

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 10687-21:2018

IEC 61400-21:2008

Xuất bản lần 1

**TUABIN GIÓ –
PHẦN 21: ĐO VÀ ĐÁNH GIÁ ĐẶC TÍNH CHẤT LƯỢNG
ĐIỆN NĂNG CỦA TUABIN GIÓ NỐI LƯỚI**

Wind turbines –

*Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of
grid connected wind turbines*

HÀ NỘI – 2018

Mục lục

	Trang
Lời nói đầu	4
Lời giới thiệu	6
1 Phạm vi áp dụng	7
2 Tài liệu viện dẫn	8
3 Thuật ngữ và định nghĩa	9
4 Ký hiệu và đơn vị	12
5 Chữ viết tắt	14
6 Thông số đặc tính chất lượng điện năng của tuabin gió	15
7 Quy trình thử nghiệm	20
8 Đánh giá chất lượng điện năng	39
Phụ lục A (tham khảo), Ví dụ về biểu mẫu báo cáo	44
Phụ lục B (tham khảo), Dao động điện áp và nháy	54
Phụ lục C (tham khảo), Đo công suất tác dụng, công suất phản kháng và điện áp	62
Thư mục tài liệu tham khảo.....	64

Lời nói đầu

TCVN 10687-21:2018 hoàn toàn tương đương với IEC 61400-21:2008;

TCVN 10687-21:2018 do Ban kỹ thuật tiêu chuẩn Quốc gia TCVN/TC/E13 *Năng lượng tái tạo* biên soạn, Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng đề nghị, Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Bộ tiêu chuẩn TCVN 10687 (IEC 61400) gồm các phần sau:

- 1) TCVN 10687-1:2015 (IEC 61400-1:2014), Tuabin gió – Phần 1: Yêu cầu thiết kế
- 2) TCVN 10687-21:2018 (IEC 61400-21:2008), Tuabin gió – Phần 21: Đo và đánh giá đặc tính chất lượng điện năng của tuabin gió nổi lưới
- 3) TCVN 10687-22:2018, Tuabin gió – Phần 22: Hướng dẫn thử nghiệm và chứng nhận sự phù hợp
- 4) TCVN 10687-24:2015 (IEC 61400-24:2010), Tuabin gió – Phần 24: Bảo vệ chống sét

Ngoài ra bộ tiêu chuẩn IEC 61400 còn có các tiêu chuẩn sau:

- 1) IEC 61400-2:2013, Wind turbines - Part 2: Small wind turbines
- 2) IEC 61400-3:2009, Wind turbines - Part 3: Design requirements for offshore wind turbines
- 3) IEC 61400-4:2012, Wind turbines - Part 4: Design requirements for wind turbine gearboxes
- 4) IEC 61400-11:2012, Wind turbines - Part 11: Acoustic noise measurement techniques
- 5) IEC 61400-12-1:2017, Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines
- 6) IEC 61400-12-2:2013, Wind turbines - Part 12-2: Power performance of electricity-producing wind turbines based on nacelle anemometry
- 7) IEC 61400-13:2015, Wind turbine - Part 13: Measurement of mechanical loads
- 8) IEC TS 61400-14:2005, Wind turbines - Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values
- 9) IEC 61400-23:2014, Wind turbines - Part 23: Full-scale structural testing of rotor blades TCVN 10687-1:2015

