

**TCVN**

**TIÊU CHUẨN QUỐC GIA**

**TCVN 9621-2:2013  
IEC/TS 60479-2:2007**

Xuất bản lần 1

**ẢNH HƯỞNG CỦA DÒNG ĐIỆN LÊN NGƯỜI VÀ GIA SÚC –  
PHẦN 2: KHÍA CẠNH ĐẶC BIỆT**

*Effects of current on human beings and livestock –  
Part 2: Special aspects*

**HÀ NỘI – 2013**

**Mục lục**

|   | <b>Trang</b> |
|---|--------------|
| Lời nói đầu .....   | 4            |
| 1 Phạm vi áp dụng .....   | 5            |
| 2 Tài liệu viện dẫn .....   | 5            |
| 3 Thuật ngữ và định nghĩa .....   | 6            |
| 4 Ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều tần số trên 100 Hz .....                           | 8            |
| 5 Ảnh hưởng của dòng điện có dạng sóng đặc biệt .....                                   | 12           |
| 6 Ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều có điều khiển pha .....                            | 20           |
| 7 Ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều có điều khiển đa chu kỳ .....                      | 22           |
| 8 Ước lượng ngưỡng dòng điện tương đương đối với các tần số hỗn hợp .....               | 25           |
| 9 Ảnh hưởng của các xung (đột biến) lặp lại của dòng điện lên ngưỡng rung tâm thất..... | 25           |
| 10 Ảnh hưởng của dòng điện qua cơ thể người ngập trong nước .....                       | 29           |
| 11 Ảnh hưởng của dòng điện xung đơn một chiều trong khoảng thời gian ngắn .....         | 34           |
| Thư mục tài liệu tham khảo .....  | 42           |

## **Lời nói đầu**

TCVN 9621-2:2013 hoàn toàn tương đương với IEC/TS 60479-2:2007;

TCVN 9621-2:2013 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn Quốc gia TCVN/TC/E1 *Máy điện và khí cụ điện* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ TCVN 9621 (IEC 60479) *Ảnh hưởng của dòng điện lên người và gia súc* gồm các phần sau:

TCVN 9621-1:2013 (IEC/TS 60479-1:2005), Phần 1: Khía cạnh chung

TCVN 9621-2:2013 (IEC/TS 60479-2:2007), Phần 2: Khía cạnh đặc biệt

TCVN 9621-3:2013 (IEC/TR 60479-3:1998), Phần 3: Ảnh hưởng của dòng điện chạy qua cơ thể gia súc

TCVN 9621-4:2013 (IEC/TR 60479-4:2011), Phần 4: Ảnh hưởng của sét

TCVN 9621-5:2013 (IEC/TR 60479-5:2007), Phần 5: Giá trị ngưỡng điện áp tiếp xúc đối với ảnh hưởng sinh lý

## Ảnh hưởng của dòng điện lên người và gia súc – Phần 2: Khía cạnh đặc biệt

*Effects of current on human beings and livestock –  
Part 2: Special aspects*

### 1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này mô tả các ảnh hưởng trên cơ thể người khi có dòng điện xoay chiều hình sin ở dải tần số trên 100 Hz đi qua.

Tiêu chuẩn này đưa ra các ảnh hưởng của dòng điện đi qua cơ thể người đối với

- dòng điện xoay chiều hình sin có các thành phần điện một chiều,
- dòng điện xoay chiều hình sin có điều khiển pha,
- dòng điện xoay chiều hình sin có điều khiển đa chu kỳ,

nhưng chỉ được coi là áp dụng được đối với dòng điện xoay chiều tần số từ 15 Hz đến 100 Hz.

CHÚ THÍCH 1: Các dạng sóng khác đang được xem xét.

Ngoài ra, tiêu chuẩn này còn mô tả các ảnh hưởng của dòng điện đi qua cơ thể người có dạng các xung đơn hình chữ nhật một chiều, xung hình sin và xung do phóng điện của tụ điện .

CHÚ THÍCH 2: Ảnh hưởng của chuỗi xung có trình tự đang được xem xét.

Các giá trị qui định được coi là áp dụng được đối với thời gian tồn tại xung từ 0,1 ms đến và bằng 10 ms. Đối với thời gian tồn tại xung lớn hơn 10 ms, áp dụng các giá trị cho trên Hình 20 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1).

Tiêu chuẩn này chỉ xét đến dòng điện dẫn do đặt trực tiếp nguồn dòng điện lên cơ thể, như thực hiện ở TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1) và TCVN 9621-3 (IEC/TR 60479-3). Tiêu chuẩn này không xét đến dòng điện cảm ứng trong cơ thể gây ra do phơi nhiễm trong trường điện từ bên ngoài.

### 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).



## **TCVN 9621-2:2013**

TCVN 9621-1:2013 (IEC/TS 60479-1:2005), Ảnh hưởng của dòng điện lên người và gia súc – Phần 1: Khía cạnh chung

TCVN 9621-3 (IEC/TR 60479-3), Ảnh hưởng của dòng điện lên người và gia súc – Phần 3: Ảnh hưởng của dòng điện đi qua cơ thể gia súc

IEC 60990, Methods of measurement of touch current and protective conductor current (Phương pháp đo dòng điện tiếp xúc và dòng điện qua dây dẫn bảo vệ)

### **3 Thuật ngữ và định nghĩa**

Trong tiêu chuẩn này, ngoài các định nghĩa được cho trong TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1), áp dụng các định nghĩa dưới đây.

**CHÚ THÍCH:** Một số định nghĩa được lấy từ Từ vựng kỹ thuật điện quốc tế (IEV). Các tham khảo này được liệt kê trong thư mục tài liệu tham khảo [27], [28]<sup>1)</sup>.

#### **3.1**

**Hệ số tần số** (frequency factor)

$F_f$

Tỷ số giữa ngưỡng dòng điện đối với các ảnh hưởng sinh lý liên quan ở tần số  $f$  và ngưỡng dòng điện ở tần số 50/60 Hz.

**CHÚ THÍCH:** Hệ số tần số là khác nhau đối với các ngưỡng cảm nhận, thả tay và rung tâm thất.

#### **3.2**

**Điều khiển pha** (phase control)

Quá trình thay đổi thời điểm trong chu kỳ tại đó bắt đầu việc dẫn dòng điện trong van điện tử hoặc nhánh của van .

(IEV 551-16-23)

#### **3.3**

**Góc điều khiển pha (góc trễ của dòng điện)** (phase control angle (current delay angle))

Thời gian tính bằng đơn vị góc mà thời điểm bắt đầu dẫn dòng bị chậm lại đúng bằng thời gian đó do điều khiển pha.

(IEV 551-16-32)

#### **3.4**

**Điều khiển đa chu kỳ** (multicycle control)

Quá trình thay đổi tỷ số giữa số chu kỳ dẫn điện và số chu kỳ không dẫn điện.

(IEC 551-16-31)

---

<sup>1)</sup> Các con số trong ngoặc vuông tham chiếu đến Thư mục tài liệu tham khảo.

**3.5****Hệ số điều khiển đa chu kỳ (multicycle control factor)** **$p$** 

Tỷ số giữa số chu kỳ dẫn điện và tổng số các chu kỳ dẫn điện và không dẫn điện trong trường hợp điều khiển đa chu kỳ.

(IEV 551-16-37) (và xem Hình 12 trong tiêu chuẩn này)

**3.6****Năng lượng riêng đối với rung tâm thất (specific fibrillating energy)** **$F_e$  (Ws/ $\Omega$  hoặc  $A^2s$ )**

Giá trị  $I^2 \cdot t$  nhỏ nhất của một xung một chiều thời gian ngắn mà trong các điều kiện cho trước (tuyến dòng điện, pha của tim) gây ra rung tâm thất với xác suất nhất định.

CHÚ THÍCH:  $F_e$  được xác định bởi dạng xung theo tích phân

$$\int_0^{t_1} i^2 dt$$

trong đó  $t_1$  được xác định trên Hình 17 và Hình 18. Nhân  $F_e$  với điện trở cơ thể sẽ có được năng lượng tiêu tán trong cơ thể người trong thời gian xung.

**3.7****Điện tích riêng đối với rung tâm thất (specific fibrillating charge)** **$F_q$  (C hoặc As)**

Giá trị  $I \cdot t$  nhỏ nhất của xung một chiều thời gian ngắn mà trong các điều kiện cho trước (tuyến dòng điện, pha của tim) gây ra rung tâm thất với xác suất nhất định

CHÚ THÍCH:  $F_q$  được xác định bởi dạng xung theo tích phân

$$\int_0^{t_1} i dt$$

trong đó  $t_1$  được xác định trên Hình 17 và Hình 18.

**3.8****Hằng số thời gian (time constant)**

Thời gian cần thiết để độ lớn của một đại lượng suy giảm theo hàm mũ giảm xuống bằng

$$\frac{1}{e} = 0,3679$$

lần độ lớn ban đầu.

(IEV 801-21-45, có sửa đổi)

3.9

**Thời gian điện giật do tụ điện phóng điện** (shock duration of a capacitor discharge)

$t_i$

Khoảng thời gian từ khi bắt đầu phóng điện đến thời điểm khi dòng điện phóng giảm xuống còn 5 % giá trị đỉnh của nó (xem Hình 17 và Hình 18).

CHÚ THÍCH: Gọi T là hằng số thời gian của phóng điện tụ điện, thì thời gian điện giật do tụ điện phóng điện bằng 3T. Trong thời gian điện giật, trên thực tế toàn bộ năng lượng của xung đều tiêu tán hết.

3.10

**Thời gian điện giật đối với dạng sóng tiệm cận phức hợp** (shock duration for complex asymptotic waveform)

$t_i$

Khoảng thời gian ngắn nhất của phần xung chứa 95 % năng lượng của toàn bộ xung.

3.11

**Ngưỡng cảm nhận** (threshold of perception)

Giá trị nhỏ nhất đối với điện tích mà trong các điều kiện cho trước, gây ra bất kỳ cảm giác nào lên người mà dòng điện đang đi qua.

3.12

**Ngưỡng đau** (threshold of pain)

Giá trị tối thiểu đối với điện tích ( $I \cdot t$ ) hoặc năng lượng riêng ( $I^2 \cdot t$ ) có thể đặt ở dạng một xung lên người đang cầm một điện cực lớn trong tay mà chưa gây đau.

3.13

**Đau** (pain)

Trải nghiệm khó chịu mà một khi đã qua sẽ không sẵn lòng chấp nhận lần thứ hai.

CHÚ THÍCH: Ví dụ về giật điện trên ngưỡng đau được mô tả ở 11.3, như ong đốt hoặc bỏng thuốc lá.

**4 Ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều tần số trên 100 Hz**

CHÚ THÍCH: Các giá trị dùng cho tần số ở 50/60 Hz được cho trong TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1).

**4.1 Qui định chung**

Điện năng ở dạng dòng điện xoay chiều tần số cao hơn 50/60 Hz được sử dụng ngày một nhiều hơn trong các thiết bị điện hiện đại, ví dụ như máy bay (400 Hz), dụng cụ điện và hàn điện (hầu hết có tần số lên đến 450 Hz), liệu pháp điện (sử dụng chủ yếu ở 4 000 Hz đến 5 000 Hz) và các nguồn cấp điện chế độ đóng cắt (từ 20 kHz đến 1 MHz).

Về điều này, dữ liệu thực nghiệm hiện còn ít do vậy thông tin đưa ra ở đây chỉ nên coi là tạm thời nhưng có thể được sử dụng để đánh giá các rủi ro trong dải tần số liên quan (xem thư mục tài liệu tham khảo). Cũng cần chú ý tới thực tế là trở kháng của da người giảm gần như tỉ lệ nghịch với tần số đối với các điện áp tiếp xúc cỡ vài chục vôn, do vậy trở kháng da ở tần số 500 Hz chỉ bằng khoảng một phần mười trở kháng da ở 50 Hz và có thể bỏ qua trong nhiều trường hợp. Do đó, trở kháng này của cơ thể người ở các tần số này giảm xuống còn bằng trở kháng trong của cơ thể  $Z_i$  (xem TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1)).

**CHÚ THÍCH: Việc sử dụng các phép đo đỉnh.** Tại mức dòng điện tạo ra các phản ứng sinh lý về cảm nhận, phản ứng giật mình và mất khả năng thả tay thì phản ứng sinh lý do dòng điện tuần hoàn không phải hình sin và dòng điện tuần hoàn tần số hỗn hợp được chỉ định tốt nhất bằng giá trị đỉnh của tín hiệu ra từ các mạch đo có chứa mạng lấy trọng số-tần số như được mô tả trong IEC 60990.

Mạng lấy trọng số-tần số này giảm nhẹ tín hiệu theo hệ số tần số của Điều 4 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1) để tín hiệu đầu ra tương ứng với một mức phản ứng sinh lý không đổi. Mức giảm nhẹ được cho đối với các xung dòng hẹp tạo ra ít phản ứng sinh lý do thời gian tồn tại ngắn của giá trị đỉnh. Đầu ra của mạng cho phép đọc một giá trị cố định độc lập với dạng sóng hoặc các tần số hỗn hợp cần để dễ dàng xác định dòng điện rò và đánh giá mức nguy hiểm hiện tại.

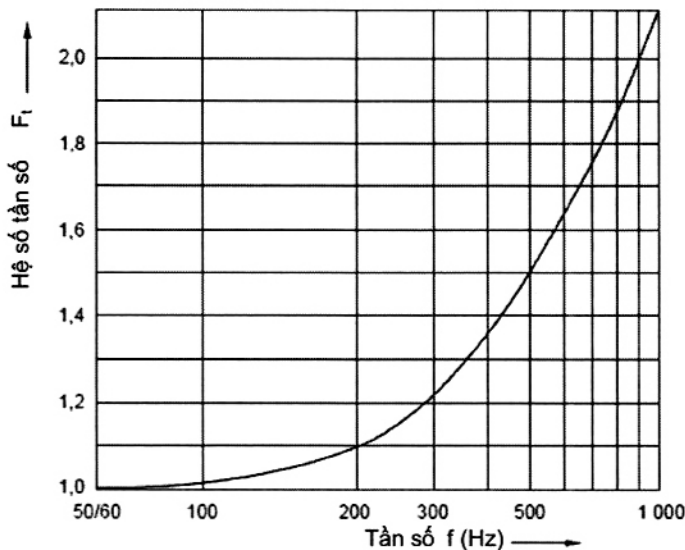
Các ảnh hưởng sinh lý tương đồng được sinh ra bởi dòng điện không hình sin và dòng điện hình sin tạo ra cùng giá trị đỉnh bằng phương pháp đo này.

Có thể tìm thấy mạng điện hình trong IEC 60990 và trong thư mục tài liệu tham khảo số tham chiếu [16].

## 4.2 Ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều trong dải tần số trên 100 Hz đến và bằng 1 000 Hz

### 4.2.1 Ngưỡng cảm nhận

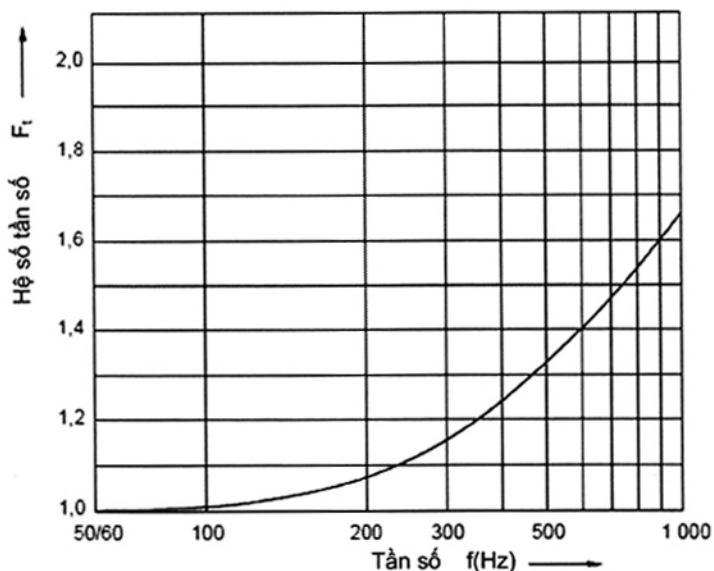
Đối với ngưỡng cảm nhận, hệ số tần số được cho trên Hình 1.



