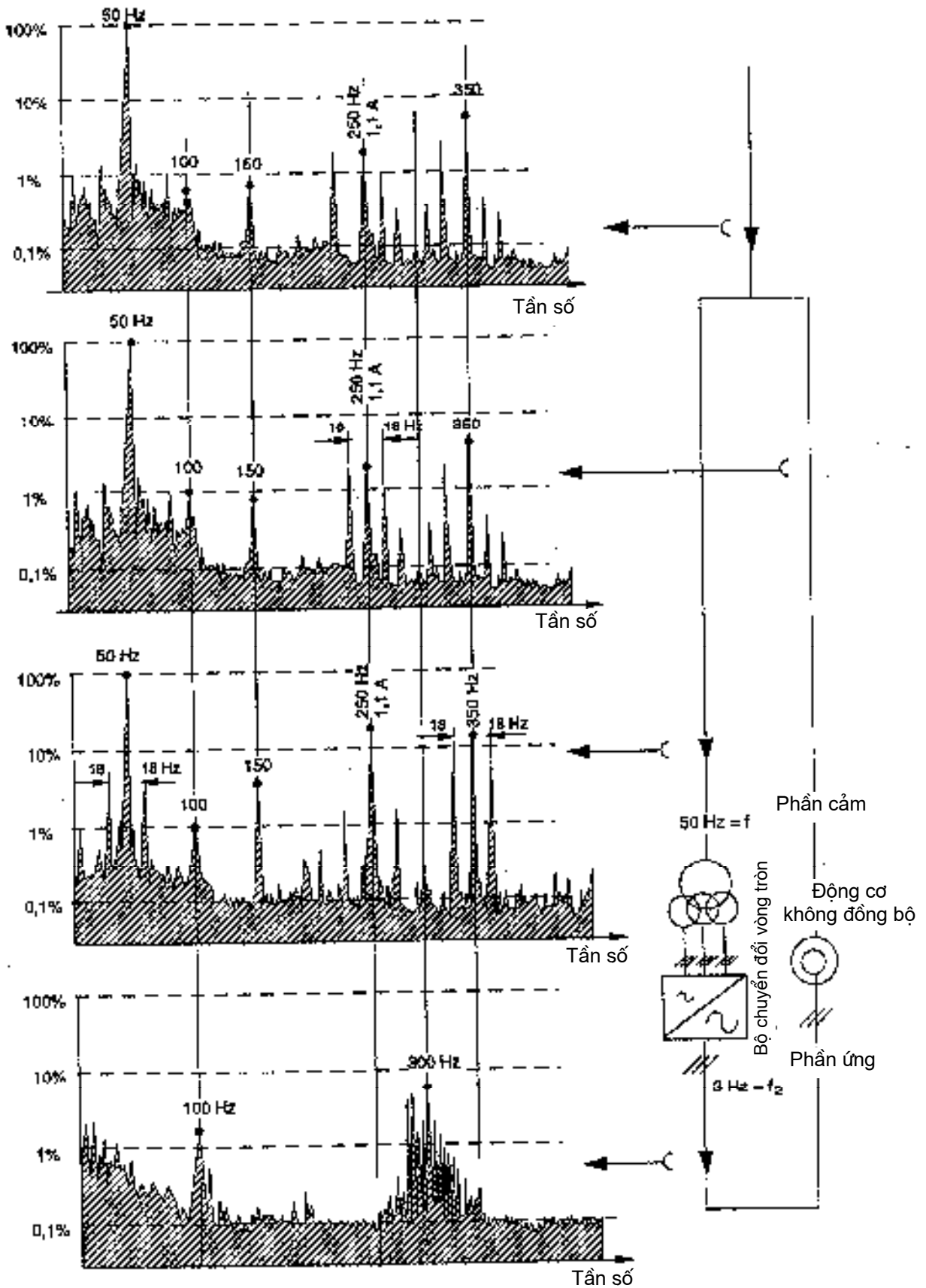
- 1) Thành phần tần số chung cho  $I_{ase}$  và  $I_{con}$
- 2) Thành phần tần số chỉ cho  $I_{ase}$
- 3) Thành phần tần số chỉ cho  $I_{con}$



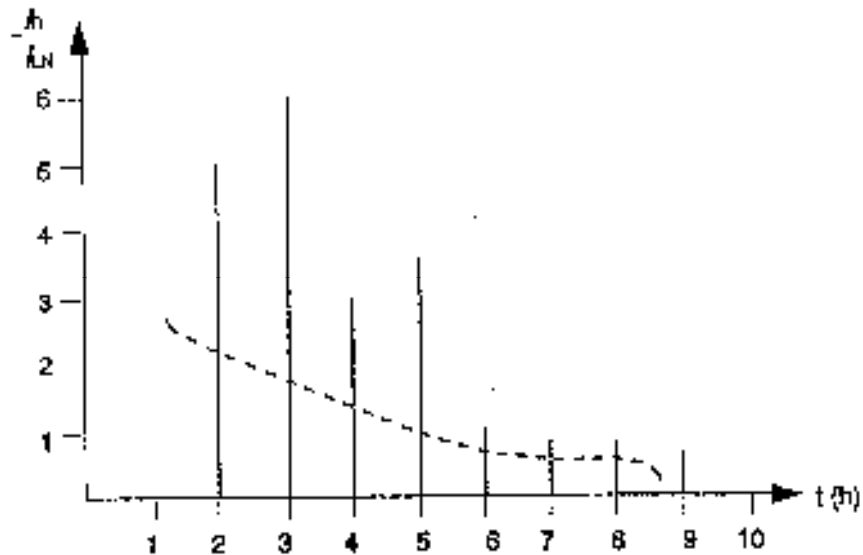
b) Sơ đồ đấu dây

Hình 7 – Tầng dưới đồng bộ

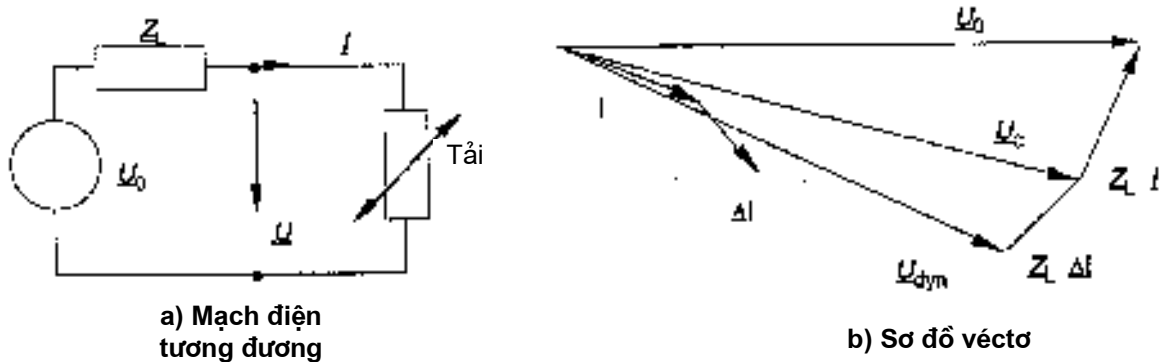




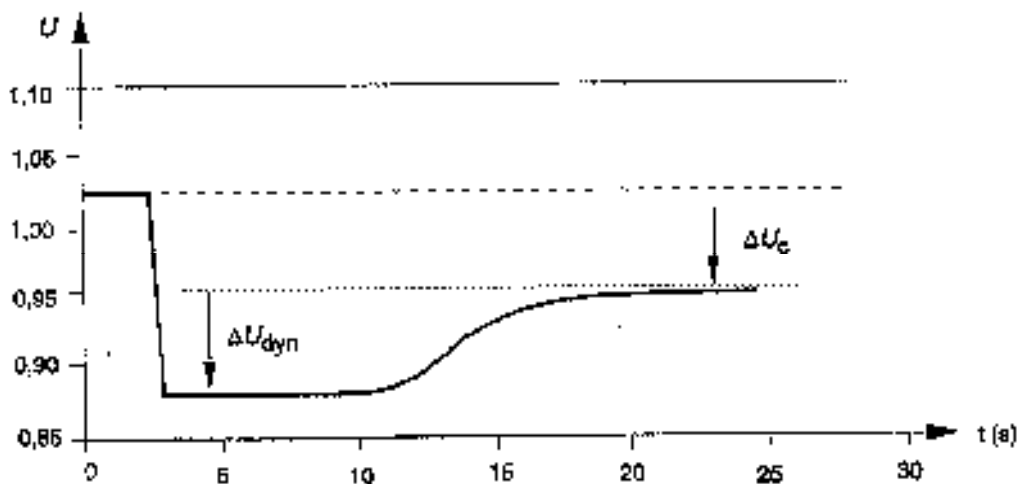
Hình 8 – Dòng điện hài và dòng điện hài trung gian đo được trên tầng truyền động siêu đồng bộ/dưới đồng bộ



Hình 9 – Ví dụ về đường và phổ liên tục đối với lò hồ quang (biên độ  $I_n/I_{LN}$  quy về dòng điện danh định của lò hồ quang là hàm của hài ở tần số 50 Hz, độ rộng băng tần 1 Hz)



Hình 10 – Thay đổi điện áp trạng thái ổn định và thay đổi điện áp động



$\Delta U_c$ : thay đổi điện áp trạng thái ổn định

$\Delta U_{dyn}$ : thay đổi điện áp động

Hình 11 – Thay đổi điện áp trạng thái ổn định và thay đổi điện áp động

## Phụ lục A

(tham khảo)

### Phát xạ hài

#### A.1 Đặc tính phụ tải và phát xạ hài

Thời gian điển hình phụ thuộc vào các loại tải khác nhau và nhiều chủ yếu được phát xạ như dưới đây.

- Nguồn cung cấp cho truyền động và xe kéo, các bộ biến đổi dùng cho lò hồ quang xoay chiều, dùng cho bộ biến đổi hàn một chiều, hình thành tải biến đổi từ trạng thái ổn định sang thay đổi thường xuyên cũng như thay đổi đột ngột. Dòng điện đỉnh có thể tăng đến ba lần dòng điện danh định. Bên cạnh dòng điện hài, biến động điện áp và các hài trung gian quá độ có thể được đưa vào.
- Một số các ứng dụng này tạo ra dòng điện ngắn hạn cao lặp lại, ví dụ như trong hàn chấm, hoặc phải chịu ngắn mạch tương đối thường xuyên trên phía tải, như trong bộ kết tủa, do đó gây ra biến động điện áp.
- Tải thay đổi chậm là các quá trình điện nhiệt dùng để luyện, gia nhiệt và kích thích máy điện hoặc cuộn dây nam châm phát xạ các dòng điện hài trong đó có đặt bộ chuyển đổi. Trong các trường hợp này, dòng điện danh định thường không bị vượt quá.
- Tải không đổi phần nào được cho bởi quá trình điện hoá, ví dụ như điện phân, mạ điện và tẩy rửa kim loại, bằng van truyền, UPS, thiết bị chiếu sáng là các thiết bị phát ra dòng điện hài liên tục.
- Quá trình điện nhiệt sử dụng hồ quang ví dụ như trong lò hồ quang một chiều, máy hàn hoặc hàn nóng chảy là các tải thay đổi mạnh. Chúng tạo ra dải dòng điện hài và dòng điện hài trung gian, biến động điện áp và mất cân bằng, tất cả chuyển đổi ngẫu nhiên. Trong trường hợp hồ quang ngắn mạch, dòng điện có thể tăng từ 1,5 đến 2 lần giá trị danh định của nó.
- Bộ điều khiển xoay chiều như bộ bù tĩnh thường kết hợp với lò hồ quang để bù sự mất cân bằng và sự biến động công suất phản kháng. Ngoài ra, dòng điện hài và hài trung gian biến động mạnh cũng được đưa vào. Bộ điều khiển xoay chiều như bộ khởi động động cơ có thể tạo ra các hài cao quá độ.
- Đóng điện cho máy điện cảm ứng hoặc máy biến áp tạo ra các hài quá độ, sụt áp và mất cân bằng, đóng điện cho tụ điện hoặc bộ lọc tạo ra các dòng điện hài trung gian quá độ và sụt áp. Trong tất cả các trường hợp này, dòng điện đỉnh có thể lớn hơn nhiều đỉnh của giá trị danh định.

## A.2 Dữ liệu phát xạ điện hình của bộ chuyển đổi

Dữ liệu cơ bản nằm trong IEC 60146-1 và IEC 60146-2.

Khi bắt đầu tiếp cận, cần áp dụng các xem xét dưới đây.

**A.2.1** Bộ chuyển đổi ba pha sơ đồ cầu cấp điện cho tải một chiều trong đó dòng điện một chiều cảm ứng bằng phẳng, như chỉ ra trong Hình A.1a và A.2a.