- 10) IEC 61400-25-1:2017, Wind energy generation systems - Part 25-1: Communications for monitoring and control of wind power plants - Overall description of principles and models
- 11) IEC 61400-25-2:2015, Wind turbines - Part 25-2: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information models
- 12) IEC 61400-25-3:2015, Wind turbines - Part 25-3: Communications for monitoring and control of wind power plants - Information exchange models
- 13) IEC 61400-25-4:2016, Wind energy generation systems - Part 25-4: Communications for monitoring and control of wind power plants - Mapping to communication profile
- 14) IEC 61400-25-5:2017, Wind energy generation systems - Part 25-5: Communications for monitoring and control of wind power plants - Compliance testing
- 15) IEC 61400-25-6:2016, Wind energy generation systems - Part 25-6: Communications for monitoring and control of wind power plants - Logical node classes and data classes for condition monitoring
- 16) IEC TS 61400-26-1:2011, Wind turbines - Part 26-1: Time-based availability for wind turbine generating systems
- 17) IEC TS 61400-26-2:2014, Wind turbines - Part 26-2: Production-based availability for wind turbines
- 18) IEC TS 61400-26-3:2016, Wind energy generation systems - Part 26-3: Availability for wind power stations
- 19) IEC 61400-27-1:2015, Wind turbines - Part 27-1: Electrical simulation models - Wind turbines

Lời giới thiệu

Tiêu chuẩn này đưa ra phương pháp thống nhất để đảm bảo tính nhất quán và chính xác trong việc thực hiện, thử nghiệm và đánh giá các đặc tính chất lượng điện năng của tuabin gió nổi lưới. Các đặc tính chất lượng điện năng bao gồm các quy định kỹ thuật, chất lượng điện áp (phát xạ của nháy và hài), đáp ứng khi sụt áp, điều khiển công suất (điều khiển công suất tác dụng và công suất phản kháng), bảo vệ lưới và thời gian đầu nổi lại.

Tiêu chuẩn này có thể được áp dụng bởi:

- nhà chế tạo tuabin gió nhằm đáp ứng được các đặc tính chất lượng điện năng;
- người mua tuabin gió có quy định các đặc tính chất lượng điện năng;
- người vận hành tuabin gió có thể cần xác nhận rằng đặc tính chất lượng điện năng theo yêu cầu đã được đáp ứng;
- người lập kế hoạch hoặc cơ quan quản lý có thể cần phải xác định một cách chính xác và công bằng tác động của tuabin gió lên chất lượng điện áp để đảm bảo rằng hệ thống lắp đặt được thiết kế có chất lượng điện áp yêu cầu;
- tổ chức chứng nhận tuabin gió hoặc tổ chức thử nghiệm khi đánh giá các đặc tính chất lượng điện năng của tuabin gió;
- người lập kế hoạch hoặc cơ quan quản lý mạng lưới điện có thể cần nổi lưới tuabin gió.

Tiêu chuẩn này đưa ra các khuyến cáo để đo và đánh giá các đặc tính chất lượng điện năng của tuabin gió nổi lưới. Tiêu chuẩn này mang lại lợi ích cho các bên liên quan đến việc sản xuất, lập kế hoạch lắp đặt, xin cấp phép, vận hành, sử dụng, thử nghiệm và quản lý tuabin gió. Kỹ thuật đo và phân tích được khuyến cáo trong tiêu chuẩn này cần được áp dụng bởi tất cả các bên liên quan để đảm bảo sự phát triển và vận hành liên tục của tuabin gió được nhất quán và chính xác.

Tuabin gió –

Phần 21: Đo và đánh giá đặc tính chất lượng điện năng của tuabin gió nối lưới

Wind turbines –

Part 21: Measurement and assessment of power quality characteristics of grid connected wind turbines

1 Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này bao gồm:

- định nghĩa và quy định kỹ thuật của các đại lượng cần xác định để đặc trưng cho chất lượng điện năng của tuabin gió nối lưới;
- quy trình đo để định lượng các đặc tính;
- quy trình để đánh giá sự phù hợp với các yêu cầu về chất lượng điện năng, kể cả đánh giá chất lượng điện năng kỳ vọng từ kiểu tuabin gió khi được triển khai tại vị trí lắp đặt cụ thể, có thể là trong nhóm.