Hình 1 – Sự thay đổi của ngưỡng cảm nhận trong dải tần số từ 50/60 Hz đến 1 000 Hz

#### 4.2.2 Ngưỡng thà tay

Đối với ngưỡng thà tay, hệ số tần số được cho trên Hình 2.

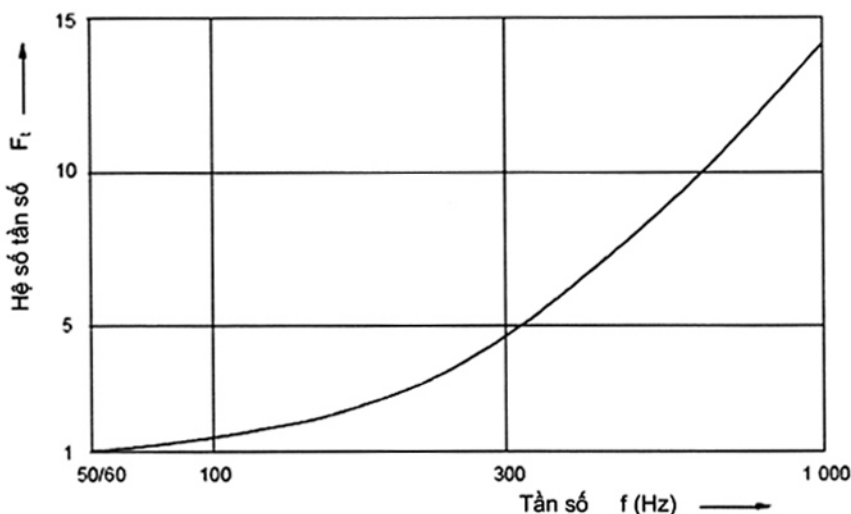


Hình 2 – Sự thay đổi của ngưỡng thà tay trong dải tần số từ 50/60 Hz đến 1 000 Hz

#### 4.2.3 Ngưỡng rung tâm thất

Đối với thời gian điện giật dài hơn chu kỳ tim, hệ số tần số đối với ngưỡng rung dùng cho các tuyến dòng điện đi dọc qua thân người được cho trên Hình 3.

Đối với thời gian điện giật ngắn hơn chu kỳ tim, không có sẵn các dữ liệu thực nghiệm.

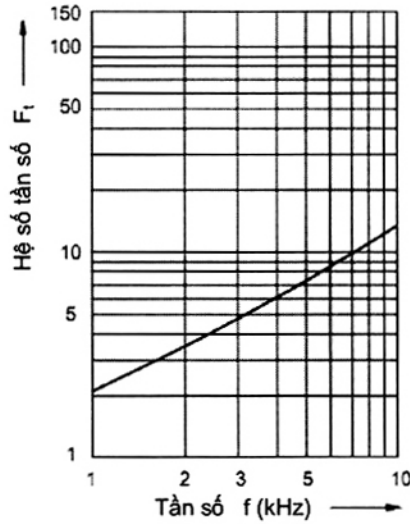


Hình 3 – Sự thay đổi của ngưỡng rung tâm thất trong dải tần số từ 50/60 Hz đến 1 000 Hz, thời gian điện giật dài hơn một chu kỳ tim và tuyến dòng điện dọc theo thân người

### 4.3 Ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều trong dải tần số lớn hơn 1 000 Hz đến và bằng 10 000 Hz

#### 4.3.1 Ngưỡng cảm nhận

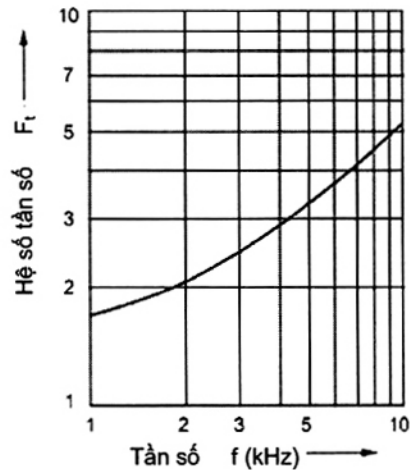
Đối với ngưỡng cảm nhận, hệ số tần số được cho trên Hình 4.



Hình 4 – Sự thay đổi của ngưỡng cảm nhận trong dải tần số từ 1 000 Hz đến 10 000 Hz

#### 4.3.2 Ngưỡng thả tay

Đối với ngưỡng thả tay, hệ số tần số được cho trên Hình 5.



Hình 5 – Sự thay đổi của ngưỡng thả tay trong dải tần số từ 1 000 Hz đến 10 000 Hz

#### 4.3.3 Ngưỡng rung tâm thất

Đang được xem xét.

#### **4.4 Ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều trong dải tần số trên 10 000 Hz**

##### **4.4.1 Ngưỡng cảm nhận**

Đối với các tần số nằm trong khoảng từ 10 kHz đến 100 kHz, ngưỡng tăng xấp xỉ từ 10 mA đến 100 mA (giá trị hiệu dụng).

Đối với các tần số trên 100 kHz, cảm giác tê tê đặc trưng cho cảm nhận, ở tần số thấp hơn chuyển thành cảm giác nóng đối với các cường độ dòng điện cỡ vài trăm miliampe.

##### **4.4.2 Ngưỡng thả tay**

Đối với các tần số cao hơn 100 kHz, hiện chưa có dữ liệu thực nghiệm và cũng chưa có các sự cố được báo cáo liên quan đến ngưỡng thả tay.

##### **4.4.3 Ngưỡng rung tâm thất**

Đối với các tần số trên 100 kHz, hiện chưa có dữ liệu thực nghiệm và cũng chưa có các sự cố được báo cáo liên quan đến ngưỡng rung tâm thất.

##### **4.4.4 Ảnh hưởng khác**

Có thể xảy ra bỏng ở các tần số trên 100 kHz và dòng điện có độ lớn ở cỡ vài ampe tùy thuộc vào thời gian của dòng điện.

### **5 Ảnh hưởng của dòng điện có dạng sóng đặc biệt**

#### **5.1 Qui định chung**

Như có thể dự kiến, ảnh hưởng của các dòng điện này lên cơ thể người nằm trung gian giữa các ảnh hưởng gây ra bởi dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều; do đó có thể thiết lập độ lớn dòng điện tương đương có liên quan đến hiện tượng rung tâm thất.

Điều này mô tả các ảnh hưởng của dòng điện đi qua cơ thể người đối với

- dòng điện xoay chiều hình sin có các thành phần một chiều,
- dòng điện xoay chiều hình sin có điều khiển pha,
- dòng điện xoay chiều hình sin có điều khiển đa chu kỳ.

CHÚ THÍCH: Các dạng sóng khác đang được xem xét.

Thông tin đưa ra được coi là áp dụng được đối với dòng điện xoay chiều có tần số từ 15 Hz đến 100 Hz.

#### **5.2 Độ lớn, tần số và ngưỡng tương đương**

Trong điều này, nguy hiểm có thể được coi như xấp xỉ bằng ảnh hưởng tương tự với dòng điện xoay chiều hình sin thuần túy tương đương  $I_{ev}$  có các đặc điểm sau:

– Tính tương đương về độ lớn

Cần phân biệt độ lớn của các dòng điện dưới đây:

$I_{rms}$  = giá trị hiệu dụng của dòng điện ở dạng sóng đề xuất;

$I_p$  = giá trị đỉnh của dòng điện ở dạng sóng đề xuất;

$I_{pp}$  = giá trị đỉnh-đỉnh của dòng điện ở dạng sóng đề xuất;

$I_{ev}$  = giá trị hiệu dụng của dòng điện hình sin thể hiện cùng một ảnh hưởng như của dạng sóng liên quan.

CHÚ THÍCH: Dòng điện  $I_{ev}$  được sử dụng thay cho dòng điện  $I_B$  trên Hình 20 và Hình 22 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1) để ước lượng rủi ro của rung tâm thất.

Hầu hết các ảnh hưởng sinh lý đều liên quan đến dòng điện đỉnh đã lọc (theo độ lớn và theo thời gian) bằng bộ lọc tự nhiên của cơ thể được xác định bằng hệ số tần số F. Giá trị đỉnh của dòng điện cần được sử dụng ở tất cả các trường hợp ngoại trừ trường hợp có mối liên quan đã biết giữa giá trị hiệu dụng và giá trị đỉnh, nghĩa là đối với dòng điện hình sin thuần túy.

– Tính tương đương của tần số

Dạng sóng được nghiên cứu có chu kỳ thời gian bằng với chu kỳ của dạng sóng hình sin tương đương.

– Tính tương đương về ngưỡng

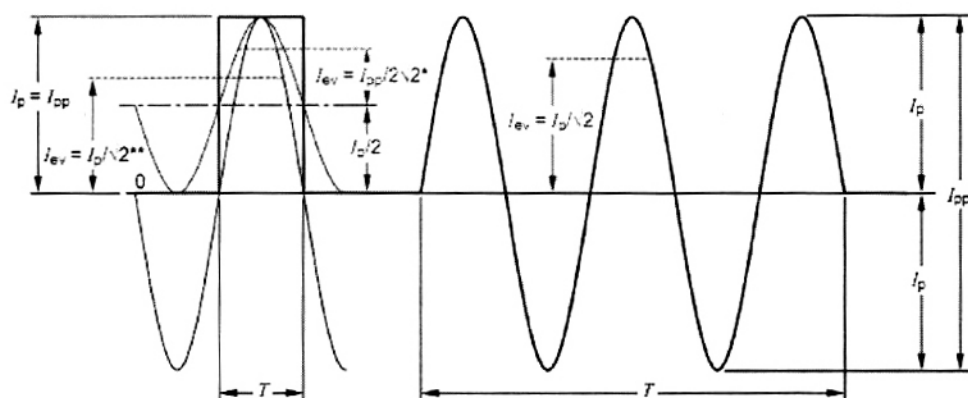
Các ngưỡng dòng điện khác nhau (cảm nhận, mất khả năng thả tay và rung tâm thất) đối với các dạng sóng gồm có tỷ số cụ thể giữa dòng điện xoay chiều và dòng một chiều là tương đương như đối với dòng điện xoay chiều hình sin thuần túy với dòng điện có đặc trưng bằng với  $I_{ev}$ . Giá trị  $I_{ev}$  là khác nhau đối với từng ngưỡng này.

### 5.3 Ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều có các thành phần một chiều

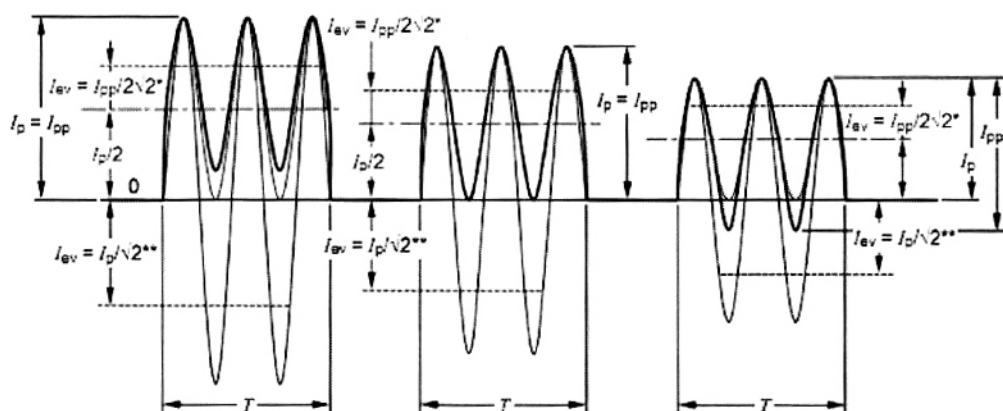
#### 5.3.1 Dạng sóng, tần số và ngưỡng dòng điện

Hình 6 thể hiện các dạng sóng điển hình được đề cập đến trong điều này. Hình này thể hiện dòng điện một chiều thuần túy và dòng điện xoay chiều thuần túy cũng như các dạng sóng kết hợp có các tỷ số khác nhau giữa dòng điện một chiều và dòng điện xoay chiều.





- \* đối với thời gian điện giật >1,5 chu kỳ tim
- \*\* đối với thời gian điện giật <0,75 chu kỳ tim



- \* đối với thời gian điện giật >1,5 chu kỳ tim
- \*\* đối với thời gian điện giật <0,75 chu kỳ tim

Hình 6 – Dạng sóng của dòng điện

### 5.3.2 Ngưỡng phản ứng giật mình

Ngưỡng của phản ứng giật mình phụ thuộc vào một số tham số ví dụ như vùng cơ thể tiếp xúc với điện cực (vùng tiếp xúc), điều kiện tiếp xúc (khô, ướt, áp suất, nhiệt độ) và còn phụ thuộc vào các đặc điểm sinh lý của cá thể.

Các ảnh hưởng này có liên quan đến giá trị đỉnh của dòng điện [13] và các dòng điện phải được kết hợp từng tần số một để ước tính ảnh hưởng chung. Mạch đo được mô tả theo IEC 60990.

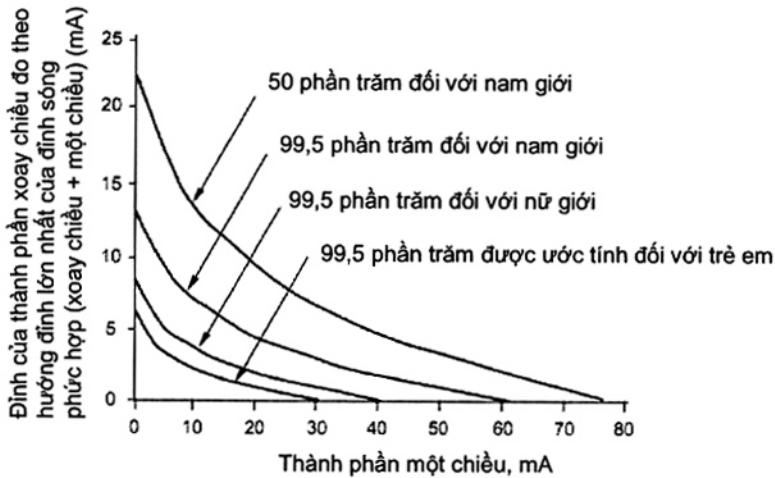
### 5.3.3 Ngưỡng thả tay

Ngưỡng thả tay phụ thuộc vào một số thông số, ví dụ như vùng tiếp xúc, hình dạng và kích thước của các điện cực và cũng phụ thuộc vào các đặc điểm sinh lý của cá thể.

Dựa theo ý kiến về hiện tượng thả tay (tay tiếp xúc với hệ mạch mang điện có thể kéo dài trong vài giây), tiêu chuẩn này sử dụng Hình 5 [17] để xác định ngưỡng thả tay của dòng điện đối với kết hợp giữa dòng điện xoay chiều và dòng điện một chiều. Tần số của dòng điện xoay chiều trong trường hợp này là 60 Hz dòng điện xoay chiều có giá trị đỉnh 7,07 mA (giá trị hiệu dụng 5 mA đối với dòng điện hình sin) và dòng điện một chiều 30 mA được sử dụng là các ngưỡng dòng điện tiếp xúc tương ứng đối với dòng điện xoay chiều và dòng điện một chiều thuần túy. Các ngưỡng này được coi là thích hợp để thể hiện việc mất khả năng thả tay của toàn bộ tập hợp (trong đó có trẻ em) .