Hầu hết các bộ chuyển đổi có điều khiển trong mạch ba pha sơ đồ cầu (B6) được sử dụng và hoạt động với dòng điện một chiều không gián đoạn, do đó, dải các giá trị của chúng đối với bố trí B6 là đã được đưa ra. Chúng phụ thuộc vào góc trễ của trigơ hoặc điện áp một chiều tương đối  $U_d/U_{di}$ , tỷ số ngắn mạch  $r$  và độ nhấp nhô của dòng điện một chiều. Mức độ bằng phẳng của dòng điện một chiều được biểu diễn bằng tỷ số:

$$(X_d + 2X_L) \frac{I_d}{U_{di}} \quad (A.1)$$

trong đó

$X_d$  là điện kháng phía một chiều ở tần số đường dây, kể cả điện kháng phía tải;

$X_L$  là điện kháng phía xoay chiều trên mỗi pha ở tần số đường dây, kể cả điện kháng của đường dây và của máy biến áp hoặc cuộn kháng đổi chiều (xem Hình A.1 và A.3);

$I_d$  là dòng điện một chiều (giá trị trung bình);

$U_{di}$  là điện áp không tải một chiều lý tưởng tại  $\alpha = 0$ .

$$U_{di} = \frac{3}{\pi} \sqrt{2} U_L \quad (A.2)$$

trong đó

$U_L$  là điện áp pha-pha thực tế (giá trị hiệu dụng);

$U_d$  là điện áp một chiều thực tế (giá trị trung bình).

$$\frac{U_d}{U_{di}} \approx \cos \alpha - d_x \quad (A.3)$$

trong đó

$\alpha$  là góc trễ của trigơ;

$d_x$  là hệ số điều chỉnh điện áp một chiều cảm ứng.

$$d_x = \frac{3 I_d X_L}{\pi U_{di}} \quad (A.4)$$

$R_{SC}$  là tỷ số ngắn mạch, tỷ số của công suất ngắn mạch tại phía van, và công suất một chiều của bộ chuyển đổi ở điểm làm việc lý tưởng ( $\alpha = 0$ ).

$$R_{SC} = \frac{U_L^2}{X_L} \frac{1}{U_{di} I_d} = \frac{\pi}{6} \frac{1}{d_x} \quad (A.5)$$

trong đó

$I_{d6}$  là thành phần hài bậc 6 (giá trị hiệu dụng) của dòng điện nhấp nhô;

$I_1$  là thành phần cơ bản của dòng điện (giá trị hiệu dụng) của nguồn xoay chiều.

$$I_1 = \frac{1}{\pi} \sqrt{6} I_d \quad (A.6)$$

Với

$I_h$  là thành phần hài của dòng điện (giá trị hiệu dụng) của nguồn cung cấp xoay chiều;

$h$  là bậc hài,  $h = 6n \pm 1 = 1, 5, 7, 11, 13, \dots$ ;

$n$  là số tự nhiên,  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Bỏ qua độ nhấp nhô của dòng điện một chiều ( $I_{d6} = 0$ ) và hiện tượng đảo chiều, dòng điện hài tương đối lên đến:

$$\frac{I_h}{I_1} = \frac{1}{h} \quad (A.7)$$

Các yếu tố được bỏ qua gây ảnh hưởng đến các kết quả bởi độ lệch khỏi các công thức như dưới đây.

- Thành phần hài tương đối phía đường dây được chỉ ra trong Hình A.4a và A.4b với bậc hài  $h = 5$  và  $7$  phụ thuộc vào góc trễ của trigơ  $\alpha$ . Các tham số có độ bằng phẳng = 2, 0,4 và 0,1 với hệ số công suất ngắn mạch tương đối  $R_{SC} = 20$  và 1. Các giá trị đối với các hài cao hơn được cho trong Bảng A.1, A.2 và A.3.

Đối với các giá trị chính xác có độ bằng phẳng > 2, xem IEC 60146-1-2, Hình 7.

- Ngắn mạch tương đối thấp hơn ở một chừng mực nào đó ít các thành phần hài hơn  $I_h/I_1$ , do góc xếp chồng tăng.
- Với độ nhấp nhô của dòng một chiều tăng lên, tức là mức độ bằng phẳng thấp hơn, thành phần hài bậc 5 tương đối tăng đáng kể lớn hơn giá trị lý thuyết  $I_5/I_1 = 1/5$ . Đặc biệt, điều này áp dụng trong vận hành có dòng điện một chiều đập mạch. Do đó, thành phần tương đối của bậc 11 của dòng điện đường dây được tăng lên  $1/11$  trong trường bộ chuyển đổi 12 xung có hai mối nối B6 nối tiếp, nhưng gần bằng hằng số trong trường hợp hai mối nối B6 nối song song.
- Các hài không đặc trưng, có bậc là số nguyên, nhưng:

$$h \neq 6n \pm 1 \quad (A.8)$$

## TCVN 7909-2-6 : 2008

có thể xuất hiện vì sự mất cân bằng các điện áp pha, hoặc trở kháng hoặc góc trễ của trigơ.

- Hoạt động với 12 xung.

Trong trường hợp bố trí song song hoặc nối tiếp hai mối nối B6 được cấp điện với góc lệch pha 30° và có tải cân bằng, các hài bậc 5 và bậc 7 được bỏ qua một phần; thành phần hài dư của bậc 5 và bậc 7 đến 4 % có thể xuất hiện vì sự chia sẻ không đều của điện áp hoặc dòng điện một chiều giữa các nhánh cầu.

Liên quan đến góc pha của dòng điện hài phía đường dây, dòng điện hài  $I_h$  của cùng bậc  $h$  được cộng vectơ để tính nhiễu gây ra do hoạt động đồng bộ của một số bộ chuyển đổi.

Góc pha  $\phi_h$  là chênh lệch giữa các đường qua điểm 0 dương của điện áp pha-trung tính cơ bản, và dòng điện hài liên quan đến tần số hài  $h\omega_N$ .

$\phi_h$  dương nghĩa là dòng điện hài  $I_h$  chậm pha.

Ban đầu, áp dụng  $\phi_h \approx \pm h\alpha$  với  $h = 5$  và  $7$ ; do đó, các góc pha có bậc hài cao hơn được trải rộng. Vì vậy, dấu cộng có hiệu lực đối với biến áp chuyển đổi đấu Y/ $\Delta$  hoặc  $\Delta$ /Y, dấu trừ áp dụng cho mối nối trực tiếp của các bộ chuyển đổi và đối với biến áp chuyển đổi đấu nối Y/Y hoặc  $\Delta/\Delta$  một cách tương ứng.

a) Dòng điện hài tương đối  $I_h/I_1$  trong nguồn cung cấp xoay chiều

Bảng A.1, A.2 và A.3 là ba giá trị điện áp một chiều tương đối  $U_d/U_{di}$ , ứng với góc trễ của trigơ và độ nhấp nhô của dòng điện một chiều thu được  $I_{d6}/I_d$  với thành phần hài bậc 6 của dòng điện một chiều có tỉ số ngắn mạch  $R_{sc} = 20$ .

Dải làm việc thông thường là:

$U_d/U_{di} \approx 0$                        $\alpha \approx 90^\circ$ : điện áp một chiều thấp có điều khiển

$U_d/U_{di} \approx 0,84$                        $\alpha \approx 30^\circ$ : điện áp một chiều bình thường có điều khiển

$U_d/U_{di} \approx 0,975$                        $\alpha \approx 0^\circ$ : điện áp một chiều không có điều khiển

a1) Trong trường hợp dòng điện một chiều có độ bằng phẳng cao

$$(X_d + 2X_L) \frac{I_d}{U_{di}} = 2$$

**Bảng A.1 – Dòng điện hài tương đối ở độ nhấp nhô một chiều thấp.  $R_{sc} = 20$**

$\frac{U_d}{U_{di}}$	$\alpha$	$\frac{I_{d6}}{I_d}$	h	5	7	11	13	17	19	23	25
0	90°	0,021	$\frac{I_h}{I_1}$	0,21	0,13	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04
0,84	30°	0,012		0,21	0,13	0,09	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03
0,975	0°	0,005		0,19	0,12	0,08	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01

a2) Trong trường hợp độ bằng phẳng của dòng điện một chiều là trung bình

$$(X_d + 2X_L) \frac{I_d}{U_{di}} = 0,4$$

**Bảng A.2 – Dòng điện hài tương đối ở độ nhấp nhô một chiều trung bình.  $R_{SC} = 20$**

$\frac{U_d}{U_{di}}$	$\alpha$	$\frac{I_{d6}}{I_d}$	h	5	7	11	13	17	19	23	25
0	90°	0,11	$\frac{I_h}{I_1}$	0,27	0,06	0,09	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03
0,84	30°	0,06		0,24	0,10	0,09	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03
0,975	0°	0,03		0,20	0,11	0,06	0,05	0,02	0,02	0,01	0,01

a3) Trong trường hợp độ bằng phẳng của dòng điện một chiều thấp

$$(X_d + 2X_L) \frac{I_d}{U_{di}} = 0,1$$

**Bảng A.3 – Thành phần hài tương đối ở độ nhấp nhô một chiều cao.  $R_{SC} = 20$**

$\frac{U_d}{U_{di}}$	$\alpha$	$\frac{I_{d6}}{I_d}$	h	5	7	11	13	17	19	23	25
0	90°	0,43	$\frac{I_h}{I_1}$	0,48	0,17	0,09	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01
0,85	30°	0,23		0,35	0,04	0,09	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01
0,98	0°	0,11		0,25	0,09	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01

Giá trị trung gian đối với dòng điện hài cung cấp xoay chiều:

$$0,1 \leq (X_d + 2X_L) \frac{I_d}{U_{di}} \leq 2$$

Để có đánh giá chi tiết hơn, xem [7] và [8] trong Phụ lục E.

b) Góc pha của dòng điện hài ở phía đường dây

Trong trường hợp dòng điện một chiều có độ bằng phẳng cao và có:

$$U_{L-N} = U_{L-N} \sqrt{2} \sin(\omega_L t) \quad (A.9)$$

$$i_{Lh} = I_H \sqrt{2} \sin(h\omega_L t - \phi_h) \quad (A.10)$$

$$\alpha + \frac{u}{2} \approx \arccos\left(\frac{U_d}{U_{di}}\right) \quad (\text{A.11})$$

trong đó

- $u$  là góc xếp chồng;
- $U_{L-N}$  là điện áp pha-trung tính của nguồn cung cấp xoay chiều;
- $i_{Lh}$  là dòng điện pha trong nguồn cung cấp xoay chiều;
- $\omega_L$  là tần số góc của nguồn cung cấp xoay chiều.

Góc pha  $\phi_h$  có thể được tính xấp xỉ, tùy thuộc vào đấu nối cuộn dây của biến áp chuyển đổi theo các mối quan hệ dưới đây.

b1) Bộ chuyển đổi được liên kết với lưới điện trực tiếp hoặc thông qua máy biến áp nối Y/Y hoặc  $\Delta/\Delta$  (xem Hình A.5a với các dạng sóng dòng điện và điện áp)

$$\begin{aligned} \phi_h &\approx (180^\circ + \alpha + u/2) h && \text{với } h = 5, 7, (17, 19) \\ \phi_h &\approx (\alpha + u/2) h && \text{với } h = 11, 13, (23, 25) \end{aligned} \quad (\text{A.12})$$

b2) Bộ chuyển đổi được liên kết với lưới điện thông qua máy biến áp nối Y/ $\Delta$  hoặc  $\Delta/Y$  (xem Hình A.5b với các dạng sóng dòng điện và điện áp)

$$\phi_h \approx (\alpha + u/2) h \quad \text{với } h = 5, 7, (17, 19) \quad (\text{A.13})$$

CHÚ THÍCH: Các công thức trên áp dụng cho dòng điện hài bậc 5 và 11, ngay cả khi có nhấp nhô một chiều. Liên quan đến ảnh hưởng của dòng điện nhấp nhô tại phía một chiều lên dòng điện hài bậc 7 tại phía xoay chiều, xem [8] trong Phụ lục E.

## A.2.2 Bộ chuyển đổi ba pha sơ đồ cầu cấp điện cho tải một chiều qua bộ lọc L-C

Khi bộ chuyển đổi có đường truyền điện áp một chiều được cấp điện từ bộ chuyển đổi có điều khiển thông qua một bộ lọc với cuộn kháng có độ bằng phẳng đủ cao, như chỉ ra trên Hình A.1c, thì áp dụng các thông tin liên quan đến bộ chuyển đổi trực tiếp. Độ bằng phẳng đủ cao đạt được khi:

$$\begin{aligned} &2 \omega_L > \omega_r \\ \text{với } \omega_r &= \sqrt{\frac{\omega_L}{C_d(X_d + 2X_L)}} \end{aligned} \quad (\text{A.14})$$

trong đó

- $\omega_L$  là tần số góc của nguồn cung cấp xoay chiều;
- $\omega_r$  là tần số góc cộng hưởng của bộ lọc.



### A.2.3 Bộ chuyển đổi ba pha sơ đồ cầu cấp điện cho tải một chiều có tụ điện san bằng

Khi điện dung san bằng cao được nạp trực tiếp bởi bộ chỉnh lưu điốt theo đầu nối B6, như chỉ ra trên Hình A.2c, dòng điện hài cao xuất hiện trong trường hợp điện kháng nguồn xoay chiều thấp.

Thành phần hài tương đối phụ thuộc vào công suất ngắn mạch tương đối  $R_{SC}$  như chỉ ra trong Bảng A.4.