Quy trình đo có hiệu lực cho một kiểu tuabin gió đơn lẻ nối lưới ba pha. Quy trình đo này có hiệu lực cho tất cả các kích cỡ của tuabin gió, mặc dù tiêu chuẩn này chỉ yêu cầu thử nghiệm và đặc trưng cho kiểu tuabin gió được thiết kế cho điểm ghép nối chung trung áp hoặc cao áp như quy định trong tiêu chuẩn này.

Các đặc tính đo được là có hiệu lực cho kết cấu cụ thể và chế độ làm việc cụ thể của một kiểu tuabin gió đã được đánh giá. Các kết cấu khác, kể cả thay đổi các thông số điều khiển dẫn đến việc tuabin gió đáp ứng khác về mặt chất lượng điện năng đòi hỏi có đánh giá riêng rẽ.

Quy trình đo cần được thiết kế sao cho càng không phụ thuộc vào vị trí càng tốt, để các đặc tính về chất lượng điện năng đo được tại vị trí thử nghiệm có thể xem là cũng có hiệu lực cho cả các vị trí khác.

Quy trình để đánh giá sự phù hợp với các yêu cầu về chất lượng điện năng là có hiệu lực đối với tuabin gió có điểm ghép nối chung trung áp hoặc cao áp trong hệ thống điện có tần số cố định trong phạm vi ± 1 Hz và khả năng điều chỉnh công suất tác dụng và công suất phản kháng đủ. Trong những

TCVN 10687-21:2018

trường hợp khác, nguyên lý để đánh giá sự phù hợp với các yêu cầu về chất lượng điện năng có thể vẫn được sử dụng làm hướng dẫn.

Tiêu chuẩn này được sử dụng để thử nghiệm tuabin gió, tuy nhiên, tiêu chuẩn này cũng có các thông tin có thể hữu ích để thử nghiệm trang trại gió.

CHÚ THÍCH: Tiêu chuẩn này sử dụng các thuật ngữ dưới đây cho điện áp hệ thống:

- hạ áp (LV) đề cập đến $U_n \leq 1$ kV;
- trung áp (MV) đề cập đến $1 \text{ kV} < U_n \leq 35$ kV;
- cao áp (HV) đề cập đến $U_n > 35$ kV.

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 7697-1 (IEC 60044-1), *Máy biến đổi đo lường – Phần 1: Máy biến dòng*

TCVN 7697-2 (IEC 60044-2), *Máy biến đổi đo lường – Phần 2: Máy biến điện áp kiểu cảm ứng*

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

IEC 60050-415, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 415: Wind turbine generator systems (Từ vựng kỹ thuật điện quốc tế – Phần 415: Tương thích điện từ)*

IEC 61000-4-2:2002, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques - General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 4-7: Kỹ thuật thử nghiệm và đo – Hướng dẫn chung về phép đo hài và hài trung gian và dụng cụ đo dùng cho hệ thống nguồn cung cấp và thiết bị được nối vào hệ thống đó)*

IEC 61000-4-15, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-15: Testing and measurement techniques - Flickermeter - Functional and design specifications (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 4-15: Kỹ thuật thử nghiệm và đo – Thiết bị đo độ nhấp – Quy định kỹ thuật về chức năng và thiết kế)*

IEC 61400-12-1, *Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines (Tuabin gió – Phần 12-1: Phép đo công suất của tuabin gió sinh ra điện năng)*

IEC 61800-3:2004, *Adjustable speed electrical power drive systems – Part 3: EMC requirements and specific test methods (Hệ thống truyền động điện có điều chỉnh tốc độ – Phần 3: Yêu cầu về EMC và phương pháp thử nghiệm riêng)*

IEC 62008, *Performance characteristics and calibration methods for digital data acquisition systems and relevant software* (Đặc tính tính năng và phương pháp hiệu chuẩn dùng cho hệ thống thu thập dữ liệu và phần mềm liên quan)

3 Thuật ngữ và định nghĩa

Tiêu chuẩn này áp dụng các thuật ngữ và định nghĩa dưới đây.