Công thức,  $I_{\text{acpk}} = 7,176 \cdot \exp(-0,1434 \cdot DC) - 0,1061$ , thể hiện trường hợp kết hợp dòng điện xoay chiều và dòng điện một chiều này và có thể được sử dụng để tính kết quả của mọi kết hợp dòng điện xoay chiều và dòng điện một chiều bất kỳ nào trong dải tần số qui định.

Hình 7 dưới đây minh họa thông tin của Dalziel [17].



Hình 7 – Ngưỡng thả tay đối với nam giới, nữ giới và trẻ em

Các đường cong ở trên có thể mô tả bằng công thức được gia công để khớp với dữ liệu.

Công thức,  $I_{\text{acpk}} = 12,8905 \cdot \exp(-0,06939 \cdot DC) - 0,1905$ , thể hiện đường cong của tập hợp 99,5 % đối với nam giới.

Công thức,  $I_{\text{acpk}} = 8,523 \cdot \exp(-0,1049 \cdot DC) - 0,1260$ , thể hiện đường cong của tập hợp 99,5 % đối với nữ giới.

Công thức,  $I_{\text{acpk}} = 6,3945 \cdot \exp(-0,1388 \cdot DC) - 0,0945$ , thể hiện đường cong của tập hợp ước lượng 99,5 % đối với trẻ em.

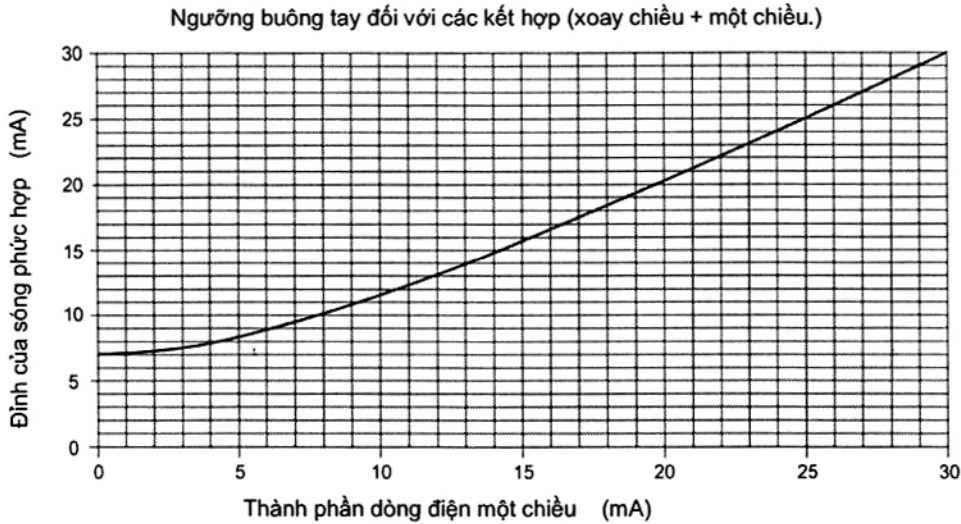
Đối với các lưu ý thực tế, một số tiêu chuẩn cho phép, như một ngoại lệ, nguồn điện một chiều có chút ít gợn sóng (ví dụ đến 10 %).

Hình 8 thể hiện ngưỡng thả tay được tính bằng mA giá trị đỉnh đối với các kết hợp của dòng điện xoay chiều hình sin 50/60 Hz và dòng điện một chiều. Đỉnh của sóng phức hợp xoay chiều + một chiều tính

bằng mA ở ngưỡng thả tay được ước tính cho một tập hợp người bao gồm cả trẻ em, được biểu diễn như một hàm số của thành phần điện một chiều tính bằng mA.

Hình 8 được biểu diễn bằng công thức sau đối với dòng điện phức hợp một chiều:

$$I_{acpk} + I_{dc} = 7,176 \cdot \exp(-0,1434 \cdot DC) - 0,1061 + DC$$



**Hình 8 – Ngưỡng thả tay trong tập hợp 99,5 % đối với sự kết hợp của dòng điện xoay chiều hình sin 50/60 Hz và dòng điện một chiều**

Các ảnh hưởng này có liên quan đến giá trị đỉnh của dòng điện [6] và các dòng điện phải được kết hợp từng tần số một để ước tính ảnh hưởng chung. Mạch đo được mô tả trong IEC 60990.

### 5.3.4 Ngưỡng rung tâm thất

#### 5.3.4.1 Dạng sóng có các tỉ lệ dòng xoay chiều trên dòng một chiều

Nguy cơ rung tâm thất có thể được tính đến coi như xấp xỉ bằng với dòng điện xoay chiều hình sin tương đương  $I_{ev}$  có các đặc tính sau:

- a) Với thời gian điện giật dài hơn khoảng 1,5 lần thời gian của chu kỳ tim,  $I_{ev}$  là giá trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều hình sin có cùng giá trị đỉnh-đỉnh  $I_{pp}$  với dòng điện có dạng sóng liên quan:

$$I_{ev} = \frac{I_{pp}}{2\sqrt{2}}$$

- b) Với thời gian điện giật ngắn hơn khoảng 0,5 lần thời gian chu kỳ tim,  $I_{ev}$  là giá trị danh định của dòng điện xoay chiều hình sin có cùng giá trị đỉnh  $I_p$  với dòng điện có dạng sóng liên quan:

$$I_{ev} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

CHÚ THÍCH 1: Hệ thức này càng ít có khả năng áp dụng khi tỷ số của dòng điện xoay chiều trên dòng điện một chiều càng nhỏ. Đối với khoảng thời gian điện giật dòng điện một chiều thuần túy ngắn hơn 0,1 s, ngưỡng bằng giá trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều tương ứng (xem Hình 20 và Hình 22 một cách tương ứng, trong TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1)).

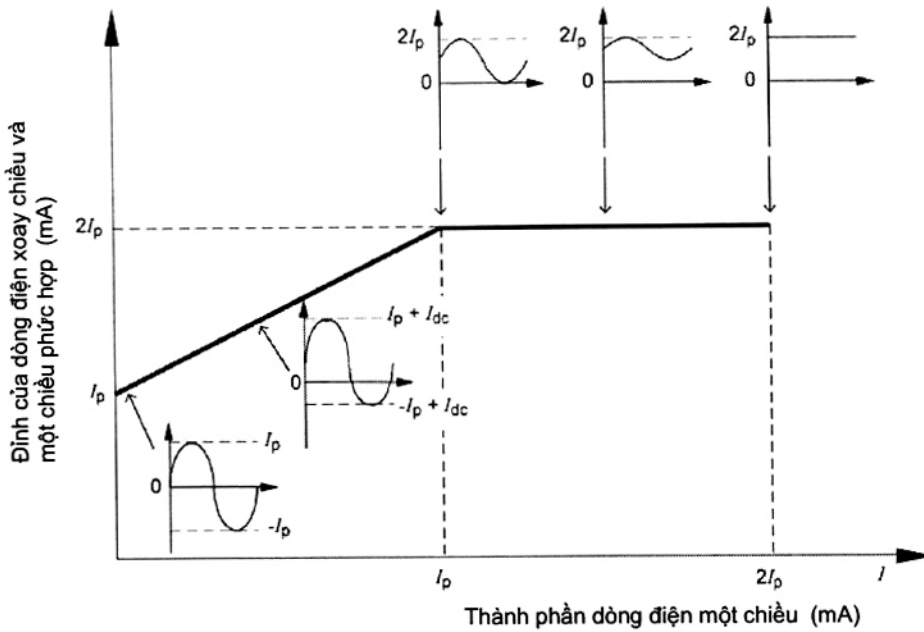
- c) Trong khoảng thời gian điện giật từ 0,75 đến 1,5 lần thời gian của chu kỳ tim, tham số biên độ thay đổi từ giá trị đỉnh sang giá trị đỉnh-đỉnh.

CHÚ THÍCH 2: Chi tiết về bản chất quá trình chuyển tiếp xảy ra cần được nghiên cứu thêm.

Theo phát hiện của Knickerbocker [5], khả năng xảy ra hiện tượng rung tâm thất đối với kết hợp giữa dòng điện xoay chiều hình sin 50/60 Hz và dòng điện một chiều kéo dài vài giây hoặc lâu hơn, giống với dòng điện hình sin thuần túy có cùng khoảng thời gian điện giật với điều kiện dòng điện xoay chiều hình sin 50/60 Hz có cùng giá trị đỉnh-đỉnh với giá trị đỉnh-đỉnh của dạng sóng dòng điện kết hợp. Điều này có thể xảy ra với điều kiện thành phần dòng điện một chiều không đủ lớn để không có sự đảo chiều dòng điện tức thời (để dòng điện không đi qua không) trong mỗi chu kỳ. Ví dụ, sự phối hợp của dòng điện hình sin 50/60 Hz giá trị hiệu dụng 40 mA với dòng một chiều lên tới  $40 \times \sqrt{2}$  mA có khả năng gây ra rung tâm thất giống như riêng với dòng điện hình sin 50/60 Hz có giá trị hiệu dụng 40 mA.

Trong trường hợp chịu tác động trong thời gian vài giây trở lên và thành phần dòng điện một chiều đủ lớn để dòng điện tức thời không đảo chiều trong từng chu kỳ, thì khi đó kết hợp giữa dòng điện xoay chiều cộng dòng điện một chiều có nhiều khả năng gây ra rung tâm thất khi giá trị đỉnh của dòng điện phức hợp có cùng giá trị với giá trị đỉnh-đỉnh của dòng điện xoay chiều hình sin ở 50/60 Hz thuần túy. Ví dụ, sự phối hợp của dòng điện hình sin 50/60 Hz và dòng điện một chiều có giá trị đỉnh là  $80 \times \sqrt{2}$  mA ( $2 \times I_p$ ) (không có sự đảo chiều của dòng tức thời trong từng chu kỳ) có cùng khả năng gây ra rung tâm thất như dòng điện hình sin có giá trị hiệu dụng 40 mA 50/60 Hz không bổ sung dòng điện một chiều.

Hình 9 minh họa ví dụ trong đó khả năng gây ra rung tâm thất đối với dòng điện xoay chiều hình sin (bao gồm các tần số 20 Hz, 50 Hz và 60 Hz) được kết hợp với dòng điện một chiều là như nhau.



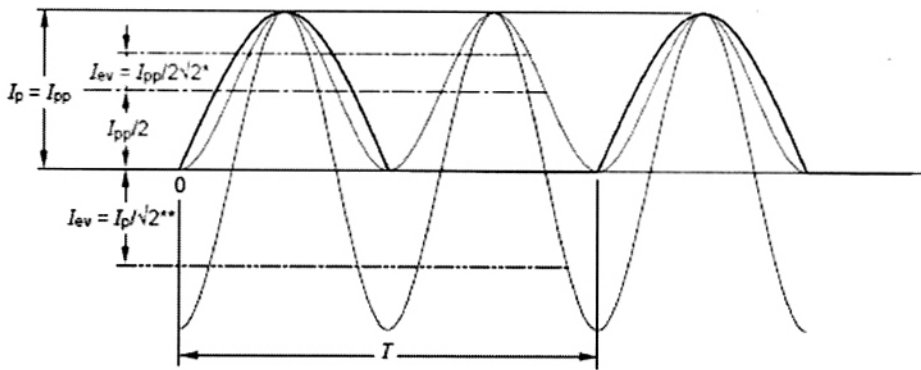
$I_p$  giá trị đỉnh của dòng điện xoay chiều thuần túy

CHÚ THÍCH: Giá trị đỉnh-đỉnh  $I_{pp}$  giữ nguyên không đổi cho đến giá trị  $I_p$  và sau giá trị đỉnh của dòng điện phức hợp giữ nguyên không đổi ở giá trị bằng hai lần giá trị đỉnh của dòng điện xoay chiều không có thành phần một chiều.

**Hình 9 – Dòng điện phức hợp xoay chiều và một chiều có khả năng như nhau trong việc gây rung tâm thất**

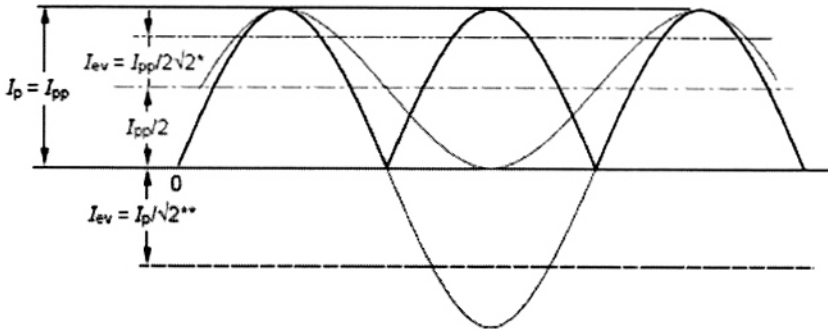
**5.3.4.2 Ví dụ về dòng điện xoay chiều được chỉnh lưu**

Hình 10 biểu diễn các dạng sóng đối với chỉnh lưu nửa sóng và chỉnh lưu toàn sóng. Đối với các dạng sóng này, giá trị đỉnh của dòng điện bằng với giá trị đỉnh-đỉnh của nó.



- \* đối với thời gian điện giật > 1,5 chu kỳ tim
- \*\* đối với thời gian điện giật < 0,75 chu kỳ tim

Hình 10a – Chỉnh lưu nửa sóng



- \* đối với thời gian điện giật > 1,5 chu kỳ tim
- \*\* đối với thời gian điện giật < 0,75 chu kỳ tim

Hình 10b – Chỉnh lưu toàn sóng

Hình 10 – Các dạng sóng của dòng điện xoay chiều được chỉnh lưu

Dòng điện xoay chiều tương đương  $I_{ev}$  được xác định:

a) Đối với thời gian dài hơn 1,5 lần thời gian của chu kỳ tim, bằng công thức:

$$I_{ev} = \frac{I_{pp}}{2\sqrt{2}} = \frac{I_p}{2\sqrt{2}}$$

Do đó đối với chỉnh lưu nửa sóng,  $I_{ev}$  có quan hệ với giá trị hiệu dụng của dòng được chỉnh lưu  $I_{rms}$  bằng công thức:

$$I_{ev} = \frac{I_{rms}}{\sqrt{2}}$$

## TCVN 9621-2:2013

và đối với chỉnh lưu toàn sóng bằng công thức:

$$I_{ev} = \frac{I_{rms}}{2}$$

b) Đối với khoảng thời gian ngắn hơn 0,75 lần khoảng thời gian của chu kỳ tìm bằng công thức:

$$I_{ev} = \frac{I_{pp}}{\sqrt{2}} = \frac{I_p}{\sqrt{2}}$$

Do đó đối với chỉnh lưu nửa sóng,  $I_{ev}$  có quan hệ với giá trị hiệu dụng của dòng điện được chỉnh lưu  $I_{rms}$

$$I_{ev} = \sqrt{2} I_{rms}$$

và đối với chỉnh lưu toàn sóng bằng công thức:

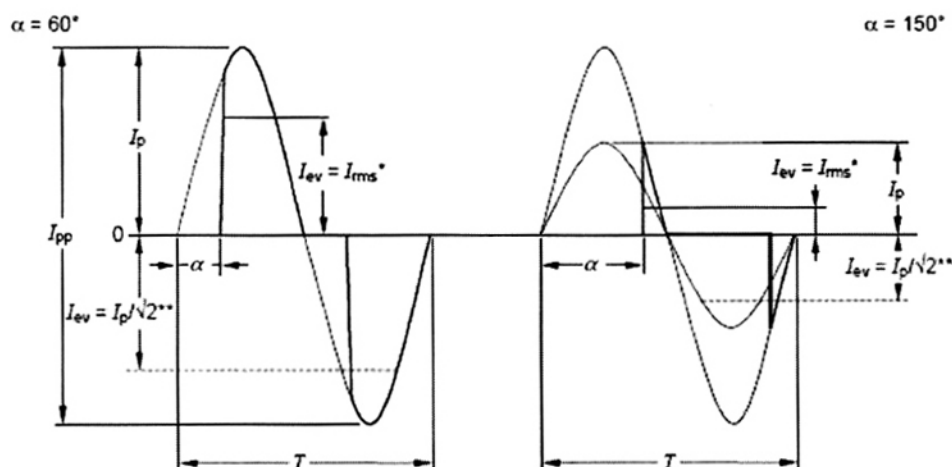
$$I_{ev} = I_{rms}$$

Trong trường hợp thả tay cũng như rung tâm thất, thì dòng điện qua cơ thể người dự kiến đi qua các chi và thân trong vài giây. Ví dụ, tín hiệu chuông từng hồi trên mạch điện thoại có thể kéo dài điển hình trong khoảng 2 s rồi tạm dừng (giữa các lần đổ chuông). Nếu một người tiếp xúc với một bộ phận mang điện bởi đợt tín hiệu đổ chuông thì cơ thể người có thể dẫn dòng điện từ tín hiệu trong vài giây. Trong trường hợp tín hiệu báo chuông từng hồi, một người có thể không có khả năng thả tay ra trong suốt thời gian tín hiệu đang “bật”. Nếu xảy ra hiện tượng này thì tín hiệu sẽ không có khả năng gây ra rung tâm thất. Coi rằng khi tín hiệu tạm dừng giữa các đợt đổ chuông người đó có thể thả tay ra khỏi bộ phận dẫn điện và thoát ra khỏi mạch.