**Bảng A.4 – Dòng điện hài tương đối của bộ chỉnh lưu điốt (B6) cấp điện cho điện dung cao**

$\frac{U_d}{U_{di}}$	$R_{SC}$	h	5	7	11	13	17	19	23	25
1,02	500	$\frac{I_h}{I_1}$	0,86	0,70	0,35	0,22	0,09	0,09	0,07	0,05
1,00	100		0,64	0,40	0,09	0,09	0,05	0,04	0,02	0,02
0,97	20		0,30	0,09	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01
0,94	10		0,24	0,07	0,04	0,03	0,014	0,01	0,01	0,01

Các giá trị trung gian đối với nguồn cung cấp xoay chiều hài bậc 5 và 7 được chỉ ra trong Hình A.6. Kết quả chi tiết hơn liên quan đến đáp ứng biên độ và pha được nêu trong [8] của Phụ lục E.

Để có đánh giá chi tiết liên quan đến cả độ nhấp nhô điện áp một chiều, xem [9] và [10] của Phụ lục E.

Bỏ qua độ nhấp nhô của điện áp một chiều, dải góc pha của dòng điện hài bậc thấp hơn được đưa ra gần đúng với  $\phi_5 = 70^\circ \dots 135^\circ$  và đối với  $\phi_7 = 90^\circ \dots 290^\circ$ , trong đó giả thiết là  $R_{SC} = 10 \dots 500$ .

Mức hài phụ thuộc nhiều vào việc lọc phía xoay chiều và một chiều, và cần được nhà chế tạo yêu cầu.

Các hài bậc thấp (cụ thể là bậc 3 và 5) có góc pha rất giống nhau và do đó chiếm hầu hết về phương diện số học khi có nhiều thiết bị làm việc đồng thời trong mạng lưới.

Mô tả chi tiết hơn về cách nối này và phát xạ hài của nó được nêu trong [11] của Phụ lục E.

### A.2.4 Bộ chuyển đổi trực tiếp có một hoặc nhiều cặp nối song song ngược

- mỗi tải xoay chiều một pha được cấp điện bởi một cặp, như chỉ ra trong Hình A.7a;
- mỗi tải xoay chiều ba pha được cấp điện bởi ba cặp, như chỉ ra trên Hình A.7b, gọi là bộ chuyển đổi vòng tròn.

Để có dòng điện hài bậc đặc trưng  $h = 5, 7, 11, 13$  trong nguồn cung cấp xoay chiều, áp dụng các giá trị tương tự với các giá trị của bộ chuyển đổi gián tiếp. Bình thường, các giá trị này thấp hơn nhưng các hài trung gian ở tần số biên lại tăng lên.

Để có đánh giá chính xác hơn, xem [1] của Phụ lục E.

**A.2.5 Bộ điều khiển xoay chiều**

Bộ điều khiển xoay chiều điều chỉnh điện áp và dòng điện xoay chiều ở tải bằng cách nối song song ngược các thyristo vào đường dây xoay chiều. Đó là các bộ điều khiển một pha và ba pha.

Hình A.8a, b và c chỉ ra cách đấu nối thường được sử dụng. Thành phần hài tương đối của dòng điện đường dây phụ thuộc vào tỉ số R/Z trong mạch điện và góc trễ  $\alpha$ .

Bảng A.5 chỉ ra các giá trị lớn nhất của dòng điện hài trong dải điều khiển.

$$\arccos\left(\frac{R}{Z}\right) \leq \alpha \leq 180^\circ \tag{A.15}$$

$I_{hmax}$  đề cập đến dòng điện tải cơ bản lớn nhất.

$I_{hmax}/I_{1max}$  dùng cho nhiều tỉ số R/Z cho trước ở đấu nối một pha, theo Hình A.8a.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \approx \sqrt{R_A^2 + (X_A + X_L)^2} \tag{A.16}$$

$$I_{1max} = \frac{U_L}{Z} \tag{A.17}$$

**Bảng A.5 – Giá trị  $I_{hmax}/I_{1max}$  của bộ điều khiển xoay chiều một pha đối với một số bậc hài phụ thuộc vào tỉ số tải R/Z**

$\frac{I_{hmax}}{I_{1max}}$	R/Z						
	$\alpha_w/\phi_h$						
Giá trị h	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,0
3	0,318 90°/-90°	0,227 95°/-23°	0,193 100°/8°	0,174 103°/21°	0,161 106°/35°	0,153 109°/47°	0,138 120°/90°
5	0,318 60°/-60° 120°/-120°	0,078 67°/40°	0,067 75°/94°	0,061 80°/138°	0,058 87°/175°	0,056 90°/175°	0,050 105°/90°
7	0,106 90°/-90°	0,041 102°/62°	0,032 110°/135°	0,030 -20°/-150°	0,029 78°/-94°	0,028 100°/-60°	0,026 105°/90°
9	0,076	0,026	0,020	0,018	0,017	0,016	0,016
11	0,064	0,016	0,014	0,012	0,011	0,011	0,011
13	0,052	0,012	0,010	0,009	0,008	0,008	0,008
15	0,046	0,009	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006

$\alpha_w = \alpha$  trong trường hợp xấu nhất.

Giá trị tương tự áp dụng cho mạch điện chỉ ra trong Hình A.8b. Chú ý rằng dây trung tính được mang tải gấp ba lần các hài  $3n$ . Góc pha  $\phi_n$  của dòng điện hài phụ thuộc vào tỉ số  $R/Z$  và góc trễ của trigơ  $\alpha$ .

Các thông tin khác được nêu trong Bảng A.5; bảng này gồm có dòng điện hài tương đối lớn nhất của bộ điều khiển xoay chiều một pha, và góc pha liên quan  $\alpha_{\text{worst}}$  với bậc hài thấp hơn.

Các giá trị này, liên quan đến nung bằng nhau nhưng các bậc 3, 9 và 15 được loại bỏ. Dòng điện cơ bản lớn nhất  $I_{1\text{max}}$  và tỷ số  $R/Z$  là:

$$I_{1\text{max}} = \frac{U_L}{\sqrt{R_A^2 + (3X_L + X_A)^2}}$$

$$\frac{R}{Z} \approx \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{3X_L + X_A}{R_A}\right)^2}} \quad (\text{A.18})$$

Để có thêm chi tiết liên quan đến dòng điện hài của bộ điều khiển xoay chiều theo các cách đấu nối trong Hình A.8a, b và c, xem [12] của Phụ lục E.

Bộ điều khiển xoay chiều ba pha thường được áp dụng để điều khiển điện áp sơ cấp của máy biến áp cấp điện cho tải một pha điện áp cao hoặc dòng điện thấp qua chỉnh lưu diốt trên phía thứ cấp. Dòng điện một chiều thường được làm phẳng bằng cuộn kháng. Dòng điện hài phụ thuộc vào các đấu nối bộ điều khiển xoay chiều và máy biến áp, góc trễ và mức độ bằng phẳng. Các giá trị có thể làm xuất hiện dòng điện hài thì cần được yêu cầu từ nhà chế tạo.

### A.2.6 Bộ chuyển đổi tự đảo mạch

Bộ chuyển đổi tự đảo mạch, nối ở phía đường dây có thể tránh được công suất phản kháng hoặc phần bù dành cho nó và để giảm dòng điện hài. Vì ứng dụng kỹ thuật mới này vẫn còn rất ít nên nó không được đề cập tới.

## A.3 Lò hồ quang

Lượng dòng điện hài sinh ra do lò hồ quang xoay chiều và biến động của nó tùy thuộc vào một số hệ số, ví dụ như chế độ làm việc, loại kim loại vụn, nhiệt độ và điều kiện của các điện cực. Giá trị đo được phụ thuộc vào chế độ đặt bộ phân tích hài vì các hài thay đổi ngẫu nhiên.

Tham khảo [2] trong Phụ lục E cho ví dụ về phổ đo được đối với lò hồ quang (xem Hình 10) nhưng phổ của các lò hồ quang khác có thể bị lệch đáng kể.

Các góc pha của hài thay đổi ngẫu nhiên trên dải rộng.

#### **A.4 Máy hàn xoay chiều**

Máy hàn xoay chiều để hàn chấu thông qua máy biến áp điện kháng cao thì không tạo ra các hài đáng kể. Dòng điện hài được tạo ra khi hồ quang hàn được duy trì hoặc dòng điện hàn được điều khiển bằng bộ điều khiển xoay chiều. Trong cả hai trường hợp, dòng điện hài là tương đối thấp do trở kháng cao trong mạch điện tải.

Các giá trị ở Bảng A.5, với  $R/Z = 0,5$  là thích hợp cho máy hàn. Tuy nhiên, nhiễu chính tạo ra do máy hàn là sự biến động điện áp.

#### **A.5 Bóng đèn huỳnh quang**

Bóng đèn huỳnh quang hầu hết được nối với điện cảm của balát đến lưới điện. Chúng tạo ra các dòng điện hài có giá trị và góc pha không đổi vì trở kháng không tuyến tính của phóng hồ quang .

Bóng đèn huỳnh quang kiểu mới được thiết kế để thay bóng đèn nung sáng được nuôi bằng bộ phát tần số cao. Hiện nay, nguồn xoay chiều thường có tải bằng chỉnh lưu một pha sơ đồ cầu dùng điôt có tụ điện san bằng nối với phía một chiều.

Khối lượng gia tăng của bóng đèn huỳnh quang phối hợp với máy tính, ti vi, v.v...có nguồn cung cấp giống nhau, gây ra mức nhiễu hài cao ở hầu hết các mạng lưới, đặc biệt là liên quan đến hài bậc 5. Ngoài ra, hài bậc 3 mức lớn chạy trong dây trung tính có thể xảy ra.

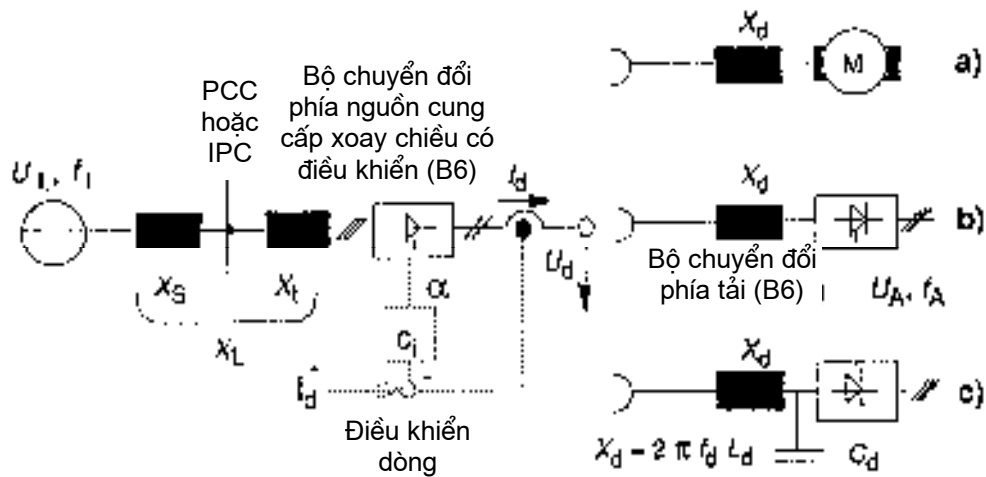
#### **A.6 Đóng cắt cuộn cảm bão hoà**

Dòng điện khởi động cực đại của máy biến áp và máy điện xoay chiều phụ thuộc vào góc pha tại thời điểm đóng cắt và độ từ dư của các bộ phận làm bằng vật liệu sắt từ. Dòng điện khởi động có chứa tất cả các hài nguyên bậc thấp, kể cả bậc 0 đối với các thành phần một chiều. Thành phần hài suy giảm theo hằng số thời gian từ khoảng vài giây đến vài phút (máy biến áp công suất cao).

#### **A.7 Đóng cắt tổ hợp tụ điện**

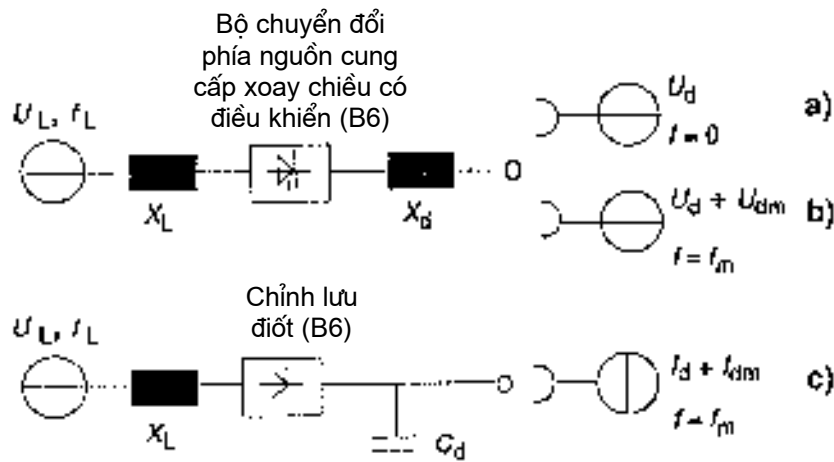
Đóng điện cho các tụ điện làm kích thích dao động, tần số dao động được xác định bằng điện dung và tất cả các điện cảm đặt vào nó. Trong trường hợp bộ lọc, ở chừng mực nào đó, tần số cộng hưởng thu được nhỏ hơn tần số mà bộ lọc được điều hưởng đến. Dao động cộng hưởng suy giảm trong vòng từ 10 đến 20 chu kỳ của nó, tức là nhỏ hơn một giây.