3.1

Vận hành liên tục (đối với tuabin gió) (continuous operation (for wind turbines))

Vận hành bình thường của tuabin gió không bao gồm khởi động và dừng.

3.2

Tốc độ gió đóng mạch (đối với tuabin gió) (cut-in wind speed (for wind turbines))

Tốc độ gió thấp nhất ở độ cao hub mà tại đó tuabin gió bắt đầu phát điện.

[IEV 415-03-05]

3.3

Hệ số nháy trong quá trình vận hành liên tục (đối với tuabin gió) (flicker coefficient for continuous operation (for wind turbines))

Đại lượng chuẩn hóa phát xạ nháy trong quá trình vận hành liên tục của tuabin gió:

$$c(\psi_k) = P_{st,fc} \times \frac{S_{k,fc}}{S_n}$$

trong đó:

$P_{st,fc}$ là phát xạ nháy từ tuabin gió trên lưới điện giả định;

S_n là công suất biểu kiến danh định của tuabin gió;

$S_{k,fc}$ là công suất biểu kiến ngắn mạch của lưới điện giả định.

CHÚ THÍCH: Hệ số nháy trong quá trình vận hành liên tục là giống nhau trong thời gian ngắn (10 min) và thời gian dài (2 h).

3.4

Hệ số bước nháy (đối với tuabin gió) (flicker step factor (for wind turbines))

Đại lượng chuẩn hóa phát xạ nháy do thao tác đóng cắt đơn lẻ của tuabin gió:

$$k_f(\psi_k) = \frac{1}{130} \times \frac{S_{k,fc}}{S_n} \times P_{st,fc} \times T_p^{0,31}$$

trong đó:

T_p là thời gian đo, đủ dài để đảm bảo kết thúc quá trình quá độ của thao tác đóng cắt nhưng được giới hạn để loại trừ các dao động về công suất có thể có do xoay;

$P_{st,fc}$ là phát xạ nháy từ tuabin gió trên lưới điện giả định;

TCVN 10687-21:2018

S_n là công suất biểu kiến danh định của tuabin gió;

$S_{k,fc}$ là công suất biểu kiến ngắn mạch của lưới điện giả định.

CHÚ THÍCH: Hệ số nháy $P_{st,fc}$ được đánh giá trong khoảng thời gian T_p .

3.5

Công suất đo được lớn nhất (đối với tuabin gió) (maximum measured power (for wind turbines))

Công suất (với thời gian trung bình quy định) được đo trong quá trình vận hành liên tục của tuabin gió.

3.6

Góc pha trở kháng lưới (network impedance phase angle)

Góc pha của trở kháng ngắn mạch của lưới:

$$\psi_k = \arctan(X_k/R_k)$$

trong đó

X_k điện kháng ngắn mạch lưới;

R_k điện trở ngắn mạch lưới.

3.7

Vận hành bình thường (đối với tuabin gió) (normal operation (for wind turbines))

Vận hành không có sự cố tuân theo mô tả trong hướng dẫn của tuabin gió.

3.8

Chế độ vận hành (đối với tuabin gió) (operational mode (for wind turbines))

Vận hành theo chế độ đặt điều khiển, ví dụ chế độ điều khiển điện áp, chế độ điều khiển tần số, chế độ điều khiển công suất phản kháng, chế độ điều khiển công suất tác dụng, v.v...

3.9

Công suất ra (đối với tuabin gió) (power output (for wind turbines))

Công suất tác dụng về điện được phát ra bởi tuabin gió tại các đầu nối của nó.

[IEV 415-04-02, có sửa đổi]

3.10

Điểm ghép nối chung (point of common coupling)

PCC

Điểm của mạng điện cung cấp, gần nhất về điện với một phụ tải cụ thể, tại đó các phụ tải khác được nối vào hoặc có thể được nối vào.