## 6 Ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều có điều khiển pha

### 6.1 Dạng sóng và tần số và ngưỡng của dòng điện

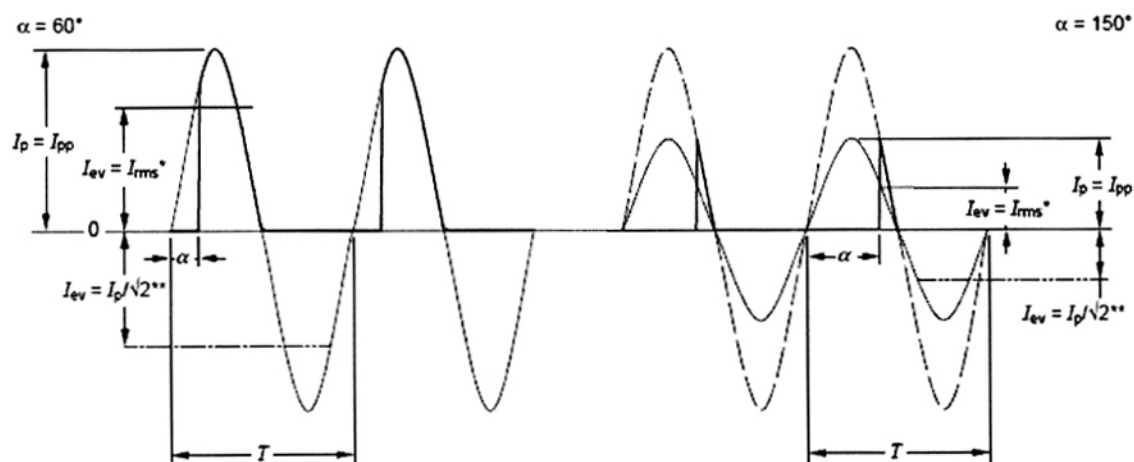
Hình 11 biểu diễn các dạng sóng đối với điều khiển đối xứng và điều khiển không đối xứng.



\* đối với thời gian điện giật >1,5 chu kỳ tim

\*\* đối với thời gian điện giật <0,75 chu kỳ tim

Hình 11a – Điều khiển đối xứng



\* đối với thời gian điện giật >1,5 chu kỳ tim

\*\* đối với thời gian điện giật <0,75 chu kỳ tim

Hình 11b – Điều khiển không đối xứng

Hình 11 – Các dạng sóng của dòng điện xoay chiều có điều khiển pha

## 6.2 Ngưỡng phản ứng giật mình và ngưỡng thả tay

Như mô tả ở 5.3.2 và 5.3.3, các ngưỡng này phụ thuộc vào nhiều tham số khác nhau.

Ảnh hưởng của dòng điện trong việc gây ra cảm giác hoặc ngăn không cho thả tay là gần như bằng với dòng điện xoay chiều thuần túy có cùng giá trị đỉnh  $I_p$ . Đối với các góc điều khiển pha trên  $120^\circ$ , giá trị đỉnh tăng do hệ quả của giảm thời gian dòng điện.



## TCVN 9621-2:2013

Các ảnh hưởng này có liên quan đến giá trị đỉnh của dòng điện [13] và chúng phải được kết hợp theo từng tần số để ước tính ảnh hưởng chung. Điều này dễ dàng thực hiện được bằng cách sử dụng mạch đo theo IEC 60990.

### 6.3 Ngưỡng rung tâm thất

Các ngưỡng là khác nhau đối với dạng sóng đối xứng và dạng sóng không đối xứng.

#### 6.3.1 Điều khiển đối xứng

Rủi ro rung tâm thất có thể coi như xấp xỉ bằng với dòng điện xoay chiều tương đương  $I_{ev}$  và có đặc tính sau:

- Đối với thời gian điện giật dài hơn khoảng 1,5 lần thời gian của chu kỳ tim,  $I_{ev}$  có cùng giá trị hiệu dụng với dòng điện có dạng sóng tương ứng liên quan;
- Đối với thời gian điện giật ngắn hơn khoảng 0,75 lần thời gian của chu kỳ tim,  $I_{ev}$  là giá trị dòng điện hiệu dụng có cùng giá trị đỉnh với dòng điện có dạng sóng tương ứng liên quan;

CHÚ THÍCH: Đối với các góc điều khiển pha lớn hơn  $120^\circ$ , có thể xảy ra sự tăng ngưỡng rung tâm thất.

- Trong khoảng thời gian từ 0,75 lần đến 1,5 lần thời gian của chu kỳ tim, tham số độ lớn dòng điện chuyển từ giá trị đỉnh sang giá trị hiệu dụng.

#### 6.3.2 Điều khiển không đối xứng

Rủi ro rung tâm thất có thể coi như xấp xỉ bằng với dòng điện xoay chiều tương đương  $I_{ev}$  và có đặc tính sau:

Đối với khoảng thời gian điện giật ngắn hơn khoảng 0,75 lần khoảng thời gian của chu kỳ tim,  $I_{ev}$  là giá trị hiệu dụng của dòng điện có cùng giá trị đỉnh với dòng điện có dạng sóng thích hợp liên quan.

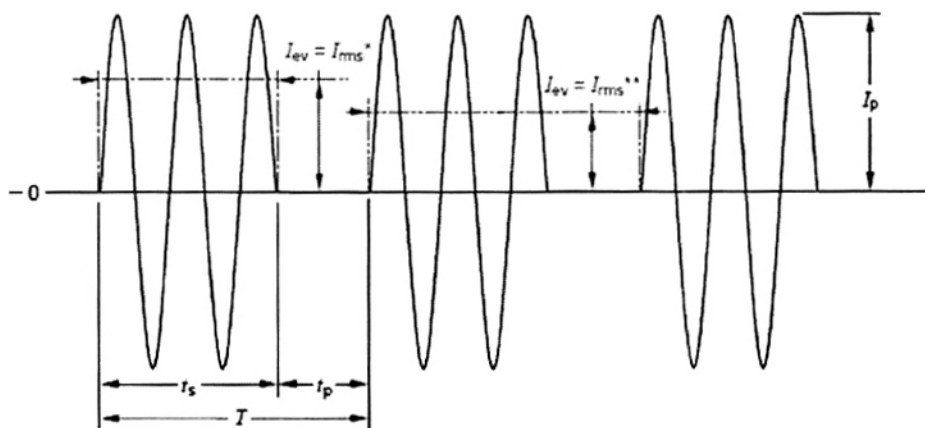
CHÚ THÍCH 1: Đối với góc điều khiển pha lớn hơn  $120^\circ$ , có thể xảy ra sự tăng ngưỡng rung tâm thất.

CHÚ THÍCH 2: Dòng điện gây ra bởi điều khiển không đối xứng (xem IEC 551-16-25) cũng có thể có thành phần một chiều.

## 7 Ảnh hưởng của dòng điện xoay chiều có điều khiển đa chu kỳ

### 7.1 Dạng sóng và tần số

Hình 12 biểu diễn các dạng sóng đối với mức điều khiển công suất  $p = 0,67$ .



\* đối với thời gian điện giật >1,5 chu kỳ tim và  $p \ll 1$  hoặc thời gian điện giật <0,75 chu kỳ tim

\*\* đối với thời gian điện giật <0,75 chu kỳ tim và  $p \approx 1$

$$p = \frac{t_s}{t_s + t_p}$$

$t_s$  = thời gian dẫn điện

$t_s + t_p$  = thời gian làm việc

$t_p$  = thời gian không dẫn điện

$p$  = mức điều khiển công suất

$$I_{1rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = \text{giá trị dòng điện hiệu dụng trong thời gian dẫn điện}$$

CHÚ THÍCH: Không nên nhầm lẫn  $I_{1rms}$  với giá trị hiệu dụng của dòng điện trong thời gian làm việc.  $I_{2rms} = I_{rms} \sqrt{p}$

**Hình 12 – Dạng sóng của dòng điện xoay chiều với điều khiển đa chu kỳ**

## 7.2 Ngưỡng phản ứng giật mình và ngưỡng thả tay

Như mô tả trong 5.3.2, 5.3.3 và 6.2, các ngưỡng này phụ thuộc vào các tham số khác nhau.

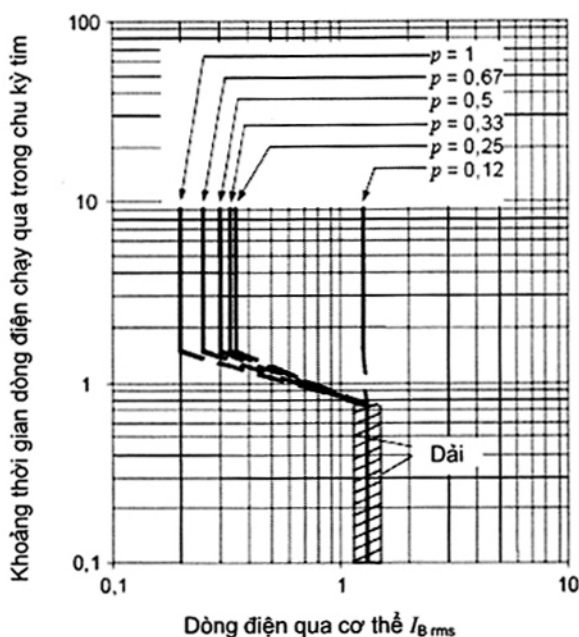
Các ảnh hưởng này có liên quan đến giá trị đỉnh của dòng điện [13] và dòng điện phải được kết hợp theo từng tần số để ước tính được ảnh hưởng chung.

## 7.3 Ngưỡng rung tâm thất

### 7.3.1 Qui định chung

Tùy thuộc vào khoảng thời gian điện giật và mức độ điều khiển công suất, dòng điện xoay chiều có điều khiển đa chu kỳ sẽ nguy hiểm bằng hoặc ít nguy hiểm hơn so với dòng điện xoay chiều có cùng khoảng thời gian điện giật và độ lớn dòng điện.

Hình 13 thể hiện sự thay đổi của ngưỡng rung tâm thất đối với các mức độ điều khiển công suất khác nhau từ các thực nghiệm trên lợn (xem số tham chiếu [17] của Thư mục tài liệu tham khảo)).



CHÚ THÍCH: Dòng điện qua cơ thể  $I_{B rms}$  là giá trị dòng điện hiệu dụng trong khoảng thời gian dẫn điện  $I_{1rms}$ .

**Hình 13 – Ngưỡng rung tâm thất (giá trị trung bình) với dòng điện xoay chiều có điều khiển đa chu kỳ đối với các mức điều khiển khác nhau (kết quả từ thực nghiệm trên lợn con)**

### 7.3.2 Khoảng thời gian điện giật vượt quá 1,5 lần khoảng thời gian của chu kỳ tim

Đối với thời gian điện giật dài hơn xấp xỉ 1,5 lần khoảng thời gian của chu kỳ tim, ngưỡng phụ thuộc vào mức độ điều khiển công suất  $p$ . Đối với  $p$  gần bằng 1, ngưỡng có cùng giá trị hiệu dụng với dòng điện xoay chiều hình sin trong cùng khoảng thời gian điện giật. Đối với  $p$  gần bằng 0,1, giá trị dòng điện hiệu dụng trong thời gian dẫn điện  $I_{1rms}$  bằng với ngưỡng đối với dòng điện xoay chiều trong khoảng thời gian ít hơn 0,75 lần khoảng thời gian của chu kỳ tim.

CHÚ THÍCH: Đối với các giá trị trung gian  $p$ , ngưỡng rung tâm thất tăng từ mức thấp được thể hiện trên Hình 20 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1), lên mức cao được chỉ ra đối với thời gian điện giật dưới 0,1 s.

### 7.3.3 Thời gian điện giật ngắn hơn 0,75 lần khoảng thời gian của chu kỳ tim

Đối với các khoảng thời gian điện giật ngắn hơn xấp xỉ 0,75 lần khoảng thời gian của chu kỳ tim, giá trị hiệu dụng của dòng điện trong thời gian dẫn điện  $I_{1rms}$  bằng với giá trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều hình sin trong cùng khoảng thời gian.

## 8 Ước tính ngưỡng dòng điện tương đương đối với các tần số hỗn hợp

### 8.1 Ngưỡng cảm nhận và ngưỡng thả tay

Các ảnh hưởng này có liên quan đến giá trị đỉnh của dòng điện [13] và các dòng điện phải được kết hợp từng tần số một để ước tính ảnh hưởng chung.

### 8.2 Ngưỡng rung tâm thất

Có thể ước tính một cách áng chừng nguy cơ rung tâm thất gây ra bởi dòng điện có nhiều tần số, là tương đương với nguy cơ có thể gây ra bởi dòng điện xoay chiều thuần túy có các đặc tính như sau:

- tần số cơ bản;
- có biên độ dòng điện  $I_{ev}$  tương đương với căn bậc hai của tổng các bình phương của tất cả các biên độ dòng điện thành phần chịu ảnh hưởng riêng rẽ bởi hệ số tần số thích hợp như cho trên Hình 3:

$$I_{ev} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{I_i}{F_i} \right)^2}$$

Kết quả của việc kết hợp các dạng sóng này chỉ coi là mối quan hệ giữa giá trị đỉnh với giá trị hiệu dụng của dạng sóng phức hợp. Ảnh hưởng sinh lý phụ thuộc vào mối quan hệ góc pha trong số các tần số tham gia cần được biết nhưng không được xét đến trong ước tính này.