CHÚ THÍCH: Thiết kế bù công suất phản kháng cần tránh các điện dung mà không điều hưởng cuộn kháng vì cộng hưởng song song có thể xảy ra do một trong các hài. Cũng cần ngăn ngừa bù dương để không tăng điện áp pha.



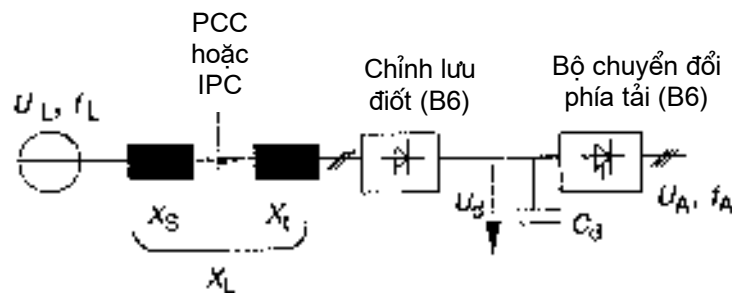
Hình A.1 – Bộ chuyển đổi thyristo phía nguồn cung cấp xoay chiều có san phẳng bằng điện cảm và

- a) truyền động một chiều và bù ổn định
- b) bộ nghịch lưu nguồn dòng
- c) san phẳng bằng tụ điện bổ sung và bộ nghịch lưu nguồn áp

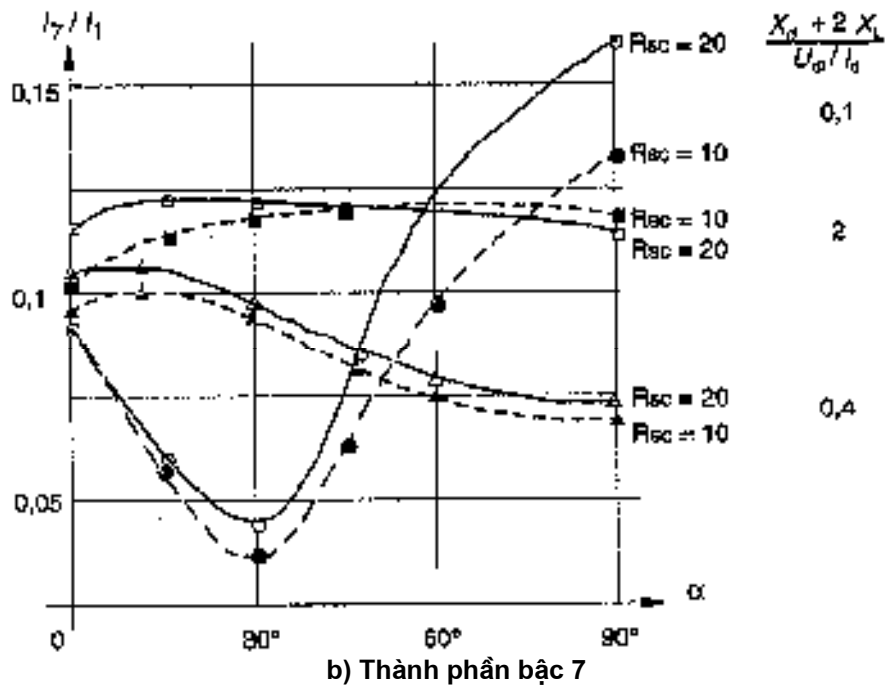
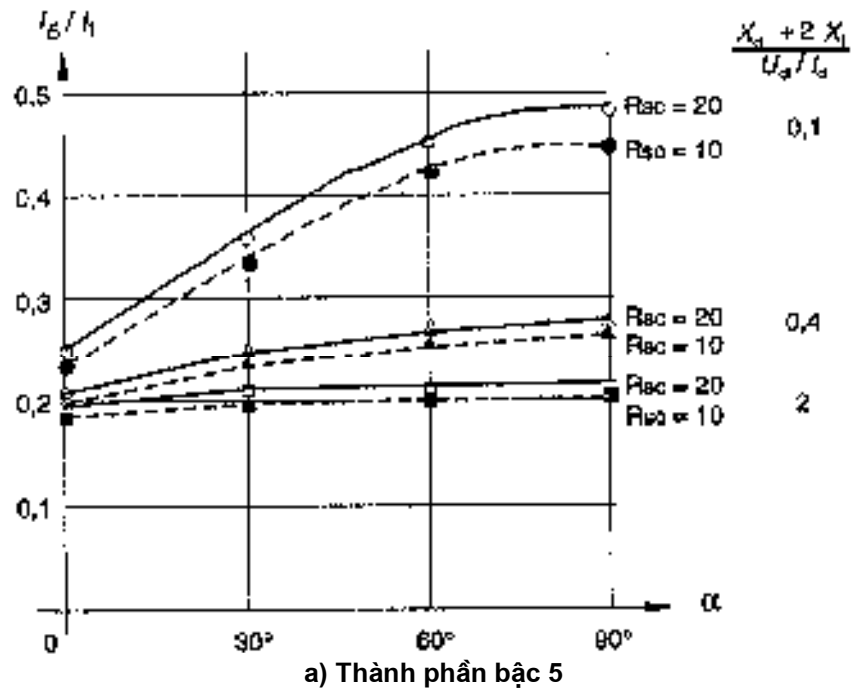


- a) điện áp một chiều từ 0 (bộ bù ổn định) và  $0,9 U_d$  (máy điện một chiều)
- b) điện áp một chiều  $U_d$  và các điện áp xoay chiều xếp chồng  $U_{dm}$  với tần số  $f_m$
- c) dòng điện một chiều  $I_d$  và dòng điện xoay chiều xếp chồng  $I_{dm}$  có tần số  $f_m$

Hình A.2 – Mạch điện tương đương dùng cho bộ chuyển đổi tạo ra dòng điện hài và dòng điện hài trung gian ở phía nguồn xoay chiều.



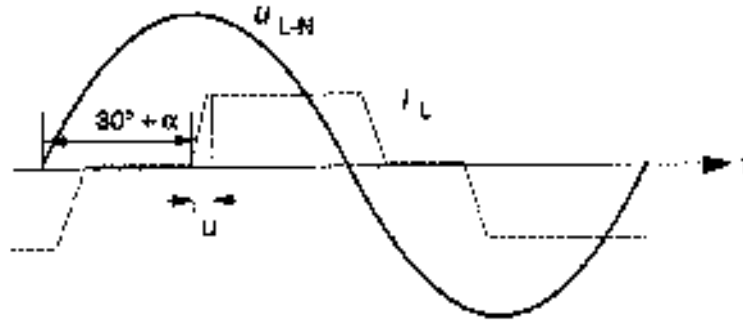
Hình A.3 – Chỉnh lưu diốt phía nguồn xoay chiều có san phẳng bằng tụ điện và bộ nghịch lưu nguồn áp



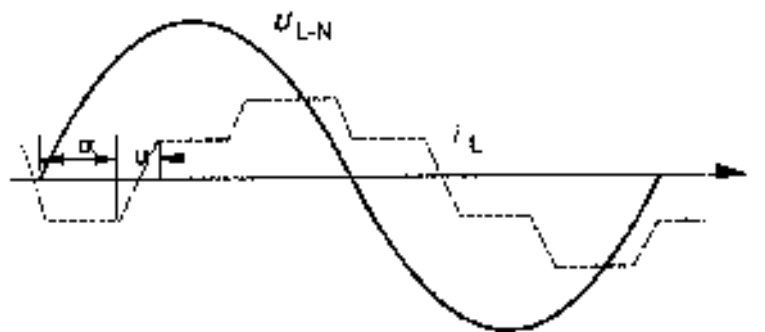
Hình A.4 – Dòng điện hài tương đối trên đường dây có bậc  $h = 5$  và  $7$  tùy thuộc vào góc trễ của trigơ  $\alpha$

Tham số:  $R_{sc} = 20$  và  $10$

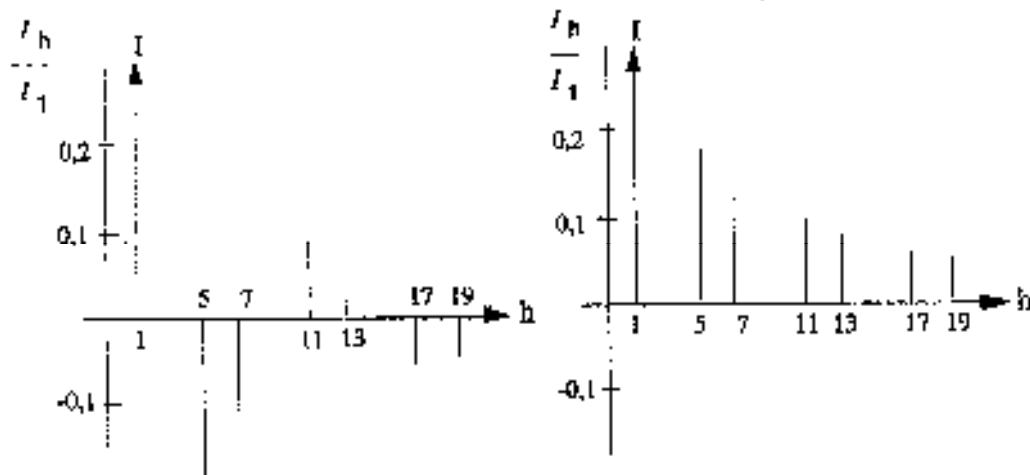
Mức độ bằng phẳng  $\frac{X_d + 2X_L}{U_{di}/I_d} = 0,1, 0,4$  và  $2$



a) Dạng sóng điện áp và dòng điện trong trường hợp máy biến áp nối Y/Y hoặc Δ/Δ

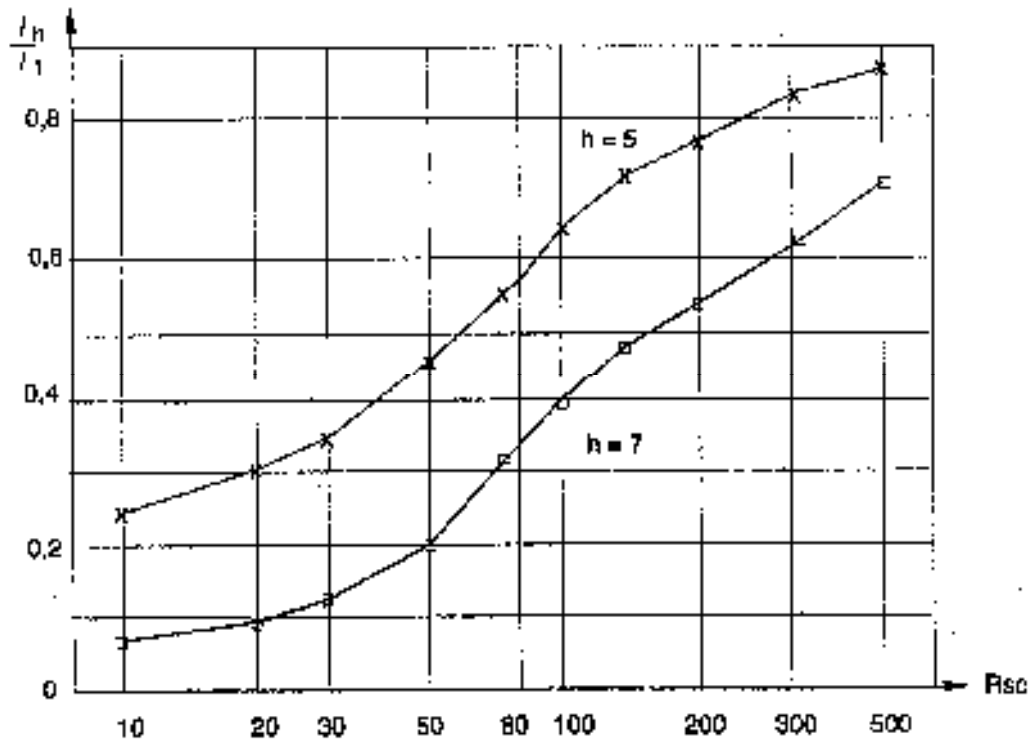


b) Dạng sóng điện áp và dòng điện trong trường hợp máy biến áp nối Y/Δ hoặc Δ/Y

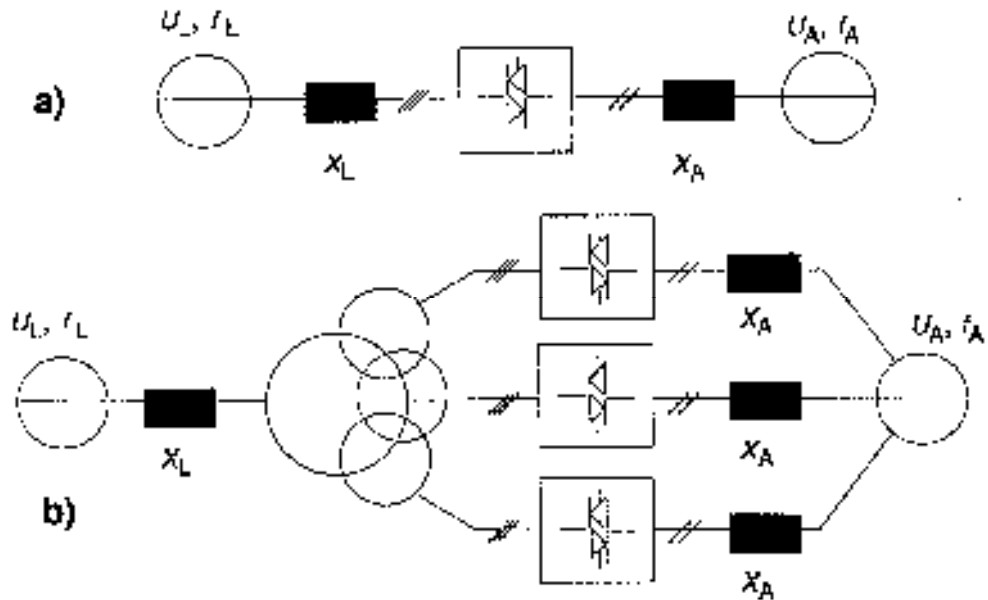


c) Phổ dòng điện hài trong dòng điện cung cấp (qui về điểm qua 0 của dòng điện cơ bản); Sơ đồ phía trái liên quan đến trường hợp a), sơ đồ bên phải liên quan đến trường hợp b).