CHÚ THÍCH 1: Các phụ tải này có thể là cơ cấu, thiết bị hoặc hệ thống, hoặc hệ thống lắp đặt riêng của khách hàng.

CHÚ THÍCH 2: Trong một số ứng dụng, thuật ngữ "điểm ghép nối chung" chỉ giới hạn cho mạng công cộng.

[IEV 161-07-15, có sửa đổi]

3.11

Hệ thống thu gom điện năng (đối với tuabin gió) (power collection system (for wind turbines))

Hệ thống điện thu gom điện năng từ tuabin gió và cấp điện vào mạng cung cấp điện.

3.12

Công suất biểu kiến danh định (đối với tuabin gió) (rated apparent power (for wind turbines))

Công suất biểu kiến từ tuabin gió khi vận hành ở dòng điện danh định và điện áp và tần số danh nghĩa:

$$S_n = \sqrt{3}U_n I_n$$

trong đó

U_n là điện áp danh nghĩa;

I_n là dòng điện danh định.

3.13

Dòng điện danh định (đối với tuabin gió) (rated current (for wind turbines))

Dòng điện ra liên tục lớn nhất mà một tuabin gió được thiết kế để đạt được trong các điều kiện vận hành bình thường.

3.14

Công suất danh định (đối với tuabin gió) (rated power (for wind turbines))

Công suất điện phát ra liên tục lớn nhất mà một tuabin gió được thiết kế để đạt được trong các điều kiện vận hành bình thường.

[IEV 415-04-03, có sửa đổi]

3.15

Tốc độ gió danh định (đối với tuabin gió) (rated wind speed (for wind turbines))

Tốc độ gió tại đó công suất danh định của tuabin gió đạt được.

[IEV 415-03-04, có sửa đổi]

3.16

Đứng yên (đối với tuabin gió) (standstill (for wind turbines))

Trạng thái tuabin gió ngừng quay.

[IEV 415-01-15, có sửa đổi]

3.17

Khởi động (đối với tuabin gió) (start-up (for wind turbines))

Trạng thái chuyển tiếp của tuabin gió từ đứng yên đến khi phát điện.

3.18

Thao tác đóng cắt (đối với tuabin gió) (switching operation (for wind turbines))

Khởi động hoặc đóng cắt giữa các máy phát.

3.19

Cường độ luồng xoáy (turbulence intensity)

Tỷ số giữa độ lệch chuẩn của tốc độ gió và tốc độ gió trung bình, được xác định từ cùng một bộ cảm mẫu số liệu đo tốc độ gió, và thực hiện trong một khoảng thời gian quy định.

[IEV 415-03-25]

3.20

Hệ số thay đổi điện áp (đối với tuabin gió) (voltage change factor (for wind turbines))

Biện pháp chuẩn hóa sự thay đổi điện áp do thao tác đóng cắt của tuabin gió:

$$k_v(\psi_k) = \sqrt{3} \times \frac{U_{fc,max} - U_{fc,min}}{U_n} \times \frac{S_{k,fc}}{S_n}$$

trong đó

$U_{fc,min}$ và $U_{fc,max}$ là giá trị điện áp pha-trung tính hiệu dụng nhỏ nhất và lớn nhất trong một chu kỳ trong quá trình thao tác đóng cắt;

U_n là điện áp pha-pha danh nghĩa;

S_n là công suất biểu kiến danh định của tuabin gió;

$S_{k,fc}$ là công suất biểu kiến ngắn mạch của lưới điện giả định.

CHÚ THÍCH: Hệ số thay đổi điện áp k_v tương tự với k_f là tỷ số giữa dòng điện khởi động lớn nhất và dòng điện danh định nhưng k_v là hàm của góc pha trở kháng mạng. Giá trị cao nhất của k_v là số gần bằng k_f .

3.21

Tuabin gió (wind turbine)**WT**

Hệ thống chuyển đổi động năng gió thành điện năng.