## 9 Ảnh hưởng của các xung (đột biến) lặp lại của dòng điện lên ngưỡng rung tâm thất

### 9.1 Ngưỡng rung tâm thất của nhiều đột biến dòng điện cách nhau 1 s hoặc lâu hơn

Rung tâm thất có thể coi là ít có khả năng xảy ra do tác động của một đột biến dòng điện duy nhất không lặp lại chạy qua tim nếu như điểm kết hợp giữa độ lớn và thời gian của dòng điện nằm bên dưới đường cong  $c_1$  thể hiện trên Hình 20 và Hình 22 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1). Hình 20 liên quan đến các đột biến duy nhất không lặp của dòng điện xoay chiều hình sin tần số từ 15 Hz đến 100 Hz, trong khi đó Hình 22 liên quan đến đột biến duy nhất không lặp lại của dòng điện một chiều có các thành phần xoay chiều không đáng kể.

Các đột biến dòng điện cách nhau một khoảng thời gian bằng hoặc lớn hơn khoảng thời gian của một chu kỳ nhịp tim bình thường không có ảnh hưởng tích lũy lên tim và do đó có thể được xem xét riêng rẽ, như thể chúng là các đột biến đơn lẻ không lặp lại của dòng điện. Khi các đột biến dòng điện trong một chuỗi cách xa nhau ít nhất 1 s, sự so sánh độ lớn và thời gian của từng đột biến dòng điện với đường cong  $c_1$  có thể được sử dụng để xác định nguy cơ rung tâm thất. Nhịp tim điển hình của người là 70 lần trong một phút; do đó, thời gian của chu kỳ nhịp tim người ngắn hơn 1 s một chút.

**9.2 Ngưỡng rung tâm thất của nhiều đột biến dòng điện cách nhau ít hơn 1 s**

**9.2.1 Qui định chung**

Các đột biến dòng điện đi qua tim xảy ra cách nhau ngắn hơn khoảng thời gian của nhịp tim bình thường (ngắn hơn khoảng 1 s giữa các đột biến liên tiếp) có thể tạo ra các nhiễu trong tim bởi các ảnh hưởng tích lũy. Các ảnh hưởng tích lũy này có thể dẫn đến rung tâm thất ngay cả khi mỗi đột biến dòng điện trong chuỗi thấp hơn đáng kể ngưỡng rung tâm thất áp dụng cho mỗi đột biến đơn lẻ của dòng điện xuất hiện một mình.

Đột biến đầu tiên của dòng điện trong chuỗi đột biến có thể được đánh giá bằng cách sử dụng Hình 20 hoặc Hình 22 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1), chọn hình nào thích hợp. Ngưỡng đối với rung tâm thất áp dụng cho đột biến thứ hai của dòng điện có thể thấp khoảng 65 % ngưỡng áp dụng cho đột biến đầu tiên. Qui trình này có thể tiếp tục cho đến khi ngưỡng hạ xuống mức độ tối thiểu sau vài đột biến. Ngưỡng tối thiểu đạt tới có thể chỉ xấp xỉ 10 % hoặc thấp hơn ngưỡng áp dụng cho đột biến dòng điện đầu tiên [14], [18], [19], [20].

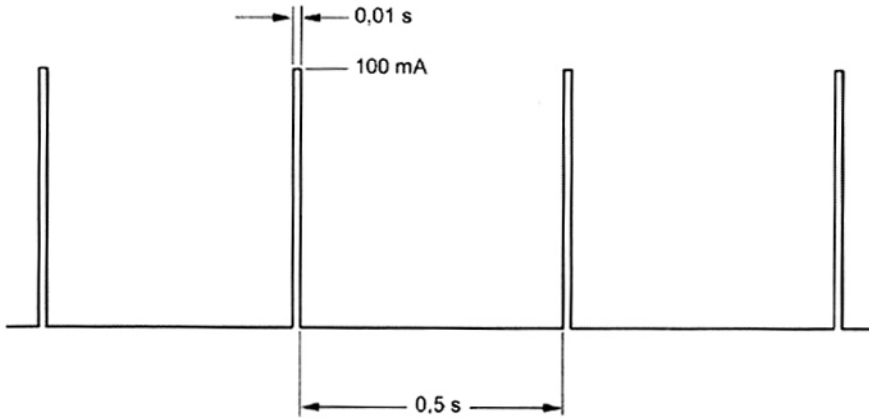
Bảng 1 đưa ra việc ước tính ngưỡng rung tâm thất có thể áp dụng cho đột biến dòng điện trong một chuỗi trong trường hợp xấu nhất. Thời gian giữa các đột biến dòng điện là không đủ để các ảnh hưởng của đột biến dòng điện trước đó mất đi hoàn toàn. Mỗi đột biến dòng điện có đủ độ lớn và thời gian để kích thích mô của tim và giả sử rằng ngưỡng rung tâm thất giảm đi 35 % sau mỗi đột biến dòng điện.

**Bảng 1 – Ví dụ về việc ước lượng ngưỡng rung tâm thất sau mỗi đột biến dòng điện trong chuỗi đột biến**

| <b>Đột biến dòng điện trong chuỗi các đột biến cách nhau ngắn hơn 1 s, trong trường hợp đột biến dòng điện đầu tiên thuộc vùng AC-3 hoặc DC-3 trên Hình 20 hoặc Hình 22</b> | <b>Ví dụ về ước lượng ngưỡng rung tâm thất sau mỗi đột biến dòng điện trong chuỗi đột biến<br/>%</b> |
|---|--|
| Đột biến dòng điện đầu tiên   | 100  |
| Đột biến dòng điện thứ hai  | 65   |
| Đột biến dòng điện thứ ba   | 42   |
| Đột biến dòng điện thứ tư   | 27   |
| Đột biến dòng điện thứ năm  | 18   |
| Đột biến dòng điện thứ sáu  | 12   |
| Đột biến dòng điện thứ bảy và các đột biến dòng điện tiếp theo  | 10 hoặc thấp hơn   |

**9.2.2 Ví dụ 1**

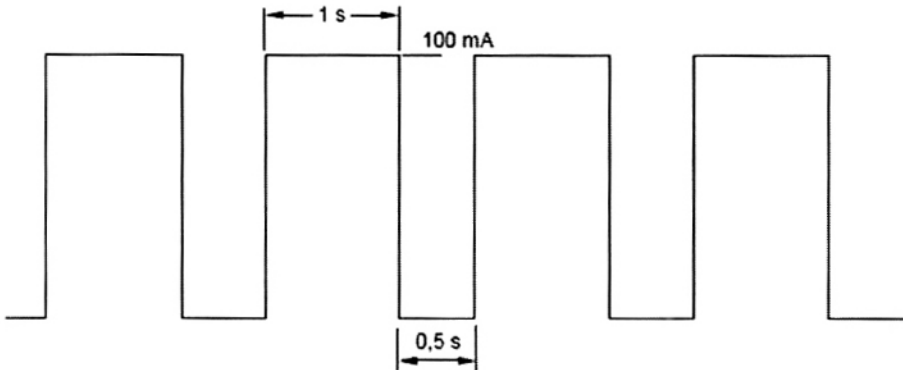
Xem xét chuỗi bốn xung chữ nhật (xem Hình 14) của dòng điện một chiều đi qua cơ thể người từ bàn tay trái xuống hai chân, trong đó mỗi xung có độ lớn là 100 mA đỉnh và khoảng thời gian là 0,01 s. Giả sử các xung cách nhau “thời gian nghỉ” 0,5 s. Trong ví dụ này, ta sẽ xác định liệu có rủi ro rung tâm thất khi dòng điện xung chạy từ dưới lên (bàn chân là cực dương) đi qua cơ thể.



**Hình 14 – Bốn xung chữ nhật liên tiếp của dòng điện một chiều**

Theo Hình 22 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1), mỗi xung 0,01 s, 100 mA bản thân nó không gây ra các ảnh hưởng sinh lý có hại (vùng DC-2). Bốn xung cách nhau 0,5 s này nếu có thể có các ảnh hưởng tích lũy nhất có thể dự kiến thì đó là giảm ngưỡng rung tâm thất, xung thứ tư và là xung cuối cùng có thể có ngưỡng chỉ còn bằng 27 % của 500 mA, nghĩa là 135 mA. Do đó, khó có thể tin rằng các xung trong chuỗi này sẽ có thể gây ra nhiều loạn leo thang thành tình trạng nguy hiểm, cho dù các đột biến dòng điện chỉ cách nhau 0,5 s. Rủi ro rung tâm thất trong trường hợp này có thể được coi là thấp.

Xem xét chuỗi bốn xung chữ nhật khác (xem Hình 15) của dòng điện một chiều đi theo cùng hướng (bàn chân là cực dương) qua cơ thể người, giữa bàn tay trái và cả hai bàn chân.



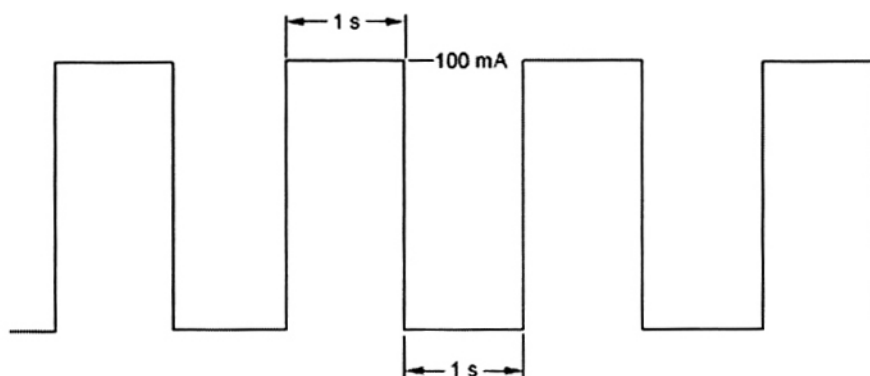
**Hình 15 – Chuỗi bốn xung chữ nhật của dòng điện một chiều**

Mỗi xung có cùng độ lớn là 100 mA giá trị đỉnh, nhưng khoảng thời gian của từng xung được tăng lên thành 1 s. Khoảng cách giữa các xung vẫn là 0,5 s. Có rủi ro rung tâm thất hay không?

Theo Hình 22 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1), bản thân mỗi xung đều có khả năng gây ra các nhiễu loạn có thể phục hồi về sự hình thành và dẫn các xung trong tim (vùng DC-3). Trước khi các nhiễu loạn mất đi thì ngưỡng rung tâm thất được giảm xuống mức thấp hơn, dẫn đến rung tâm thất có

nhều khả năng xảy ra hơn. Một xung đơn lẻ không lặp trong thời gian 1 s có thể có ngưỡng rung tâm thất thấp xấp xỉ 150 mA (đường  $c_1$ ). Nếu xung đầu tiên do các nhiễu loạn gây ra để giảm được rung tâm thất đi 35 %, thì ngưỡng rung tâm thất đối với xung thứ hai sẽ là 65 % của 150 mA, tức là 98 mA. Xung thứ ba có thể có ngưỡng rung tâm thất bằng 65 % của 98 mA, tức là 63 mA, và xung thứ tư có thể có ngưỡng rung tâm thất chỉ còn bằng 41 mA. Trong trường hợp này, xung đầu tiên ít có khả năng gây ra rung tâm thất, nhưng xung thứ hai, thứ ba và thứ tư có rủi ro ngày càng cao về gây rung tâm thất. Đó là do ảnh hưởng tích lũy của các nhiễu loạn gây ra bởi các xung trước đó trong chuỗi đột biến có thời gian giữa các xung không đủ dài để các ảnh hưởng này mất đi.

Cuối cùng, xem xét chuỗi bốn xung chữ nhật khác của dòng điện một chiều đi theo cùng hướng (bàn chân là cực dương) qua cơ thể người giữa bàn tay trái và cả hai bàn chân. Mỗi xung có độ lớn 100 mA đỉnh và khoảng thời gian kéo dài 1 s, nhưng khoảng thời gian giữa các xung là 1 s thay vì 0,5 s (xem Hình 16). Trong ví dụ này, ta sẽ xác định liệu có rủi ro rung tâm thất.



**Hình 16 – Chuỗi bốn xung chữ nhật của dòng điện một chiều**

Theo Hình 22 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1), bản thân mỗi xung đều có khả năng gây ra các nhiễu loạn có thể phục hồi trong tim (vùng DC-3), nhưng khoảng thời gian 1 s giữa các xung cho phép các nhiễu loạn mất đi trước khi xung tiếp theo trong chuỗi xuất hiện. Đó đó, có ít hoặc không có ảnh hưởng tích lũy và rủi ro rung tâm thất trong chuỗi xung này là thấp.

### 9.2.3 Ví dụ 2

Nếu xem xét luồng liên tục của dòng điện một chiều gián đoạn có chu kỳ làm việc là 50 %, thì khả năng là nhiều hơn trong việc xảy ra rung tâm thất được ước lượng đối với luồng xung này so với khả năng xảy ra rung tâm thất đối với một xung chữ nhật đơn lẻ không lặp lại có cùng khoảng thời gian như một trong các xung trong luồng xung.

Theo Hình 20 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1), dòng điện xoay chiều hình sin liên tục, ví dụ như giá trị hiệu dụng 200 mA hoặc giá trị đỉnh 283 mA có khả năng gây rung tâm thất ở một mức cụ thể. Theo quan sát của Kouwenhoven [18] mà đã thực hiện so sánh khả năng xảy ra rung tâm thất đối với dòng điện xoay chiều hình sin và dòng điện một chiều gián đoạn với cùng tần số cơ bản là 60 Hz, thì tỷ

số của biên độ của một chuỗi xung liên tục các xung một chiều có cùng khả năng xảy ra rung tâm thất và là 1,7/1. Tỷ số này giữa các ngưỡng rung tâm thất đo được của dòng điện xoay chiều và dòng điện một chiều gián đoạn bằng cách đặt trực tiếp dòng điện lên tim của một con chó (1,06 mA giá trị đỉnh/0,62 mA giá trị đỉnh = 1,7). Dòng điện một chiều gián đoạn gây ra rung tâm thất ở mức độ thấp hơn dòng điện xoay chiều hình sin.

Theo Hình 20 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1), khả năng xảy ra rung tâm thất đối với một xung chữ nhật đơn lẻ không lặp lại của dòng điện một chiều có khoảng thời gian bằng một nửa thời gian của loạt xung lặp lại tần số 60 Hz ( $((1/60)/2 = 8,3 \text{ ms})$ ) là cao hơn khoảng mười lần đối với dòng điện xoay chiều hình sin liên tục.

Do đó tỷ số giữa khả năng xảy ra rung tâm thất đối với một xung đơn lẻ trong khoảng thời gian 8,3 ms và đối với chuỗi xung 60 Hz có chu kỳ làm việc 50 % (cùng hình dạng chữ nhật và cùng khoảng thời gian) là khoảng  $1/(2 \cdot 830 \text{ mA}/166 \text{ mA}) = 1/17$ . Sự chênh lệch đáng kể này giữa khả năng xảy ra rung tâm thất là do ảnh hưởng tích lũy của các xung lên tim khi xuất hiện liên tiếp dồn dập nhiều xung.

## **10 Ảnh hưởng của dòng điện qua cơ thể người ngập trong nước**

### **10.1 Qui định chung**

Điều này thảo luận về ảnh hưởng của dòng điện qua cơ thể người khi cơ thể ngập trong nước có các mức độ dẫn điện khác nhau. Tần số dòng điện xoay chiều hình sin 50/60 Hz và dòng điện một chiều được thảo luận, nhưng ảnh hưởng của các tần số khác có thể ước tính được bằng cách áp dụng thông tin được cho trong các phần khác của TCVN 9621 (IEC 60479).

CHÚ THÍCH 1: Nếu không có qui định nào khác, thì điện áp và dòng điện là dạng hình sin và các giá trị được biểu thị dưới dạng giá trị hiệu dụng.

CHÚ THÍCH 2: Trong tiêu chuẩn này, thuật ngữ "nước" được sử dụng để mô tả nước tinh khiết cũng như các dung dịch nước tinh khiết có muối và các tạp chất khác trong dung dịch.