Hình A.5 – Điện áp và dòng điện sơ cấp đối với bộ chuyển đổi liên kết với lưới qua máy biến áp



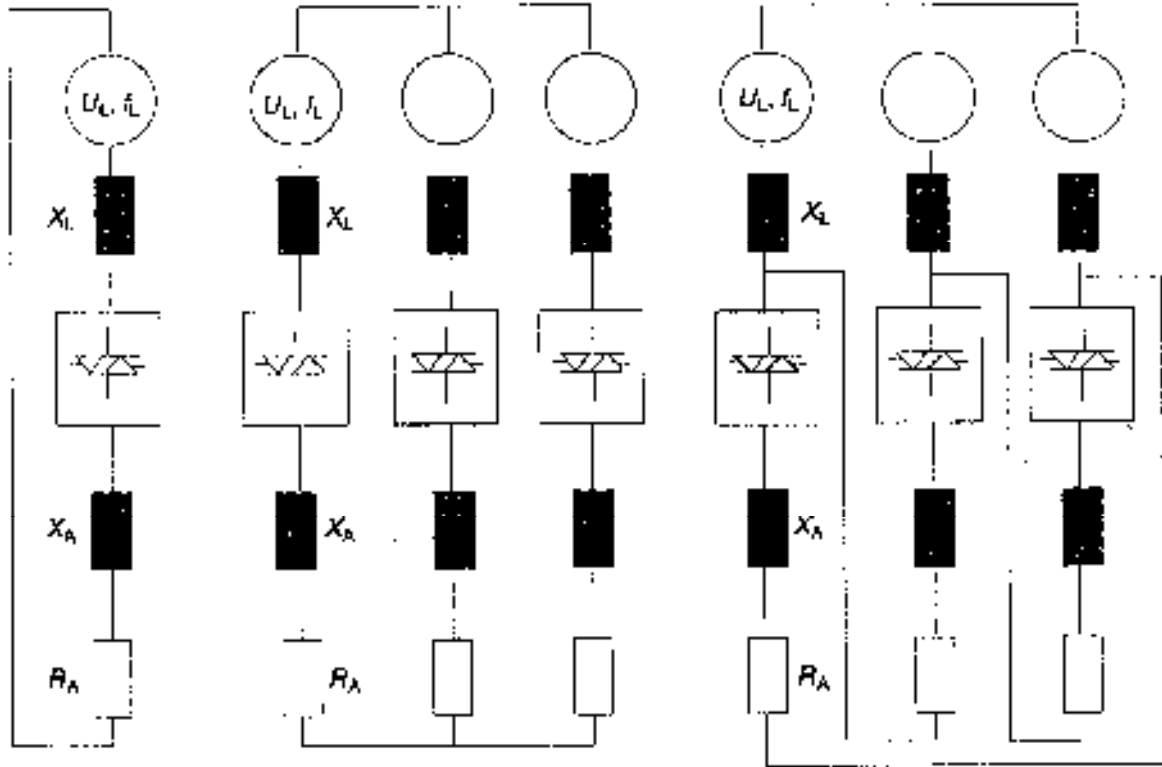
Hình A.6 – Dòng điện hài tương đối từ phía nguồn cung cấp của chỉnh lưu diốt theo cách nối B6 cấp điện áp một chiều không có nhập nhò



Hình A.7 – Bộ chuyển đổi trực tiếp có:

- a) đầu ra một pha
- b) đầu ra ba pha (bộ chuyển đổi vòng tròn)





a) Bộ điều khiển một pha

b) Bộ điều khiển ba pha nối sao, tải nối với điểm sao

c) Bộ điều khiển ba pha nối tam giác

Hình A.8 – Cách nối bộ điều khiển xoay chiều

## Phụ lục B

(tham khảo)

### Trở kháng mạng dùng để tính mức lan truyền hài và đánh giá các thành phần điện áp hài

#### B.1 Phạm vi áp dụng

Phụ lục này liên quan đến việc đánh giá trở kháng cần thiết để tính sự phân bố dòng điện hài và thành phần điện áp hài trong hệ thống điện. Phụ lục này cũng đưa ra một phương pháp đơn giản; phương pháp này được hạn chế ở tần số đến hài bậc 40 và có khả năng áp dụng cho hệ thống lắp đặt công nghiệp. Độ chính xác của phép tính giảm khi tần số tăng. Do đó, các phép đo bổ sung có thể có ích cho các trường hợp tới hạn.

Mục đích là đưa ra hướng dẫn cho người thiết kế hệ thống dựa trên phép tính trở kháng mạng lưới ở các tần số hài.

#### B.2 Lời giới thiệu

Tải được nối với mạng điện lực có thể tạo ra các dòng điện hài, chạy qua các nhánh khác nhau của mạng lưới. Dòng điện hài gây ra điện áp rơi qua các trở kháng của các thành phần khác nhau của hệ thống. Do đó, tải cần xem xét tạo ra điện áp hài tại điểm mà nó được nối và qua toàn bộ hệ thống. Biên độ của các điện áp hài này, cũng như phân phối dòng điện hài trong mạng lưới, được xác định bằng trở kháng, tại tần số hài của các nhánh khác nhau trong mạng lưới cũng như kích cỡ và vị trí của nguồn hài.

#### B.3 Phương pháp tính

Phép tính phân bố dòng điện hài và điện áp hài cần xem xét trở kháng bên trong của hệ thống cung cấp điện tất cả các tuyến đến EMF không xác định của mạng lưới và trở kháng của tất cả các mảng thiết bị được nối song song vào cùng hệ thống. Có thể gồm có các trở kháng của:

- mạng lưới cung cấp điện cao áp, tại đó, hệ thống cần nghiên cứu được nối vào;
- máy biến áp và cuộn kháng hạn chế dòng điện;
- máy điện quay xoay chiều;
- cáp và đường dây trên không;
- tụ điện được lắp đặt để có hệ số công suất đúng;
- bộ lọc hài;
- phụ tải lớn.

Tải có trở kháng trong cao, như bộ chuyển đổi đảo mạch đường dây có dòng điện cảm ứng một chiều bằng phẳng thường được xem là nguồn dòng hài lý tưởng.

Nói chung, tính không đối xứng của mạng được bỏ qua khi xem xét sự phân bố dòng điện hài trong mạng. Với giả thiết này, có thể thực hiện việc nghiên cứu phân phổ hài trong mạng một pha tương đương. Mặt khác, tính không đối xứng được xem xét khi đánh giá lượng dòng điện hài được đưa vào do các tải gây nhiễu.

CHÚ THÍCH: Chỉ xem xét điện áp pha-pha, do đó, thành phần thứ tự không của mạng không được đề cập ở đây.

Trong trường hợp đơn giản khi hệ thống cần nghiên cứu đơn giản, có thể cần thực hiện các phép tính bằng tay, nhưng nói chung, với cấu hình mạng phức tạp hơn, việc tính toán bằng tay là nặng nề, đặc biệt là khi thành phần điện áp hài cần được đánh giá tại các điểm ghép nối khác nhau và với nhiều tần số. Trong trường hợp này, nên sử dụng chương trình máy tính để phân tích hệ thống điện. Các chương trình này có sẵn trên thị trường.

#### B.4 Xác định điện áp hài

Với phép gần đúng sơ bộ, thành phần điện áp hài trong hệ thống có thể được đánh giá chung với giả thiết là dòng điện/điện áp hài đưa vào từ tải không phụ thuộc nhiều vào đặc tính riêng của mạng lưới tại tần số hài. Dòng điện đưa vào phụ thuộc chủ yếu vào độ bằng phẳng, điều kiện làm việc của thiết bị cần xét và trong một phạm vi nào đó, phụ thuộc vào công suất ngắn mạch tại điểm nối của thiết bị gây nhiễu.

CHÚ THÍCH: Bộ chuyển đổi đảo mạch đường dây có tải cảm ứng tương đối lớn hoạt động như nguồn dòng điện hài với tần số đến hài bậc 40. Các kiểu thiết bị nhiễu khác có thể hoạt động hoặc như nguồn điện áp hài hoặc nguồn dòng điện hài.

Điện áp hài phát ra từ tải đơn lẻ trong trường hợp nhất định có thể được tính như dòng điện hài đưa vào, nhân với trở kháng bên trong mạng lưới tại điểm nối. Trở kháng bên trong trong trường hợp này là trở kháng tương đương,  $Z_{eq}$ , khi nhìn từ các đầu nối tải vào mạng lưới, và được đánh giá với mỗi tần số hài riêng rẽ. Việc đánh giá có xem xét trở kháng đường dây cấp điện cũng như trở kháng của tất cả các mảng thiết bị được nối song song, kể cả bộ lọc hài, nếu có.

Ví dụ về tính  $Z_{eq}$  cho hai điểm khác nhau trong hệ thống được chỉ ra trong Hình B.1.

Cần chú ý rằng  $Z_{eq}$  có thể biến đổi đáng kể trong mạng lưới khác và/hoặc điều kiện tải khác. Do đó, điều quan trọng đối với người thiết kế khu công nghiệp là phải có tất cả các thông tin về toàn bộ dải biến đổi của  $Z_{eq}$ .

## B.5 Biến đổi trở kháng mạng lưới theo tần số

Nói chung,  $Z_{eq}$  là một hàm số phức tạp của tần số. Tuy nhiên, trong một số trường hợp, có thể sử dụng một phương pháp đơn giản hơn, tạo khả năng tính toán bằng tay. Phương pháp này có thể được áp dụng trong trường hợp bỏ qua điện dung của mạng lưới, hoặc điện dung đơn lẻ chiếm ưu thế trong dải tần số xem xét.

CHÚ THÍCH 1: Trở kháng thường được tính xấp xỉ chỉ bằng phần phản kháng của nó khi trở kháng điện dung có dấu âm. Sau đây, ký hiệu của đại lượng phức được bỏ qua.

CHÚ THÍCH 2: Trong trường hợp cộng hưởng riêng, phải xem xét hài có bậc cao hơn 25.

### B.5.1 $Z_{eq}$ tỷ lệ trực tiếp với tần số

Trong các hệ thống lắp đặt đơn giản, không có tụ điện cỡ lớn để hiệu chỉnh hệ số công suất, và không có mạng cáp lớn, điều kiện cộng hưởng ít có khả năng xảy ra với tần số đến hài bậc 13. Trong các trường hợp này,  $Z_{eq}$  có thể được xem như chủ yếu là điện cảm, và được tính xấp xỉ là:

$$|Z_{eq}| \approx |X_{eq}(h)| \approx h|X_{eq}(1)| \quad (B.1)$$

trong đó

$X_{eq}(h)$  là điện kháng mạng lưới ở hài bậc  $h$ ;

$X_{eq}(1)$  là điện kháng mạng lưới ở tần số cơ bản.

Phương pháp này có thể được sử dụng với độ chính xác hợp lý (thường tốt hơn  $\pm 20\%$ ) nếu:

a) Các thanh cái được cấp điện qua máy biến áp và trở kháng của máy biến áp  $X_T$  ở tần số cơ bản cao hơn so với trở kháng của nguồn cung cấp cao áp,  $X_{HV}$ .

$X_T/X_{HV} > 10$  nếu có thể xảy ra cộng hưởng ở nguồn cung cấp cao áp trong dải tần xem xét;

$X_T/X_{HV} > 4$  nếu ít có khả năng xảy ra cộng hưởng ở nguồn cung cấp cao áp trong dải tần xem xét.

b) Điện dung tổng được nối với hệ thống thứ cấp rất nhỏ nên tần số cộng hưởng nhỏ nhất là 2,5 lần tần số hài xem xét lớn nhất.

Tần số cộng hưởng  $f_r$  được tính là:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (B.2)$$

Trong đó,  $L$  là điện cảm của từng pha tương ứng với  $Z_{eq}$  nếu bỏ qua điện dung, và  $C$  là điện dung của từng pha được nối tại điểm mà  $Z_{eq}$  được đánh giá, có tính đến cả tụ điện bù hệ số công suất và điện dung của cáp. Điện dung của cáp ba pha thường lấy từ 0,25  $\mu\text{F}/\text{km}$  đến 0,6  $\mu\text{F}/\text{km}$ .