3.22

Đầu nối của tuabin gió (wind turbine terminals)

Điểm là một phần của tuabin gió và được xác định bởi nhà cung cấp tuabin gió, tại đó tuabin gió có thể được nối đến hệ thống thu gom điện năng.

4 Ký hiệu và đơn vị

Tiêu chuẩn này sử dụng các ký hiệu và đơn vị dưới đây.

$\frac{\Delta U_{\Delta m}}{U_n}$ sự thay đổi điện áp lớn nhất cho phép (%)

ψ_k góc pha trở kháng mạng (°)

$\alpha_m(t)$ góc điện của thành phần cơ bản của điện áp đo được (°)

β lũy thừa đi kèm với tổng các hài

$c(\psi_k)$	hệ số nhảy trong quá trình vận hành liên tục
d	thay đổi điện áp tương đối (%)
E_{pnl}	giới hạn phát xạ nhảy dài hạn
E_{pslf}	giới hạn phát xạ nhảy ngắn hạn
f_0	tần số lưới danh nghĩa (50 Hz hoặc 60 Hz)
$f_{m,i}$	tần số xuất hiện các giá trị hệ số nhảy trong phạm vi bin tốc độ gió thứ i
f_{over}	mức bảo vệ quá tần số
f_{under}	mức bảo vệ tần số thấp
$f_{y,i}$	tần số xuất hiện tốc độ gió trong phạm vi bin tốc độ gió thứ i
h	thứ tự hài
$I_{h,i}$	dòng điện méo hài thứ tự h của tuabin gió thứ i (A)
$i_m(t)$	dòng điện tức thời đo được (A)
I_n	dòng điện danh định (A)
$k_f(\psi_k)$	hệ số bước nhảy
k_i	tỷ số giữa dòng điện khởi động lớn nhất và dòng điện danh định
$k_u(\psi_k)$	hệ số thay đổi điện áp
L_{dc}	điện cảm của lưới điện giả định (H)
N_{10m}	số lớn nhất của một kiểu thao tác đóng cắt trong khoảng thời gian 10 min.
N_{120m}	số lớn nhất của một kiểu thao tác đóng cắt trong khoảng thời gian 120 min.
N_{bin}	tổng số bin tuabin gió giữa v_{cut-in} và 15 m/s
n_i	tỷ số máy biến áp tại tuabin gió thứ i
N_m	tổng số các giá trị hệ số nhảy đo được
$N_{m,i}$	số các giá trị hệ số nhảy đo được trong phạm vi bin tốc độ gió thứ i
$N_{m,1cx}$	số các giá trị hệ số nhảy nhỏ hơn x trong phạm vi bin tốc độ gió thứ i
N_{wt}	số tuabin gió
P	công suất tác dụng (W)
$P_{0,2}$	công suất tác dụng đo được lớn nhất (giá trị trung bình 0,2 s) (W)
P_{60}	công suất tác dụng đo được lớn nhất (giá trị trung bình 60 s) (W)
P_{600}	công suất tác dụng đo được lớn nhất (giá trị trung bình 600 s) (W)
P_s	hệ số nhiễu do nhảy dài hạn
P_n	công suất tác dụng danh định của tuabin gió (W)
$Pr(c<x)$	phân bố tích lũy của c