### **10.2 Điện trở suất của dung dịch nước và của cơ thể người**

Nước tinh khiết về bản chất là không dẫn điện, nhưng trong trường hợp các tạp chất như muối được cho thêm vào nước, điện trở suất của dung dịch có thể giảm đáng kể. Bảng 2 cho thấy giá trị của điện trở suất đối với các ví dụ về dung dịch nước điển hình mà người có thể ngập một phần hoặc hoàn toàn trong đó.



Bảng 2 – Điện trở suất của dung dịch nước [21]

| Dung dịch nước   | Điện trở suất<br>$\Omega \cdot \text{cm}$ |
|--|---|
| Nước mưa   | 254 đến 420 000                           |
| Nước cứng "tiêu chuẩn"   | 1 780                                     |
| Nước vôi (Mỹ)  | 1 290 đến 16 000                          |
| Nước giặt (nước máy có cho thêm chất tẩy)  | 520                                       |
| "Nước bể bơi"  | 300                                       |
| Nước muối (bình thường) đẳng trương  | 60  |
| Nước biển (Đại Tây Dương, gần New York)  | 22  |
| CHÚ THÍCH: Giá trị dẫn điện trong bảng này là xấp xỉ đối với các dung dịch ở nhiệt độ phòng và sẽ thay đổi theo các biến đổi nhiệt độ. |   |

Khi cơ thể người ngập trong nước có dòng điện đi qua, đường đi của dòng điện qua nước bị ảnh hưởng bởi điện trở suất tương đối giữa cơ thể vốn không đồng nhất và nước. Nếu nước có điện trở suất nhỏ hơn điện trở suất của cơ thể ngập trong nước (ví dụ như nước biển), một số lượng lớn dòng điện lẽ ra chạy qua nước bị cơ thể chiếm chỗ sẽ chạy vòng qua cơ thể thay vì chạy qua nước. Tuy nhiên, nếu nước có điện trở suất lớn hơn cơ thể (ví dụ như nước trong hồ nước ngọt), thì một phần lớn hơn của dòng điện sẽ đi theo đường có điện trở nhỏ nhất và "tập trung" qua cơ thể. Sự có mặt của cơ thể làm biến dạng trường điện và đường đi của dòng điện trong nước. Sự biến dạng của trường điện và đường đi của dòng điện sẽ là nhỏ nhất khi điện trở suất của nước gần bằng với điện trở suất của các bộ phận cơ thể chiếm chỗ trong nước. Tuy nhiên, do cơ thể là không đồng nhất nên sự có mặt của cơ thể trong nước luôn làm biến dạng trường điện và đường đi của dòng điện ở mức độ nào đó.

Cường độ của trường điện (tính bằng  $\text{V/cm}$ ) bằng với điện trở suất (tính bằng  $\Omega \cdot \text{cm}$ ) nhân với mật độ dòng điện (tính bằng  $\text{A/cm}^2$ ). Do đó, đối với hai đường song song có cùng trường điện đi qua chúng, đường đi có điện trở suất thấp hơn sẽ tương ứng mang mật độ dòng điện cao hơn.

Bảng 3 đưa ra các giá trị xấp xỉ của điện trở suất đối với các ví dụ về các bộ phận khác nhau trên cơ thể người ở nhiệt độ bình thường của cơ thể [22], [23]. Giá trị áp dụng cho tần số thấp, dòng điện xoay chiều hoặc một chiều.

**Bảng 3 – Điện trở suất của các mô cơ thể người**

| Mô của cơ thể người  | Điện trở suất<br>$\Omega.cm$ |
|--|------------------------------|
| Máu  | 62,9 *                       |
| Dịch não tủy   | 64,6                         |
| Cánh tay (phần cơ thể)   | 160                          |
| Cơ hệ vận động   | 240                          |
| Cổ (phần cơ thể)   | 280                          |
| Ngón tay và bàn tay (phần cơ thể)  | 280                          |
| Ngực (phần cơ thể)   | 375 – 455                    |
| Thân (phần cơ thể)   | 415                          |
| Não  | 588                          |
| Đầu (phần cơ thể)  | 840                          |
| Cơ tim   | 925 – 1 150                  |
| Xương  | 16 000                       |
| * Giá trị này áp dụng cho huyết tương không có các tế bào trong mẫu. Khi tăng số lượng tế bào trong mẫu, điện trở suất tăng đến giá trị cao gần bằng 300 $\Omega.cm$ .                                   |                              |
| CHÚ THÍCH: Cơ thể người không đồng nhất theo kết cấu và do đó cũng không đồng nhất về điện trở suất. Các giá trị cho trong bảng, đặc biệt đối với các phần cơ thể, cần được coi là giá trị "trung bình". |                              |

### 10.3 Dòng điện dẫn qua cơ thể người ngập trong nước

Trở kháng đầu ra của nguồn điện đưa dòng điện xuống nước có thể cao hoặc thấp, phụ thuộc vào bản chất và thiết kế của nguồn. Nếu nguồn có trở kháng đầu ra thấp so với trở kháng của nước và cơ thể ngập trong nước, thì nguồn hoạt động giống với nguồn điện áp không đổi. Trong trường hợp này, dòng điện qua cơ thể và nước được xác định nhiều hơn bởi trở kháng của các tuyến song song khác nhau ở dưới nước và không bị giới hạn bởi trở kháng đầu ra của nguồn. Dòng điện qua cơ thể không bị ảnh hưởng đáng kể bởi sự có mặt của đường đi của dòng điện song song với cơ thể. Do trở kháng đầu ra của nguồn thấp, từng tuyến song song có thể được cấp dòng điện từ nguồn mà về cơ bản dựa trên trở kháng của từng tuyến trong nhiều tuyến đi riêng biệt.

Nếu nguồn điện có trở kháng đầu ra cao so với trở kháng của từng tuyến của cơ thể và của nước mà cơ thể ngập trong đó thì nguồn hoạt động giống như một nguồn dòng không đổi. Trong trường hợp này, độ lớn của dòng điện tổng từ nguồn chảy qua cơ thể người và nước được xác định bằng điện áp nguồn chia cho trở kháng nguồn. Trở kháng bên ngoài nguồn là thấp so với trở kháng nguồn và ít có ảnh hưởng. Dòng điện trong nước phân chia giữa cơ thể và các tuyến dòng điện xung quanh cơ thể. Phần lớn dòng điện đi qua các tuyến có điện trở nhỏ nhất. Trong trường hợp cực đoan, nếu nước là chất dẫn điện hoàn hảo thì cơ thể ngập trong nước sẽ không dẫn điện vì tất cả các dòng điện sẽ chạy vòng bên ngoài cơ thể để qua nước có tính dẫn điện cao. Trong trường hợp cực đoan khác, nếu nước có điện trở rất cao thì khi đó, hầu như toàn bộ dòng điện trong nước sẽ tập trung đi qua cơ thể.

Bảng 4 minh họa một cách định tính ảnh hưởng qua lại giữa điện trở suất của dung dịch nước (so với điện trở suất của cơ thể ngập trong nước), và đặc tính trở kháng của nguồn điện (trở kháng nguồn so với trở kháng của dung dịch và cơ thể ngập trong nước).

**Bảng 4 – Ảnh hưởng qua lại giữa điện trở suất của dung dịch nước và đặc tính trở kháng của nguồn điện**

|  | <b>Dung dịch có điện trở suất cao</b>   | <b>Dung dịch có điện trở suất thấp</b>  |
|--|---|---|
| Nguồn điện áp không đổi<br>(trở kháng nguồn thấp so với trở kháng tương đương của cơ thể ngập trong nước với nước) | Dòng điện qua cơ thể được xác định bởi điện áp nguồn và trở kháng của cơ thể "mắc nối tiếp" với nước ở giữa người và các điện cực. Điện trở suất của nước càng cao mắc nối tiếp với cơ thể thì dòng điện qua cơ thể càng ít   | Dòng điện qua cơ thể được xác định bởi điện áp nguồn và trở kháng của cơ thể "mắc nối tiếp" với nước ở giữa cơ thể và các điện cực. Điện trở suất của nước càng thấp mắc nối tiếp với cơ thể thì dòng điện qua cơ thể càng nhiều  |
| Nguồn dòng điện không đổi<br>(trở kháng nguồn cao so với trở kháng tương đương của cơ thể ngập trong nước và nước) | Dòng điện tổng được xác định bằng cách lấy điện áp nguồn chia cho trở kháng nguồn. Dòng điện qua cơ thể được xác định bằng trở kháng tương đương của cơ thể ngập trong nước và nước "mắc song song với" cơ thể. Điện trở suất của nước càng cao thì càng có nhiều dòng điện đi qua cơ thể | Dòng điện tổng được xác định bằng cách lấy điện áp nguồn chia cho trở kháng nguồn. Dòng điện qua cơ thể được xác định bằng trở kháng tương đương của cơ thể ngập trong nước và nước "mắc song song với" cơ thể. Điện trở suất của nước càng thấp thì càng có ít dòng điện đi qua cơ thể |

**10.4 Ảnh hưởng sinh lý của dòng điện qua cơ thể bị ngập trong nước**

Sự cảm nhận và phản ứng giật mình ít có khả năng xảy ra khi cơ thể bị ngập hoàn toàn trong nước. Với cơ thể ngập hoàn toàn và dẫn điện, mật độ dòng điện qua da thường thấp ngay cả khi dòng điện tích lũy trong cơ thể và chạy qua một phần mô bên trong cơ thể (cơ, máu, dây thần kinh, v.v...) có thể là đáng kể. Do mật độ dòng điện thấp trong da, mức độ có hại của dòng điện có thể chạy qua các bộ phận bên trong của người ngập trong nước mà không có cảm giác thường được kết hợp với việc điện giật.

Ảnh hưởng sinh lý của dòng điện qua cơ thể bao gồm cả cơ cứng cơ (sự bất động) có thể là đặc biệt nguy hiểm khi cơ thể bị ngập trong nước vì nó có thể cản trở khả năng bơi của con người, hoặc có thể cản trở khả năng giữ đầu cao hơn mặt nước. Sự can thiệp vào hệ điều khiển bình thường của các cơ có thể dẫn tới chết đuối.

Rung tâm thất có thể xảy ra khi dòng điện có độ lớn đáng kể chạy qua cơ thể vào vùng tim. Hướng của cơ thể đối với trường điện dưới nước không nhất thiết phải cố định và có thể thay đổi liên tục. Do đó, phải giả sử rằng dòng điện có thể đi vào và ra khỏi cơ thể theo cách có thể làm tăng mật độ dòng điện trong tim và có thể chày theo hướng bất lợi nhất. Ví dụ như, dòng điện có thể chạy trực tiếp vào ngực và đi ra qua tay trái, tùy thuộc vào vị trí của cơ thể đối với điện cực trong nước.

Một người ngập trong một khối nước, khối nước này cách điện với đất và được đưa lên điện thế cao so với đất bởi một nguồn điện, nhưng trong trường hợp không có chênh lệch về điện thế trong nước (không có trường điện trong nước), thì có thể không có dòng điện qua cơ thể cho đến khi người đó ra

khỏi nước nước và chạm vào bộ phận dẫn được nối đất. Trong trường hợp này, dòng điện sẽ chạy từ nước đi vào cơ thể qua vùng da có diện tích da lớn ngập trong nước và đi ra qua chi chạm hoặc bám bộ phận được nối đất. Người này có thể không có khả năng thả tay ra khỏi bộ phận đó và nếu dòng điện qua thân là đủ lớn, thì dòng điện này có thể cản trở hô hấp hoặc gây rung tâm thất.

Tổn thương do dòng điện ít có khả năng xảy ra khi cơ thể bị ngập trong nước vì nước làm mát da.

Nếu một người ngập hoàn toàn trong nước, dòng điện chạy qua đầu có thể gây ra một số ảnh hưởng sinh lý khác [24]. Dòng điện nhỏ có thể gây cảm giác tê tê hoặc như bị kim châm trên da. Dòng điện lớn hơn có thể gây kích thích cơ mặt. Dòng điện lớn hơn nữa có thể gây kích thích các dây thần kinh thị giác tạo ra đom đóm mắt. Đom đóm mắt là hình ảnh thị giác của ánh sáng được tạo bởi các tác nhân kích thích bên ngoài không liên quan đến ánh sáng – trong trường hợp này là dòng điện. (Áp lực cơ khi đặt lên mắt đã nhắm lại cũng có thể tạo ra đom đóm mắt) Mặc dù bản thân đom đóm mắt không có hại, nhưng chúng có thể làm người chưa kịp đề phòng bị sợ hãi, và có thể gây ra phản ứng thiếu suy nghĩ hoặc thậm chí phản ứng hoảng loạn, điều này có thể dẫn đến các nguy hiểm khác kể cả chết đuối. Các ảnh hưởng trực tiếp của dòng điện là có thể đảo ngược ngay tức thời khi dòng điện ngừng; tuy nhiên, dòng điện cao hơn có thể gây đau ở phần cao hơn trên mặt. Vết đau này có thể đảo ngược sau vài phút đến vài giờ. Cảm giác cân bằng có thể bị ảnh hưởng bởi các dòng điện này. Ảnh hưởng này có thể đảo ngược nhưng có thể kéo dài đến vài ngày.

### 10.5 Giá trị ngưỡng của dòng điện

Ngưỡng dòng điện có ảnh hưởng sinh lý đối với cơ thể người ngập trong nước không phải là giá trị duy nhất. Có rất nhiều biến đổi có thể làm thay đổi liên tục trở kháng của cơ thể và thay đổi liên tục từng đường đi và độ lớn của dòng điện theo từng đường khi cơ thể di chuyển tương đối với các điện cực nguồn trong nước. Các giá trị sau đây đã được sử dụng làm các giới hạn dòng điện về phía an toàn cho các ứng dụng trong trường hợp cơ thể người ngập trong nước có điện trở suất thấp. Các thử nghiệm để xác định các giá trị này được thực hiện với nước có điện trở suất 22  $\Omega$ .cm, thể hiện nước biển được chuẩn bị bằng cách pha thêm NaCl vào nước máy [25].

Nói chung, nếu dòng điện vượt quá 5 mA ở tần số 50/60 Hz đi vào và chày qua cơ thể của người ngập trong nước, dòng điện có thể dẫn đến co cứng cơ bắp mà hiện tượng này có thể cản trở khả năng bơi, cản trở hô hấp hoặc thậm chí là gây rung tâm thất. Với một người bị ngập trong nước, dòng điện có thể đi trực tiếp từ nước vào ngực, mà không cần qua các chi. Hơn nữa, việc duy trì khả năng điều khiển các cơ là quan trọng để có thể tránh khỏi chết đuối. Giá trị 5 mA không liên quan đến đường cong b trên Hình 20 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1). Các điều kiện ngập trong nước khác với hoàn cảnh điện giật điển hình và áp dụng các xem xét khác.

Điện trở 50  $\Omega$  đôi khi được qui định để đo dòng điện nhận được từ các nguồn điện có trở kháng đầu ra cao dưới nước. Tuy nhiên, giá trị này có thể là quá cao không phù hợp với mô hình trở kháng của cơ thể. Điều này trở nên quan trọng khi nguồn có trở kháng đầu ra thấp. Trong trường hợp này, giá trị của

## TCVN 9621-2:2013

mô hình trở kháng cơ thể ảnh hưởng nhiều hơn tới dòng điện lên phạm vi rộng và cần phải thể hiện chính xác hơn cơ thể.

Khi dòng điện 5 mA đi vào cơ thể trẻ em qua vùng ngực có thể xuất hiện mật độ dòng điện  $30 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  ở tần số 50/60 Hz.