$f_r$  cũng có thể có được từ công thức:

$$f_r = f_N \sqrt{\frac{S_{SC}}{Q}} \quad (B.3)$$

trong đó

$f_N$  là tần số cơ bản;

$S_{SC}$  là công suất ngắn mạch của nguồn cung cấp;

$Q$  là công suất phản kháng tổng sinh ra từ tụ điện và cáp trong hệ thống.

Các qui tắc ở trên được chứng tỏ bằng các xem xét liên quan đến cấu hình mạng lưới đơn giản dưới đây.

### B.5.1.1 Trở kháng mạng trong các mạng đơn giản

#### a) Cộng hưởng trong mạng cao áp

Xem xét cấu hình mạng lưới và sơ đồ trở kháng kết hợp ở tần số đã cho được thể hiện trên Hình B.2.  $Z'_{HV}$  là trở kháng bên trong của nguồn cao áp nếu không có cộng hưởng. Khuếch đại cộng hưởng, do có tụ điện trong hệ thống cung cấp, được xem là năm lần hoặc nhỏ hơn trong hầu hết các trường hợp. Vì véctơ trở kháng  $Z_{HV}$  sẽ rơi vào phạm vi vòng tròn nét đậm, với đường kính là  $5 Z'_{HV}$ , và biểu diễn dưới đây có thể được rút ra từ sơ đồ trở kháng:

$$Z_{eq\max} \approx \sqrt{(Z_T + 2,5 Z_{HV})^2 + (2,5 Z_{HV})^2}$$

$$Z_{eq} \approx Z_T + Z_{HV} \quad (B.4)$$

$$Z_{eq\min} \approx \sqrt{(Z_T - 2,5 Z_{HV})^2 + (2,5 Z_{HV})^2}$$

$$\text{nếu } Z_{HV} < \frac{Z_T}{10} \text{ thì}$$

$$Z_T \leq Z_{eq\max} \leq 1,27 Z_T \quad (B.5)$$

$$Z_T \leq Z_{eq} \leq 1,1 Z_T$$

$$0,79 Z_T \leq Z_{eq\min} \leq Z_T$$

$$0,72 \leq \frac{Z_{eq\min}}{Z_{eq}} < \frac{Z_{eq\max}}{Z_{eq}} \leq 1,15 \quad (B.6)$$

#### b) Cộng hưởng trong mạng lưới điện áp thấp

Xem xét mạng lưới có cộng hưởng đơn lẻ, như chỉ ra theo dạng sơ đồ trong Hình B.3.

Trở kháng tại điểm ghép nối có thể rút ra như sau:

$$Z_{eq} \approx \frac{2\pi f_N L}{\left(1 - \left(\frac{f_N}{f_r}\right)^2\right)} \quad (B.7)$$

trong đó

$f_N$  là tần số hệ thống

$f_r$  là tần số cộng hưởng

$$\text{nếu } f_r > 2,5 f_N \text{ thì } Z_{eq} < 1,19 Z_L \quad (B.8)$$

Các bất đẳng thức chứng tỏ rằng trong các trường hợp được xem xét a và b, biến đổi tuyến tính của trở kháng theo tần số là phép tính xấp xỉ hợp lý.

### B.5.2 $Z_{eq}$ với cộng hưởng đơn

Nếu các thành phần điện dung tổng có thể được xem là được nối với cùng một điểm về điện, giá trị thu được của  $Z_{eq}$  có thể được tính với L song song với C, trong đó, L và C được xác định như ở B.5.1.

Điều này phù hợp với nguyên lý được giải thích trong Hình B.1.

Tuy nhiên, gần điểm cộng hưởng, phương pháp này sẽ cho giá trị trở kháng quá cao. Để tính giá trị đúng, thành phần điện trở của trở kháng mạng lưới cần được xem xét. Tuy nhiên, thành phần điện trở, ở tần số hài, là rất khó để xác định trong trường hợp thực tế. Do đó, khuyến cáo rằng giá trị  $Z_{eq}$  chỉ được tính với L và C, bỏ qua thành phần điện trở, và sau đó được giới hạn để hệ số khuếch đại cộng hưởng k:

$$K = \frac{Z_{eq}(h)}{hX_{eq}(1)}$$

không vượt quá 3 đến 10 lần. Giá trị thấp hơn có hiệu lực đối với mạng lưới có tải nặng nề, và giá trị cao hơn đối với các mạng lưới có tải cực thấp. Bình thường, hệ số khuếch đại cộng hưởng không vượt quá 5 lần trong mạng công cộng, nhưng có thể lên tới 8 đến 10 lần trong một số mạng lưới công nghiệp trong điều kiện tải nhẹ.

### B.5.3 $Z_{eq}$ trong hệ thống phức tạp hơn

Nếu các phần tử điện dung được nối với một số điểm trong mạng lưới hoặc nếu các tụ điện được điều hưởng với các cuộn kháng mắc nối tiếp thì sẽ xuất hiện một số điểm cộng hưởng. Trong các trường hợp này, cũng như các trường hợp với mạng lưới phức tạp hơn khác, việc tính toán bằng tay sẽ nặng nề và vì vậy, nên tính bằng máy tính.

Một ví dụ về biến đổi trở kháng  $Z_{eq}$ , có tần số tại điểm ghép nối, được chỉ ra trong Hình B.4. Hình này chỉ ra sơ đồ một sợi của khu công nghiệp được cấp điện bởi hệ thống 132 kV và biến đổi liên quan của trở kháng nguồn được nhìn từ IPC1 và PCC. Ảnh hưởng của hệ thống lắp đặt của các tụ điện bù hệ số công suất cũng được chỉ ra.

Cộng hưởng song song được ấn định là xuất hiện trong trường hợp tại IPC1.

## **B.6 Trở kháng của các thành phần hệ thống**

Việc tính toán sự phân bố dòng điện hài và điện áp hài trong mạng lưới đòi hỏi xác định các trở kháng mô tả đáp tuyến tại tần số hài của từng thành phần mạng lưới. Thông tin cơ bản về mô hình cần xem xét và về các giá trị của các tham số liên quan, thường sẵn có trong sổ tay. Dưới đây đưa ra một số chỉ dẫn về các khía cạnh cụ thể, có tính đến dải tần nghiên cứu giới hạn từ hài bậc 2 đến hài bậc 40.

### **B.6.1 Máy phát đồng bộ, động cơ cảm ứng**

Ở phép gần đúng sơ bộ, máy điện thể hiện đáp ứng cảm ứng, điện cảm cần xem xét là thành phần thứ tự nghịch đối với máy điện đồng bộ và thành phần khoá cứng rôto đối với động cơ cảm ứng.

Tổn hao trên điện trở nối tiếp tăng đáng kể khi tần số tăng. Một số dữ liệu được thu thập trong tài liệu tham khảo CIGRE [16] trong Phụ lục E. Các mô hình phức tạp hơn cũng giải thích cho sự suy giảm của điện cảm khi tần số tăng. Cần quan tâm đến khả năng có tụ điện chống đột biến.

### **B.6.2 Máy biến áp điện lực**

Nói chung, chỉ xem xét trở kháng rò. Điện cảm thường là hằng số trong khi điện trở nối tiếp tăng khi tần số tăng. Vị trí thực tế của bộ chuyển đổi theo nấc cũng quan trọng. Trong dải tần đến 2,5 kHz, thường không cần thiết phải xem xét ảnh hưởng của tụ điện tạp tán.

### **B.6.3 Đường dây truyền tải**

Cả đối với cáp và đường dây trên không, mạch điện tiêu chuẩn có thể được chấp nhận. Hằng số đường dây đối với phép tính mạch điện tương đương có thể thấy trong sổ tay tiêu chuẩn.

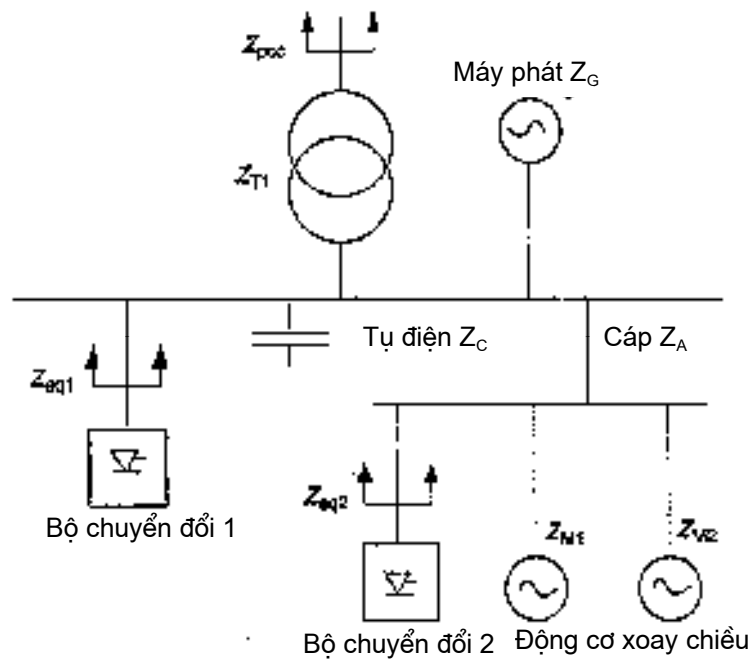
Đối với đường dây ngắn (ngắn hơn 10 km đối với đường dây trên không và 3 km đối với cáp), có thể bỏ qua thực tế là hằng số đường dây được phân bố dọc theo đường dây.

### **B.6.4 Tổ hợp tụ điện và bộ lọc hài**

Chúng cần được mô tả chi tiết. Cũng cần tính đến khả năng có cuộn kháng. Tổn hao của tụ điện thường được bỏ qua nhưng cần xem xét tổn hao trong cuộn kháng của bộ lọc và điện trở làm nhụt.

### **B.6.5 Tải được cấp điện qua bộ chuyển đổi có đảo mạch đường dây**

Nếu chúng cấp điện cho các tải điện cảm lớn thì thường được bỏ qua khi tính trở kháng. Bộ chuyển đổi này nói chung có thể được xem như nguồn dòng thuần túy và do đó, không xuất hiện trong sơ đồ dẫn vào thanh cái.

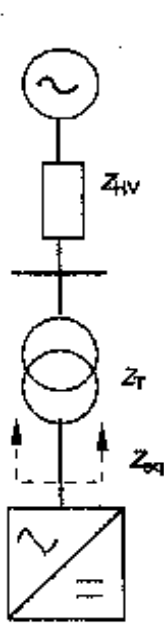


$$Z_{eq1} = \frac{1}{\frac{1}{Z_{pcc} + Z_{T1}} + \frac{1}{Z_G} + \frac{1}{Z_C} + \frac{1}{Z_A + \left( \frac{1}{Z_{M1}} + \frac{1}{Z_{M2}} \right)}}$$

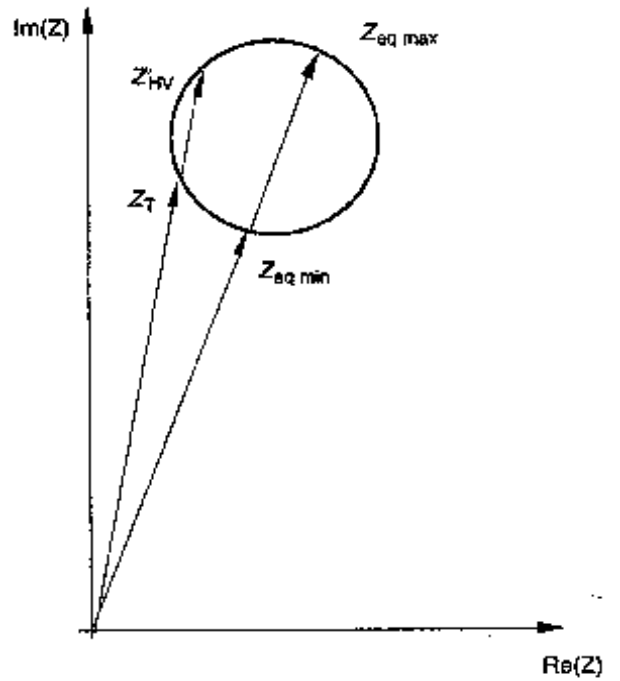
$$Z_{eq2} = \frac{1}{\frac{1}{\frac{1}{Z_{pcc} + Z_{T1}} + \frac{1}{Z_G} + \frac{1}{Z_C} + Z_A} + \frac{1}{Z_{M1}} + \frac{1}{Z_{M2}}}}$$

Hình B.1 – Ví dụ về cách tính trở kháng nhìn từ bộ chuyển đổi 1 và bộ chuyển đổi 2



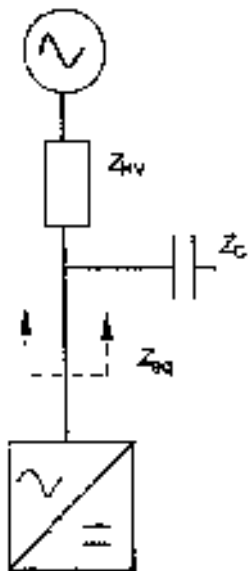


a) Sơ đồ một sợi của nguồn cung cấp xoay chiều dùng cho hệ thống lắp đặt công nghiệp

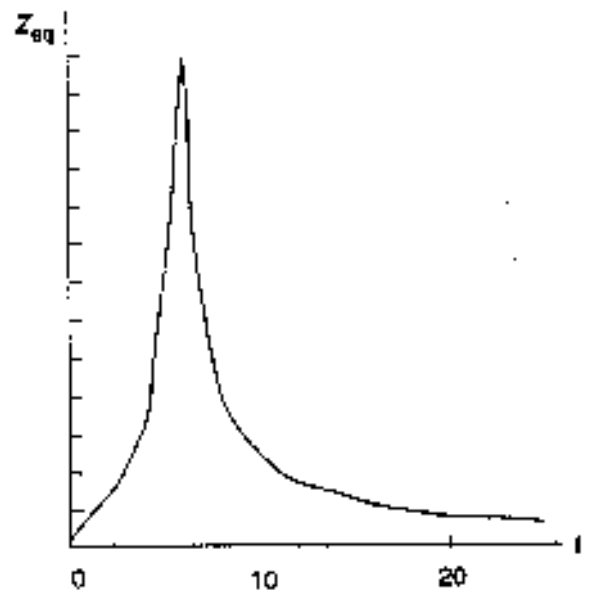


b) Quỹ tích của trở kháng mạng lưới tại tần số cho trước (tùy thuộc vào đặc tính mạng điện cao áp)

Hình B.2 – Trở kháng hài đối với một mạng đơn giản. Cộng hưởng cao áp

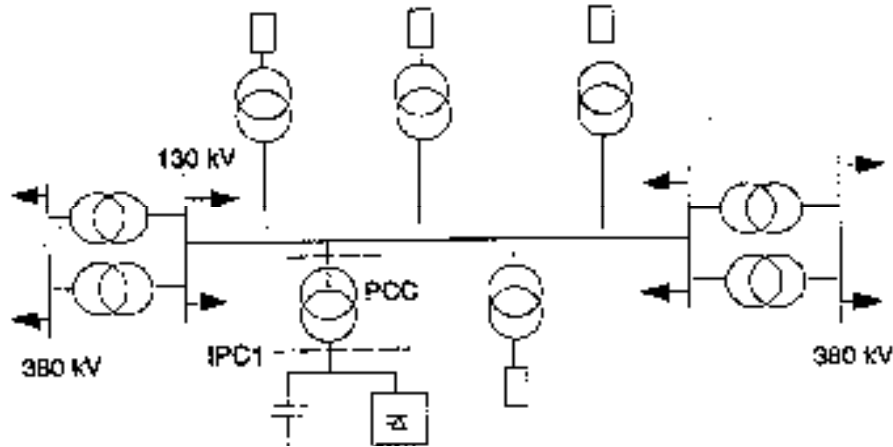


a) Sơ đồ một sợi dùng cho nguồn cung cấp của hệ thống lắp đặt công nghiệp

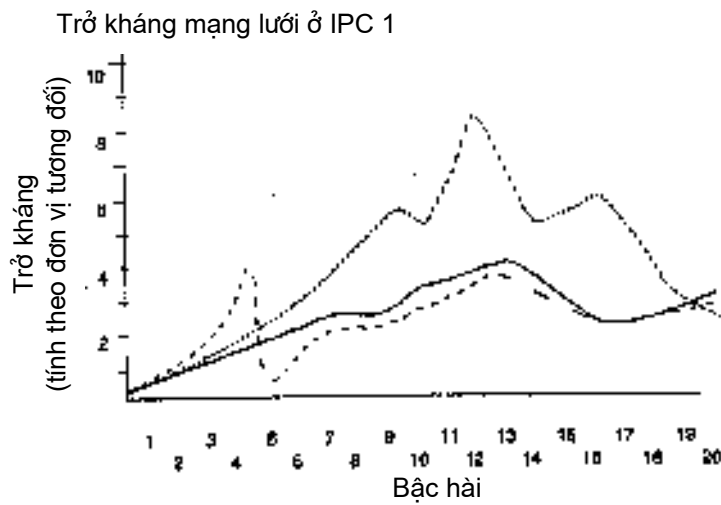


b) Trở kháng mạng so với tần số

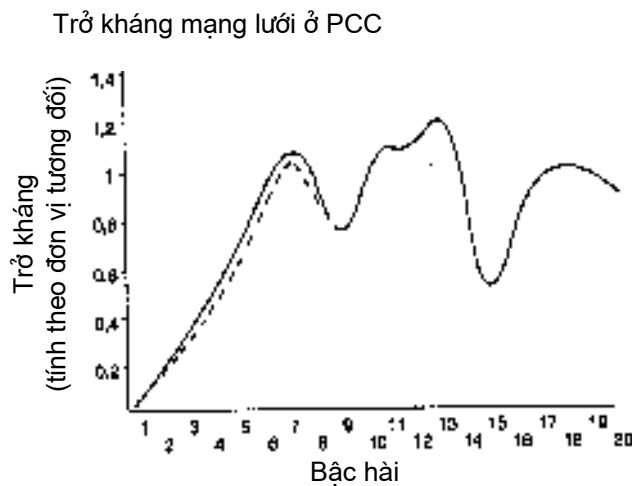
Hình B.3 – Ví dụ về cộng hưởng trong mạng hạ áp



a) Sơ đồ một sợi của nguồn cung cấp cao áp của hệ thống lắp đặt điện công nghiệp



b) Trở kháng nhìn từ IPC 1



c) Trở kháng nhìn từ PCC

Đường liền nét: không có tụ điện bù hệ số công suất tại IPC1

Đường nét đứt: tụ điện 3 Mvar tại IPC1

Đường chấm chấm: tụ điện 3 Mvar có cuộn kháng nối tiếp khử điều hưởng

Hình B.4 – Trở kháng hài của mạng lưới phức tạp.

Trở kháng tính theo đơn vị tương đối trên cơ sở 100 MVA

## Phụ lục C

(tham khảo)

### Hài trung gian dòng điện đường dây của bộ chuyển đổi gián tiếp

#### C.1 Tính giá trị hiệu dụng của dòng điện tuyến $I_{lh}$ của đường dây và bộ chuyển đổi gián tiếp đảo mạch phụ tải

##### C.1.1 Bộ chuyển đổi phía tải ba pha. Đánh giá dòng điện trong bộ lọc (chỉ có cuộn kháng san phẳng)

$$I_{lh} = \frac{U_{lh}}{4\pi k p_A f_A \left( \frac{L_d}{2} + \frac{f_L e_{xL} P_{tL}}{f_A I_{tL}^2} + \frac{e_{xA} P_{tA}}{I_{tA}^2} \right)} \quad (C.1)$$

trong đó

- $f_{lh}$  bằng  $6 k f_A$ ;
- $I_{lh}$  là thành phần dòng điện tuyến trung gian (A, hiệu dụng);
- $f_L$  là tần số nguồn xoay chiều (Hz);
- $U_{lh}$  là điện áp hài (hoặc một chiều) phía tải (V, hiệu dụng), xem Hình C.1;
- $L_d$  là điện kháng san phẳng (H);
- $e_{xL}$  là điện áp ngắn mạch tương đối ở phía đường dây;
- $e_{xA}$  là điện áp ngắn mạch tương đối ở phía phụ tải;
- $I_{tL}$  là dòng điện danh định phía đường dây (A, hiệu dụng);
- $I_{tA}$  là dòng điện danh định phía phụ tải (A, hiệu dụng);
- $P_{tL}$  là công suất danh định của đường dây được nối với máy biến áp (VA);
- $P_{tA}$  là công suất danh định của phụ tải nối được với máy biến áp (VA);
- $p_A$  là số lượng xung của bộ chuyển đổi phía phụ tải.

##### C.1.2 Tải một pha (ví dụ, bộ chuyển đổi để gia nhiệt cảm ứng)

Đánh giá dòng điện trong bộ lọc dòng điện cảm ứng không tính đến chuyển đổi xếp chồng.

$$I_{lh} = \frac{4U_{dio} \sqrt{(\cos \beta)^2 + 4n(\sin \beta)^2}}{\pi(4k^2 - 1)} \frac{1}{2\pi k f_A \left( \frac{L_d}{2} + \frac{f_L e_{xL} P_{tL}}{f_A I_{tL}^2} + \frac{e_{xA} P_{tA}}{I_{tA}^2} \right)}$$

$$f_{lh} = 2 k f_A \quad (C.2)$$

trong đó

$n, k$  là các số nguyên;

$h_{lh}$  là tần số của thành phần  $I_{lh}$  (Hz);

$U_{dio}$  là điện áp không tải của bộ chuyển đổi phía phụ tải (V, hiệu dụng);

$\beta$  là góc điều khiển pha của bộ chuyển đổi phía phụ tải;

$f_A$  là tần số của bộ chuyển đổi phía phụ tải.

Với các ký hiệu khác, xem ở trên.

## C.2 Tính giá trị hiệu dụng của các hài trung gian dòng điện đường dây

Công thức sau đây áp dụng để đánh giá hệ số G cho trong Hình 3a và 3b:

$$G = \frac{I_{hh}}{I_{lh}} = \frac{\sqrt{3}}{\pi(1 \pm np_L)} \quad (C.3)$$

Ở đây, không tính đến ảnh hưởng của chuyển đổi xếp chồng, nó không có ảnh hưởng đáng kể nếu  $n \leq 2$ .

Khi không có các thông tin chi tiết, sử dụng các giá trị ước tính dưới đây:

$I_{lh} \approx 0,3 I_d$  đối với bộ chuyển đổi nguồn dòng trong tuyến trung gian;

$I_{lh} \approx 0,1 I_d$  đối với bộ chuyển đổi nguồn áp trong tuyến trung gian;

## C.3 Ví dụ về sử dụng đồ thị 3

Đồ thị này cho phép tính tần số và biên độ của thành phần hài trung gian dựa trên cơ sở thành phần hài của tuyến trung gian.

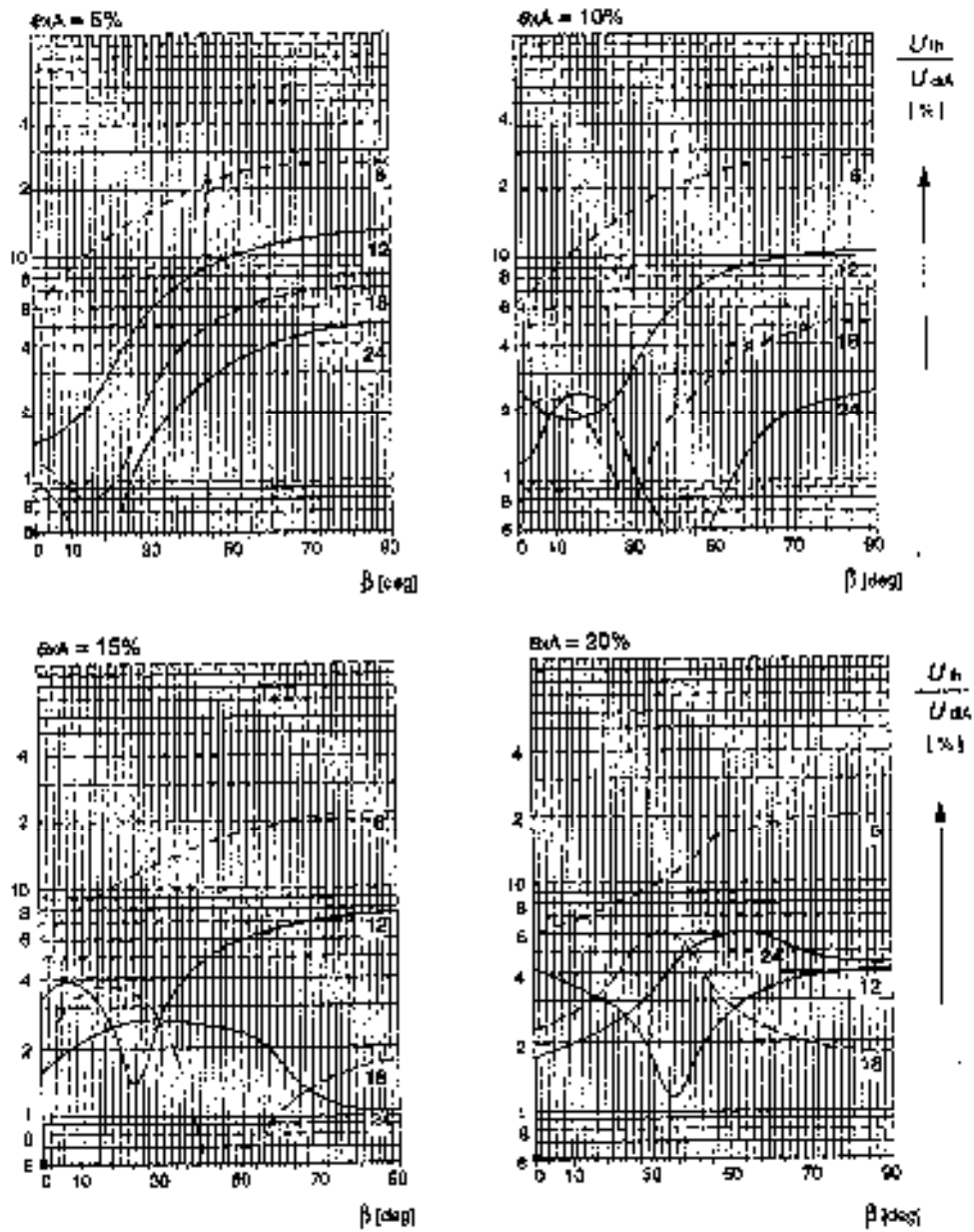
Giả thiết rằng ở tuyến trung gian có các dòng điện như sau:

$I_{lh} = 100 \text{ A}; f_h = 605 \text{ Hz}; f_L = 60 \text{ Hz}$

(xem ví dụ trong Hình C.2).