### 10.6 Giá trị điện áp an toàn về bản chất

Theo thông lệ, các tiêu chuẩn sản phẩm đều giới hạn dòng điện thay vì giới hạn điện áp trong các ứng dụng như bể bơi và thẩm mỹ viện nơi mà có việc ngâm cơ thể trong nước. Nếu qui định giá trị điện áp an toàn về bản chất thì điện áp này sẽ phải rất thấp, có thể chỉ cỡ vài volt, do có thể tồn tại các đường đi có trở kháng rất thấp qua cơ thể ngập nước.

## 11 Ảnh hưởng của dòng điện xung đơn một chiều trong khoảng thời gian ngắn

### 11.1 Qui định chung

Dòng điện xung đơn một chiều trong khoảng thời gian ngắn ở dạng xung chữ nhật và xung hình sin hoặc phóng điện tụ điện có thể là nguồn nguy hiểm trong trường hợp hỏng cách điện của thiết bị điện có chứa các linh kiện điện tử hoặc trong trường hợp tiếp xúc với bộ phận mang điện của thiết bị đó. Do đó, điều này là quan trọng để thiết lập các giới hạn nguy hiểm đối với các kiểu dòng điện này.

Đối với thời gian điện giật 10 ms, ảnh hưởng được mô tả trong điều này tương đương với các ảnh hưởng được cho trong TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1), nên TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1) và TCVN 9621-2 (IEC/TS 60479-2) đề cập toàn bộ dải khoảng thời gian điện giật từ 0,1 ms đến 10 s đối với gần như toàn bộ các dạng sóng của dòng điện có liên quan đến kỹ thuật. Nội dung của điều này dựa trên sự giả định suy ra từ nguyên cứu khoa học theo đó yếu tố chính khởi đầu của rung tâm thất đối với các dạng khác nhau của dòng điện xung đơn một chiều là giá trị  $I \times t$  hoặc  $I^2 \times t$  đối với thời gian giật điện lên đến 10 ms [8].

### 11.2 Ảnh hưởng của dòng điện xung đơn một chiều trong khoảng thời gian ngắn

#### 11.2.1 Dạng sóng

Hình 17 biểu diễn hình dạng của dòng điện xung chữ nhật, xung hình sin và đối với phóng điện tụ điện. Độ lớn dòng điện dưới đây phải được phân biệt:

$I_{DC}$  = độ lớn của dòng điện có xung chữ nhật,

$I_{ACrms}$  = giá trị hiệu dụng của dòng điện xung hình sin,

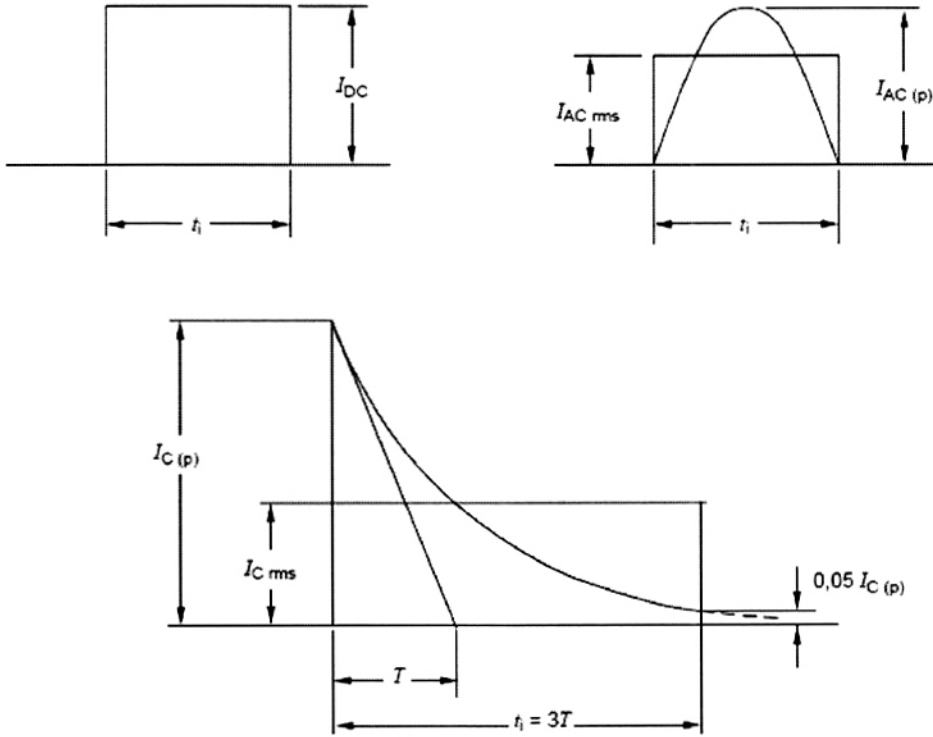
$I_{AC(p)}$  = giá trị đỉnh của dòng điện xung hình sin,

$I_{crms}$  = giá trị hiệu dụng của dòng điện phóng điện tụ điện trong thời gian 3T,

$I_{C(p)}$  = giá trị đỉnh của phóng điện tụ điện.

CHÚ THÍCH: Nếu  $U_e$  là điện áp của tụ điện tại thời điểm bắt đầu phóng điện qua cơ thể người và  $R_e$  là điện trở ban đầu của cơ thể thì  $I_{C(p)}$  được xác định bằng:

$$I_{C(p)} = \frac{U_e}{R_i}$$



Hình 17 – Các dạng của dòng điện xung chữ nhật, xung hình sin và phóng điện tụ điện

### 11.2.2 Xác định năng lượng riêng gây rung tâm thất $F_e$

Xác định năng lượng riêng gây rung tâm thất  $F_e$  đối với các dạng sóng khác nhau được đề cập trong điều này.

a) đối với xung chữ nhật:

$$F_e = I_{DC}^2 t_i$$

b) đối với xung hình sin:

$$F_e = \frac{I_{AC(p)}^2}{2} t_i = I_{ACrms}^2 t_i$$

c) đối với phóng điện tụ điện có hằng số thời gian T:

$$F_e = I_{C(p)}^2 \frac{T}{2} = I_{Crms}^2 t_i$$

Hình 18 so sánh các độ lớn dòng điện đối với xung chữ nhật, xung hình sin và phóng điện tụ điện với hằng số thời gian T có cùng năng lượng riêng gây rung tâm thất  $F_e$  và cùng thời gian điện giật  $t_i$ . Trong trường hợp này, tồn tại hệ thức sau:

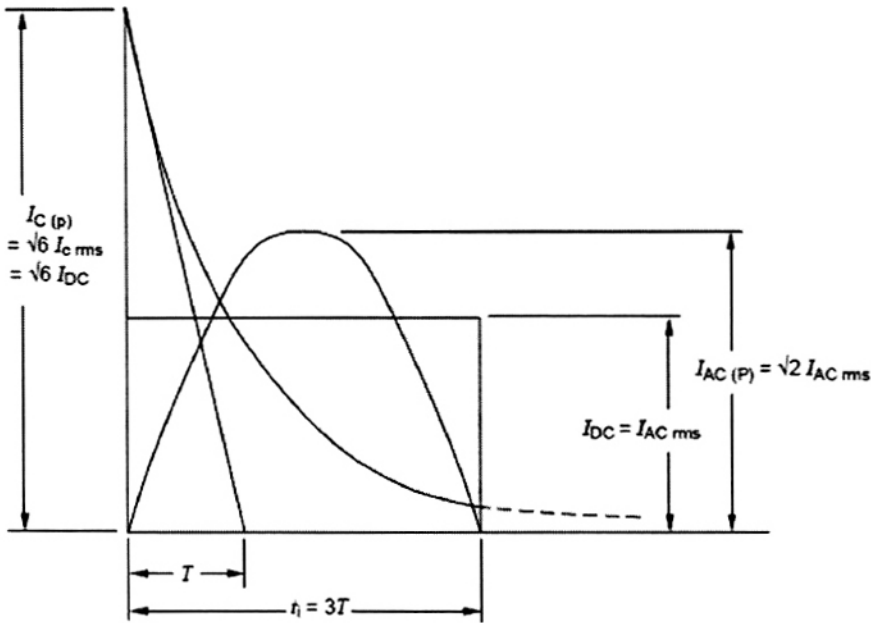
$$I_{DC} = \frac{I_{AC(p)}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{C(p)}}{\sqrt{6}}$$

CHÚ THÍCH: Hệ thức  $I_{DC} = \frac{I_{C(p)}}{\sqrt{6}}$  được suy ra như sau:

$$F_e = I_{C(p)}^2 \int_0^{\infty} e^{-\frac{2t}{T}} dt = I_{C(p)}^2 \frac{T}{2}$$

$$I_{Cms}^2 3T = I_{DC}^2 3T = I_{C(p)}^2 \frac{T}{2}$$

$$I_{Cms} = I_{DC} = I_{C(p)} \frac{1}{\sqrt{6}}$$

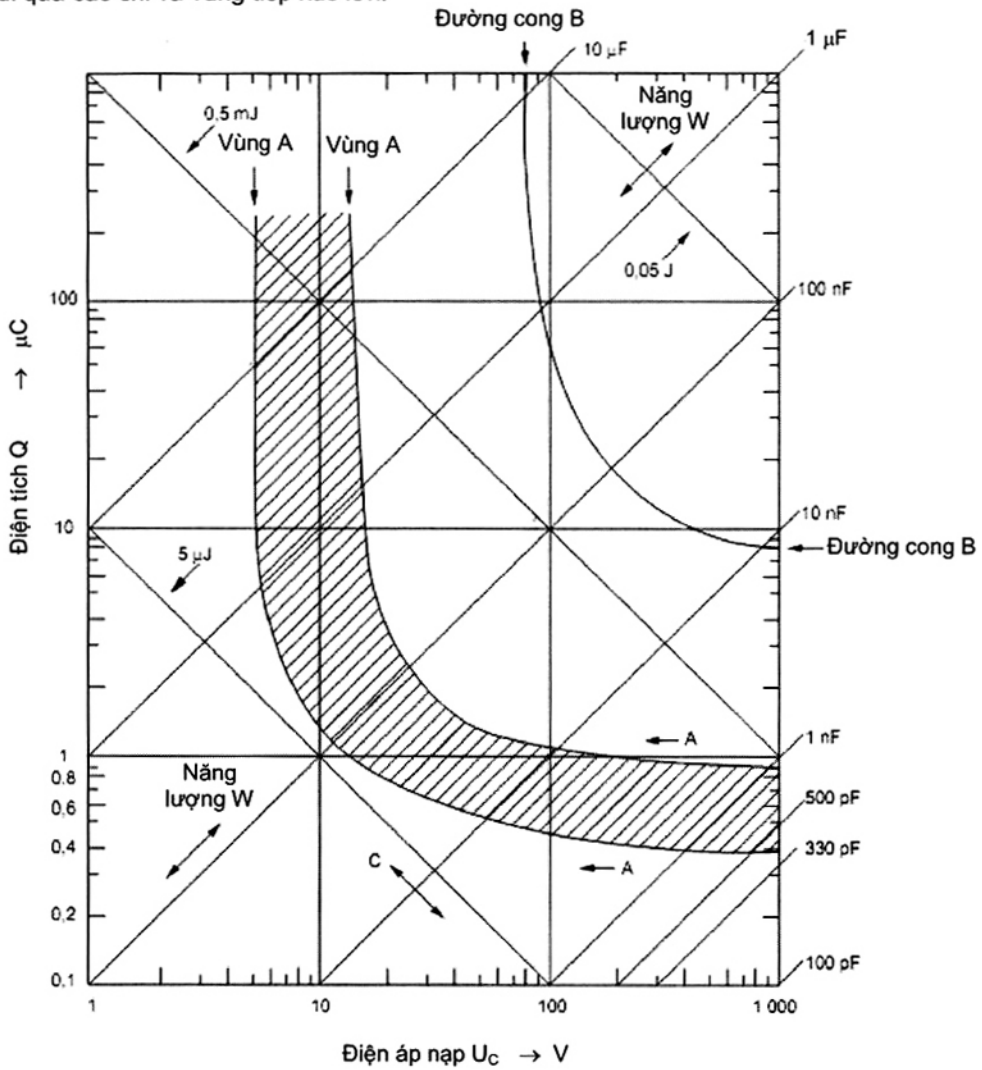



Hình 18 – Xung chữ nhật, xung hình sin và phóng điện tụ điện có cùng năng lượng riêng gây rung tâm thất và cùng thời gian điện giật

### 11.3 Ngưỡng cảm nhận và ngưỡng đau đối với phóng điện tụ điện

Ngưỡng phụ thuộc vào dạng của các điện cực, điện tích nạp và giá trị dòng điện đỉnh của xung. Hình 19 thể hiện ngưỡng cảm nhận và ngưỡng đau là hàm của điện tích, điện áp nạp của tụ điện đối với một người cầm các điện cực lớn trong hai bàn tay khô.

Ngưỡng đau tính bằng năng lượng riêng nằm trong khoảng từ  $50$  đến  $100 \times 10^{-6} \text{ A}^2\text{s}$  đối với các tuyến dòng điện đi qua các chi và vùng tiếp xúc lớn.



|   |              |                      |
|---|--------------|----------------------|
|  | Vùng A       | Ngưỡng cảm nhận      |
|   | Đường cong B | Ngưỡng đau điển hình |

CHÚ THÍCH: Trục trên được chia độ đối với điện dung (C) và năng lượng (W). Từ giao điểm các tọa độ điện áp nạp và điện dung, có thể đọc được điện tích và năng lượng của xung trên các trục tương ứng.

**Hình 19 – Ngưỡng cảm nhận và ngưỡng đau đối với dòng điện sinh ra do tụ điện phóng điện (bàn tay khô, vùng tiếp xúc lớn)**



## 11.4 Ngưỡng rung tâm thất

### 11.4.1 Qui định chung

Ngưỡng rung tâm thất phụ thuộc vào hình dạng, khoảng thời gian và độ lớn của dòng điện xung. Pha của tim khi xung bắt đầu, đường đi của dòng điện trong cơ thể người và phụ thuộc vào đặc tính sinh lý của người.

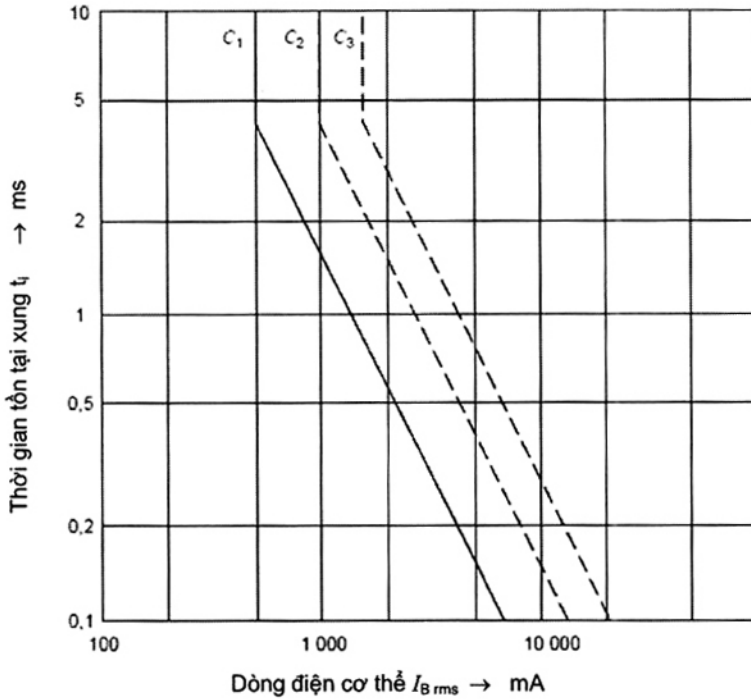
Các thí nghiệm trên động vật cho thấy rằng

- đối với các xung có thời gian tồn tại ngắn và năng lượng xung tương đối thấp, nói chung rung tâm thất chỉ xảy ra nếu xung rơi vào trong giai đoạn dễ bị tổn thương của chu kỳ tim.