Bộ chuyển đổi nguồn xoay chiều		Tần số nguồn xoay chiều (Hz)	Biên độ dòng điện đường dây (A)
6 xung	12 xung		
X	-	55	5,0
X	-	175	4,2
X	X	185	7,9
X	X	305	11,0
X	X	415	3,4
X	X	535	2,9
X	-	545	55,1
X	-	665	55,1
X	-	775	2,4
X	-	895	2,2
X	X	905	11,0
X	X	1 025	7,9

Đánh giá tần số hài trung gian ở dòng điện nguồn xoay chiều do dòng điện hài trong tuyến một chiều gây ra.



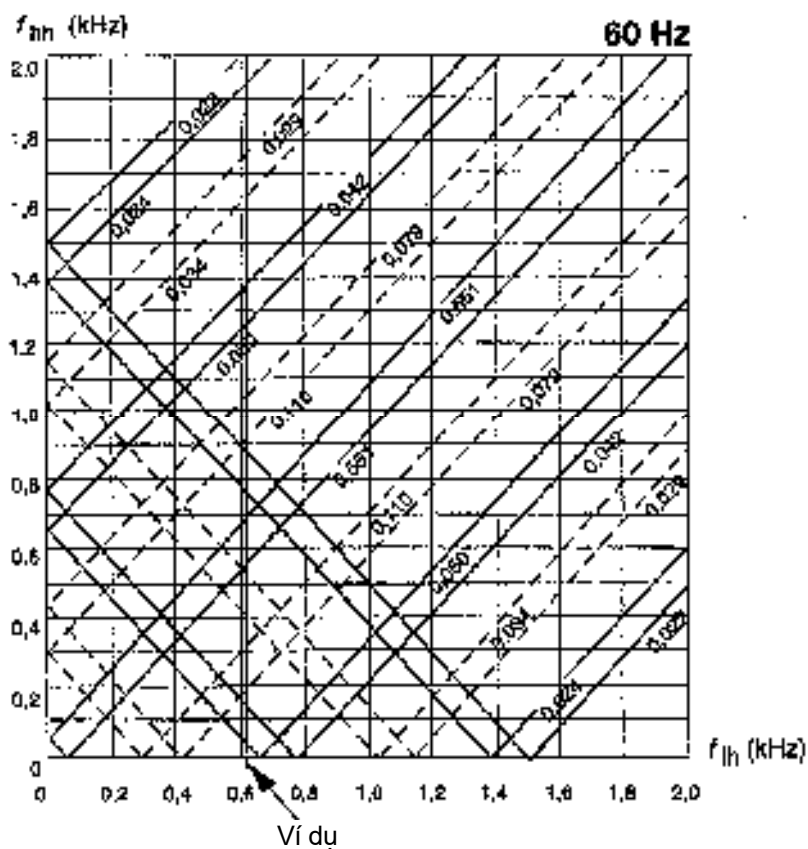
$U_{lh}$  Thành phần điện áp hài bậc h

$U_{diA}$  Điện áp một chiều không tải lý tưởng ( $\beta = 0$ ) của bộ chuyển đổi phía phụ tải

$exA$  Điện áp ngắn mạch tương đối ở phía phụ tải xoay chiều

$\beta$  Góc dịch pha của bộ chuyển đổi phía tải

**Hình C.1 – Thành phần hài của điện áp một chiều từ bộ chuyển đổi đảo mạch phía tải được nối ở phía tải của tuyến một chiều**



Hình C.2 – Đánh giá tần số hài trung gian ở dòng điện nguồn xoay chiều gây ra bởi dòng điện ở 605 Hz trong tuyến một chiều

**Phụ lục D**

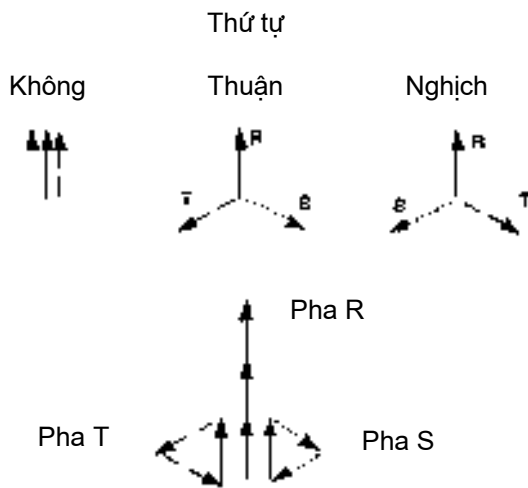
(tham khảo)

**Mất cân bằng ba pha**

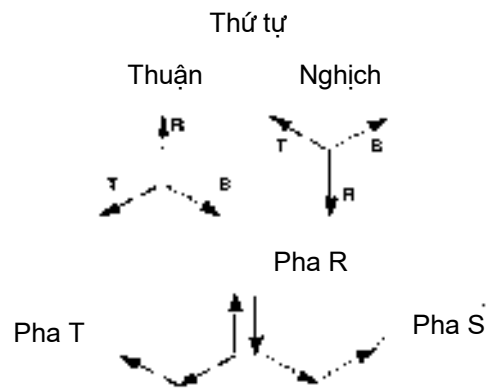
**D.1 Mô tả nguồn nhiễu**

**D.1.1 Tải một pha**

Phân tích các thành phần đối xứng của dòng điện được tạo ra từ tải một pha được giải thích thêm bằng sơ đồ véctơ trong Hình D.1 và D.2. Để đơn giản hoá, giả thiết hệ số công suất bằng 1.



**Hình D.1 – Tải một pha giữa pha R và trung tính**



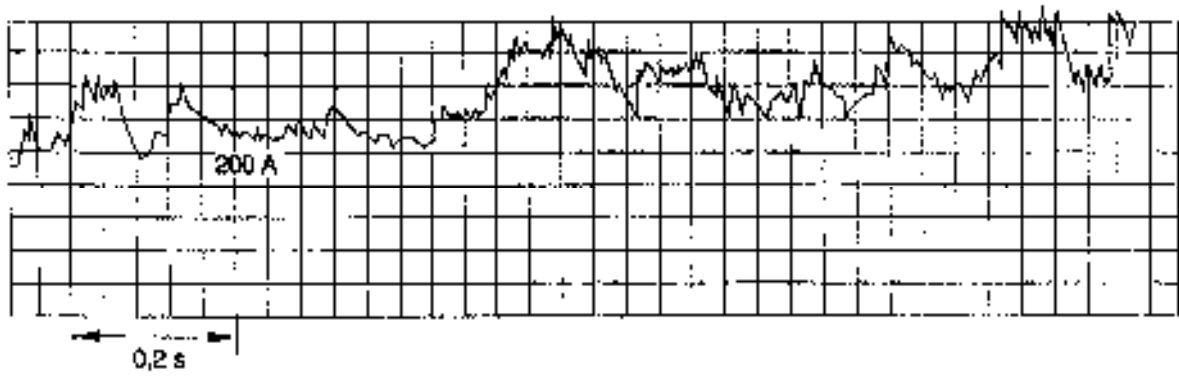
**Hình D.2 – Tải nối giữa pha S và pha T**

**D.1.2 Lò hồ quang**

Về nguyên lý, lò hồ quang là tải ba pha, nhưng hoạt động với bộ điều khiển pha riêng rẽ với qui trình rất mất ổn định. Điều này khiến lò hồ quang là một nguồn chính của dòng điện không cân bằng. Vì nó chỉ được nối với ba pha và không có trung tính, do đó nó chỉ tạo ra dòng điện thứ tự thuận và dòng điện thứ tự nghịch mà không có thứ tự không. Trong quá trình nấu chảy kim loại, dòng điện thứ tự nghịch là cao nhất và cũng thay đổi đột ngột. Trong quá trình này, dòng điện thứ tự nghịch trung bình có thể cao bằng 20 % dòng điện lò hồ quang danh định, với đỉnh lên đến 40 %, xem ví dụ [14] của Phụ lục E.

Một ghi chép điển hình về dòng điện thứ tự nghịch trong quá trình nấu chảy kim loại được thể hiện trong Hình D.3.





**Hình D.3 – Thành phần thứ tự nghịch được ghi lại ở lò hồ quang 22 kV được cấp điện với dòng điện danh định bằng 944 A**

## Phụ lục E

(tham khảo)

### Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] Pelly B.R.: Thyristor Phase-Controlled Convertors and Cycloconvertors, New York, Wiley, 1971 (Bộ chuyển đổi thyristo có điều khiển pha và bộ chuyển đổi vòng tròn)
- [2] Pesonen A.J.: "Harmonics, characteristic parameter, methods of study, estimate of existing values in the network", ELECTRA 77, 1981, pp. 35-54. (Hài, tham số đặc tính, phương pháp nghiên cứu, đánh giá các giá trị có trong mạng lưới)
- [3] Shultz W.: "Saturation phenomena when energizing transformers and their effects on the feeding system", Siemens Forsh.-u. Entwickl. Berichte. June 1976. No 4, pp. 183-186. (Hiện tượng bão hoà khi đóng điện máy biến áp và các ảnh hưởng của chúng lên hệ thống cấp điện)
- [4] Crucq J.M., Robert A : "Statistical approach for harmonic measurements and calculations., CIREN 1989. (Phương pháp thống kê đối với phép đo hài và tính toán)
- [5] Engineering Recommendation G 5/3, Limits for harmonics in the United Kingdom electricity supply system, The Electricity Council. (Giới hạn đối với các hài trong hệ thống cung cấp điện ở Anh)
- [6] Robert A., Marquet J : "Connection of disturbing loads, an international study", CIGRE 36.05 - CIREN 1991. (Nối tải gây nhiễu, một nghiên cứu quốc tế)
- [7] Groetzbach M., Frankenberg W: "Injected current of controlled AC/DC convertors for harmonic analysis in industrial power plants, IEEE Transactions on Power Delivery, April 1993, Vol.6 No. 2, pp. 511-517. (Dòng điện đưa vào của bộ chuyển đổi xoay chiều/một chiều có điều khiển dùng cho phân tích hài trong khu công nghiệp)
- [8] Groetzbach M., Frankenberg W., Thiem B : "Assessment of line current harmonics emitted by high power a.c/d.c. convertors with inductive smoothing", CIREN 1993, Birmingham, Report, 5.21. (Đánh giá các hài dòng điện đường dây được phát ra từ các bộ chuyển đổi xoay chiều/một chiều công suất cao có san bằng điện cảm)
- [9] Ray W.F., Davis R.M., Weatherhogg I.D : "The Three-Phase Bridge Rectifier with a Capacitive Load", IEE Conf. 1988 Publ., No. 291, pp. 153-156.
- [10] Groetzbach M., Draxler B : "Line Side Behaviour of Uncontrolled Rectifier Bridges with Capacitive DC Smoothing", 3rd EPE-Conf., Aachen (1989), Proc. Vol. II, pp. 761-764. (Đáp ứng biên của cầu chỉnh lưu không điều khiển có tụ điện san bằng một chiều)

- [11] Grets R., Günselmann W : "Harmonics in low- and medium-voltage systems. Analysis of disturbing sources and measures for a limitation of the emission", CIREN 1991, Liege, Report 2.01. (Các hài trong hệ thống hạ áp và trung áp. Phân tích nguồn nhiễu và phép đo nhiễu đối với giới hạn phát xạ)
- [12] Malik NoW., Haque S.E : "Harmonic analysis of three phase a.c. voltage controllers", CH2272-3/86/0000-1078 1986, IEEE. (Phân tích hài của bộ điều khiển điện áp xoay chiều ba pha)
- [13] Wargowsky E : "Harmonic currents in controlled three-phase rectifier installations", CIREN 1981.
- [14] Sundberg Y : "The arc furnace as a load on the network", ASEA Journal No.2 1968. (Dòng điện hài trong hệ thống lắp đặt chỉnh lưu ba pha có điều khiển)
- [15] UIE UNION INTERNATIONALE D'ELECTROTHERMIE, "Connection of Fluctuating Loads", July 1988. (Nối tải biến động)
- [16] CIGRE WG 13-02. "Switching overvoltages in EHV and UHV systems with special reference to closing and reclosing overvoltages." -Electra No. 30, (Oct 1973) pp. 70-122. (Quá điện áp đóng cắt trong hệ thống EHV và UHV có tham chiếu đặc biệt đến đóng và đóng lại các quá điện áp)
-