CHÚ THÍCH: Với các xung năng lượng cao xảy ra bên ngoài giai đoạn dễ bị tổn thương, hiện tượng rung tâm thất cũng có thể xuất hiện thậm chí sau hiện tượng ban đầu đến nhiều phút.

- điện tích riêng gây rung tâm thất  $F_q$  hoặc năng lượng riêng gây rung tâm thất  $F_e$  xác định sự bắt đầu của rung tâm thất đối với xung một chiều trong khoảng thời gian điện giật ngắn hơn 10 ms.

Ngưỡng rung tâm thất được biểu diễn trên Hình 20. Với xác suất gây ra rung tâm thất là 50 %,  $F_q$  ở khoảng 0,005 As và  $F_e$  tăng từ khoảng 0,01 A<sup>2</sup>s ở thời gian tồn tại xung  $t_i = 4$  ms đến 0,02 A<sup>2</sup>s đối với  $t_i = 1$  ms.



Các đường cong chỉ ra xác suất rung đối với dòng điện chạy qua cơ thể từ bàn tay trái xuống cả hai chân. Đối với các đường đi của dòng điện khác, xem 5.9 trong TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1).

- Dưới  $C_1$ : không rung;  
 Trên  $C_1$  lên đến  $C_2$ : rủi ro rung tâm thất thấp (xác suất đến 5 %);  
 Trên  $C_2$  lên đến  $C_3$ : rủi ro rung tâm thất trung bình (xác suất đến 50 %);  
 Trên  $C_3$ : rủi ro rung tâm thất cao (xác suất lớn hơn 50 %)

**Hình 20 – Ngưỡng rung tâm thất**

#### 11.4.2 Ví dụ

Hai ví dụ được đưa ra nhằm giải thích việc ứng dụng trong thực tế các mối liên quan được mô tả trong điều này. Ví dụ đầu tiên đề cập về phóng điện tụ điện với hằng số thời gian  $T = 1$  ms và thời gian điện giật  $t_i = 3T = 3$  ms và nằm trong phạm vi của tiêu chuẩn này. Trong ví dụ thứ hai, hằng số thời gian  $T = 10$  ms, nghĩa là  $t_i = 30$  ms điều này có nghĩa là giới hạn đối với rung tâm thất là các giới hạn được cho trên Hình 20 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1).

#### Ví dụ 1

Ảnh hưởng của phóng điện tụ điện trên cơ thể người:

Tụ điện  $C = 1 \mu\text{F}$ , điện áp nạp 10 V, 100 V, 1 000 V và 10 000 V.

**TCVN 9621-2:2013**

Đường đi của dòng điện: bàn tay đến bàn chân, điện trở ban đầu của cơ thể được giả thiết là  $R_i = 1\ 000\ \Omega^2$

Hằng số thời gian  $T = 1\ ms$ , nghĩa là thời gian điện giật  $t_i = 3T = 3\ ms$

$$\text{Năng lượng riêng gây rung tâm thất } F_e = I_{Cms}^2 t_i \approx \frac{W_c}{R_i}$$

Ảnh hưởng của điện giật

| Điện áp nạp $U_e$<br>V  | 10                    | 100                  | 1 000                | 10 000                          |
|---|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|
| Dòng điện phóng điện<br>Giá trị đỉnh $I_{C(p)}$ (A)                                     | 0,01                  | 0,1                  | 1                    | 10                              |
| Giá trị hiệu dụng của dòng điện phóng điện (A)<br>$I_{Cms} = \frac{I_{C(p)}}{\sqrt{6}}$ | 0,0041                | 0,041                | 0,41                 | 41                              |
| Điện tích riêng $F_q$ (As)  | $0,01 \times 10^{-3}$ | $0,1 \times 10^{-3}$ | $10^{-3}$            | $10 \times 10^{-3}$             |
| Năng lượng phóng điện $W_c$ (Ws)  | $0,05 \times 10^{-3}$ | $5 \times 10^{-3}$   | 0,5                  | 50                              |
| Năng lượng riêng gây rung tâm thất $F_e$<br>( $R_i=1\ 000\ \Omega$ ) ( $A^2s$ )         | $0,05 \times 10^{-6}$ | $5 \times 10^{-6}$   | $0,5 \times 10^{-3}$ | $50 \times 10^{-3}$             |
| Ảnh hưởng sinh lý   | Nhẹ                   | Khó chịu             | Đau                  | Có nhiều khả năng rung tâm thất |

**Ví dụ 2**

Ảnh hưởng của phóng điện tụ điện lên cơ thể người:

Tụ điện  $C = 20\ \mu F$ , điện áp nạp 10 V, 100 V, 1 000 V và 10 000 V.

Đường đi của dòng điện: bàn tay-thân, điện trở ban đầu của cơ thể giả thiết là  $R_i = 500\ \Omega^3$ .

Hằng số thời gian  $T = 10\ ms$ , nghĩa là khoảng thời gian điện giật  $t_i = 3T = 30\ ms^4$ .

$$\text{Năng lượng riêng gây rung tâm thất } F_e = I_{Cms}^2 t_i = \frac{W_c}{R_i}$$

Ảnh hưởng của điện giật

<sup>2)</sup> Giá trị của  $R_i$  là  $1\ 000\ \Omega$  được chọn một cách tùy tiện trong ví dụ này. Không nên nhầm lẫn với giá trị  $R_i$  dùng cho mức phần trăm 5 % ở Điều 4 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1).

<sup>3)</sup> Giá trị của  $R_i$  là  $500\ \Omega$  được chọn một cách tùy tiện trong ví dụ này. Không nên nhầm lẫn với giá trị  $R_i$  dùng cho mức phần trăm 5 % ở Điều 4 của TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1).

<sup>4)</sup> Vì khoảng thời gian điện giật  $t_i$  dài hơn 10 ms nên ngưỡng rung tâm thất cần được xem xét từ Hình 20 trong TCVN 9621-1 (IEC/TS 60479-1).

| Điện áp nạp $U_e$<br>V  | 10                   | 100                | 1 000  | 10 000  |
|---|----------------------|--------------------|--|---|
| Dòng điện phóng điện<br>Giá trị đỉnh $I_{C(p)}$ (A)   | 0,02                 | 0,2                | 2  | 20  |
| Giá trị hiệu dụng của dòng điện phóng điện (A)<br>$I_{C_{rms}} = \frac{I_{C(p)}}{\sqrt{6}}$ | 0,008                | 0,08               | 0,8  | 8   |
| Điện tích riêng $F_q$ (As)  | $0,2 \times 10^{-3}$ | $2 \times 10^{-3}$ | $20 \times 10^{-3}$                                      | $200 \times 10^{-3}$                                  |
| Năng lượng phóng điện $W_c$ (Ws)  | $10^{-3}$            | 0,1                | 10   | 1 000   |
| Năng lượng riêng rung tâm thất $F_e$<br>( $R_f = 500 \Omega$ ) ( $A^2s$ )                   | -                    | -                  | -  | -   |
| Ảnh hưởng sinh lý   | Nhẹ                  | Đau                | Nguy hiểm<br>nhưng ít có<br>khả năng<br>rung tâm<br>thất | Nguy hiểm và<br>có nhiều khả<br>năng rung<br>tâm thất |

**Thư mục tài liệu tham khảo**

- [1] DALZIEL, C.F. and MANSFIELD, T.H. *Effect of frequency on perception currents*. Electrical Engineering, 69:794-800 (Sept. 1950), AIEE Transactions, 69: pp. 1162-1168 (1950). (Ảnh hưởng của tần số lên dòng điện cảm nhận)
- [2] DALZIEL, C.F., ODGEN, E. and ABBOTT, C.E. *Effect of frequency on let-go currents*. AIEE Transactions (Electrical Engineering), 62: pp. 745-750 (Dec.1943). (Ảnh hưởng của tần số lên dòng điện thả tay)
- [3] GEDDES, L.A., BAKER, L.E., CABLER, P. and BRITTAIN, *Response to passage of sinusoidal current through the body*. Journal of the Association for the Advancement of Medical Instrumentation, Vol. 5 (1971), No. 1, pp. 13-18. (Đáp ứng với tuyệt dòng điện hình sin qua cơ thể)
- [4] WEIRICH, J., ST. HOHNLOSER and ANTONI; H. *Factors determining the susceptibility of the isolated guinea pig heart to ventricular fibrillation induced by sinusoidal alternating current at frequencies from 1 to 1 000 Hz*. Basic Res. Cardiol. Vol. 78, No. 6 (1983), pp. 604-616. (Các yếu tố xác định độ nhạy của tim lợn với rung tâm thất gây ra do dòng điện xoay chiều hình sin tần số từ 1 Hz đến 1 000 Hz)
- [5] KNICKERBOCKER, G.G. *Fibrillating Parameters of direct and alternating (20 Hz) currents separately and in combination*. Conference Paper IEEE, No. C 72-247-0 (1972). (Tham số rung tâm thất của dòng điện một chiều và xoay chiều (20 Hz) riêng rẽ hoặc kết hợp)
- [6] JACOBSEN, J., BUNTENKÖTTER, S. und REINHARD, H.J. *Experimentelle Untersuchungen an Schweinen zur Frage der Mortalität durch sinusförmige, phasenangeschnittene sowie gleichgerichtete elektrische Ströme*. Biomedizinische Technik, Vol. 20 (1975), No. 3, p. 99.
- [7] REINHOLD, K. *Die Gefährdung durch schwingungspaketartig gesteuerte elektrische Ströme*. Institut zur Erforschung elektrischer Unfälle, Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, Köln, Medizinisch-Technischer Bericht 1976.
- [8] BIEGELMEIER, G., HOMBERGER, E. *Über die Wirkungen von unipolaren Impulsströmen auf den menschlichen Körper*. Bull. ASE/UCS 73 (1982) 18, S. 958-967. The effect of unipolar current pulses on the human body. Johns Hopkins University, Applied Physics Laboratory, Laurel, Maryland 20707, 1983. Effets des courants d'impulsions unipolaires sur le corps humain. Bull. ASE/UCS Vol. 74 (1983), n° 22, p. 1298.
- [9] STAUSS, O. *Die Wirkungen von Kondensatorentladungen auf den menschlichen Körper*. Elektrizitätswirtschaft (1934), H.23, S. 508.
- [10] KOUWENHOVEN, W.B. *Effects of capacitor discharges on the heart*. Amer. Inst. Electr. Eng., No. 56-6 (1956). (Ảnh hưởng của phóng điện tụ điện lên tim)

- [11] PELESKA, B. *Cardiac arrhythmias following condenser discharges and dependence upon strength of current and phase of cardiac cycle*. Circulation research, Vol. XIII, July 1963, p. 21-31. (Chứng loạn nhịp tim sau khi phóng điện tụ điện và phụ thuộc vào cường độ dòng điện và thời gian của chu kỳ tim)
- [12] PELESKA, B. *Cardiac arrhythmias following condenser discharges led through an inductance*. Circulation research, Vol. XVI, January 1965, p. 11-18. (Chứng loạn nhịp tim sau khi phóng điện tụ điện đi qua điện cảm)
- [13] DALZIEL, C.F. *A study of the hazards of impulse currents*. AIEE-Transactions, Part III, Power Apparatus and Systems, Vol. 72, 1953, p. 1032-1043. (Nghiên cứu về các nguy hiểm của dòng điện xung)
- [14] GREEN, H.L., ROSS, J. and KURN, P. *Danger levels of short electrical shocks from 50 Hz supply*. International conference Divetech. 1981, London. (Các mức nguy hiểm của điện giật thời gian ngắn từ nguồn có tần số 50 Hz)
- [15] KOUWENHOVEN, W.B., KNICKERBOCKER, G.G., CHESNUT, R.W., MILNOR, W.R. and SASS, D.J. *AC shocks on varying parameters affecting the heart*. Trans. Amer. Inst. Electr. Eng., Part I Bd. 78 (1959), S. 163-169. (Điện giật làm thay đổi các tham số gây ảnh hưởng đến tim)
- [16] BRIDGES, FORD, SHERMAN and VAINBERG, *Electric shock safety criteria*, p138, HART, *A five part resistor-capacitor network for measurement of voltage and current levels related to electric shock and burns*, 1985 Pergamon press Inc, Elmsford, NY, USA
- [17] DALZIEL, C.F., *Effect of Wave Form on Let-Go Currents*, 1943, AIEE Trans. 62: 739-744 (Ảnh hưởng của dạng sóng lên dòng điện thả tay)
- [18] KOUWENHOVEN, W.B., HOOKER, D.R. and LOTZ, E.L. *Electric Shock Effects of Frequency*, AIEE Trans. 55, pp. 384-386, 1936 (Ảnh hưởng điện giật của tần số)
- [19] WEIRICH, J., HAVERKAMPF, K. and ANTONI, H.: *Ventricular Fibrillation of the Heart Induced by Electric Current*, Revue Generale de l'Electricite, No. 11, 1985 (Rung tâm thất của tim do dòng điện gây ra)
- [20] WEIRICH, J. and ANTONI, H. *Vulnerability of the Heart to Ventricular Fibrillation: Basic Mechanisms*, Regulation of the Heart Function, Heinz Rupp, ed., Thieme, New York, 1986 (Tính dễ tổn thương của tim với rung tâm thất: Cơ chế cơ bản)
- [21] SMOOT, A. W., STEVENSON, J., BENDEL, C.A., SKUGGEVIG, W. and ROSEN, H.: *Development of Test Equipment and Methods for Measuring Potentially Lethal and Otherwise Damaging Current Levels*, prepared for the U. S. Consumer Product Safety Commission by Underwriters Laboratories Inc., May 1981 (revised October 1982), Appendix B, pp. B-34 – B-38 (Xây dựng thiết bị thử nghiệm và phương pháp đo mức dòng điện gây chết người và mức dòng điện gây hỏng các bộ phận)

**TCVN 9621-2:2013**

[22] GEDDES, L. A., *Handbook of Electrical Hazards and Accidents*, CRC Press, 1995, pp. 165 – 183  
(Sổ tay hướng dẫn về các nguy hiểm và tai nạn về điện)

[23] SANCES, *Electrical Shock Safety Criteria*, Panel Meeting on Body Impedance, Proceedings of the First International Symposium on Electrical Shock Safety Criteria, Eds. J. E. Bridges, G. L. Ford, I. A. Sherman, and M. Vainberg, Pergamon Press, 1985, pp. 228 – 232 (Tiêu chí an toàn chống điện giật)

[24] Unpublished work by Underwriters Laboratories Inc., Melville, New York

[25] SMOOT, A.W. and BENTEL, C.A., Underwriters Laboratories Inc., *Electric Shock Hazard of Underwater Swimming Pool Lighting Fixtures*, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. 83, No. 9, pp.945-964, September 1964 (Nguy hiểm điện giật của hệ thống chiếu sáng đặt trong nước của bể bơi)

[26] SMOOT, A.W. and BENTEL, C.A. *Development of a Shock Hazard Test Procedure for Underwater Swimming Pool Lighting Fixtures*, Bulletin of Research No. 60, Underwriters Laboratories Inc., November 30, 1971 (Xây dựng qui trình thử nghiệm nguy hiểm điện giật đối với hệ thống chiếu sáng đặt trong nước của bể bơi)

[27] CEI 60050-551:1998, Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 551: Electronique de puissance

[28] CEI 60050-801:1994, Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 801 : Acoustique et électroacoustique