TCVN 10687-21:2018

P_{st}	hệ số nhiễu ngắn hạn do nhảy
$P_{st,fc}$	hệ số nhiễu ngắn hạn do nhảy của lưới điện giả định
Q	công suất phản kháng (var)
R_{fc}	điện trở lưới điện giả định (Ω)
S_k	công suất ngắn mạch biểu kiến của lưới (VA)
$S_{k,fc}$	công suất ngắn mạch biểu kiến của lưới điện giả định (VA)
S_n	công suất danh định biểu kiến của tuabin gió (VA)
THC	méo dòng điện hài tổng (% của I_n)
T_p	giai đoạn quá độ của thao tác đóng cắt (s)
U	điện áp pha-pha (V)
$u_n(t)$	điện áp pha-trung tính tức thời của nguồn điện áp lý tưởng (V)
$u_{fc}(t)$	điện áp pha-trung tính tức thời mô phỏng của lưới điện giả định (V)
$U_{fc,max}$	điện áp pha-trung tính lớn nhất của lưới điện giả định (V)
$U_{fc,min}$	điện áp pha-trung tính nhỏ nhất của lưới điện giả định (V)
U_n	điện áp pha-pha danh nghĩa (V)
U_{under}	mức bảo vệ điện áp thấp
U_{over}	mức bảo vệ quá điện áp
v_a	tốc độ gió trung bình hàng năm (m/s)
v_{cut-in}	tốc độ gió đóng mạch (m/s)
v_i	điểm giữa của bin tốc độ gió thứ i (m/s)
w_i	hệ số gia trọng đối với bin tốc độ gió thứ i
X_{fc}	điện kháng của lưới điện giả định (Ω)
Z_1	trở kháng để giới hạn ảnh hưởng của ngắn mạch về phía lưới (Ω)
Z_2	trở kháng giữa các pha hoặc đất trong khi ngắn mạch (Ω)

5 Chữ viết tắt

Tiêu chuẩn này sử dụng các chữ viết tắt dưới đây.

Bộ chuyển đổi A/D	bộ chuyển đổi analog/digital
DFT	chuyển đổi Fourier rời rạc
HV	cao áp
LV	hạ áp
MV	trung áp
PCC	điểm ghép nối chung

RMS	giá trị hiệu dụng
SCADA	hệ thống điều khiển giám sát và thu thập dữ liệu
THC	méo dòng điện hài tổng
WT	tuabin gió

6 Thông số đặc trưng về chất lượng điện năng của tuabin gió

6.1 Quy định chung

Điều này đưa ra các đại lượng phải được công bố để đặc trưng về chất lượng điện năng của tuabin gió, tức là các quy định kỹ thuật của tuabin gió (6.2), chất lượng điện áp (6.3 đến 6.4), đáp ứng khi sụt áp (6.5), điều khiển công suất (6.6 đến 6.7), bảo vệ và đấu nối lại lưới (6.8 đến 6.9). Phụ lục A đưa ra ví dụ về biểu mẫu báo cáo.

Phải sử dụng máy phát có quy ước dấu, tức là chiều dương của luồng công suất được xác định là từ máy phát đến lưới. Nếu tuabin gió được thay bằng một điện trở và cuộn cảm thì công suất tác dụng và công suất phản kháng là âm.

6.2 Quy định kỹ thuật của tuabin gió

Dữ liệu danh định của tuabin gió (đo tại các đầu nối của tuabin gió) phải được quy định, bao gồm P_n , S_n , U_n và I_n .

CHÚ THÍCH: Dữ liệu danh định chỉ dùng để chuẩn hóa cho tiêu chuẩn này.

6.3 Dao động điện áp

6.3.1 Quy định chung

Các dao động điện áp (nhảy và thay đổi điện áp) do tuabin gió gây ra phải được đặc trưng hóa như mô tả ở 6.3.2 và 6.3.3.

6.3.2 Vận hành liên tục

Hệ số nhảy của tuabin gió trong vận hành liên tục, $c(\psi_k, v_k)$ được chỉ ra là phân vị thứ 99 đối với góc pha trở kháng mạng $\psi_k = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$ và 85° trong Bảng đối với bốn phân bố tốc độ gió khác nhau với tốc độ gió trung bình hàng năm $v_k = 6 \text{ m/s}, 7,5 \text{ m/s}, 8,5 \text{ m/s}$ và 10 m/s tương ứng. Các giá trị trung bình trong 10 min của tốc độ gió giả thiết được phân bố Rayleigh (xem Chú thích). Tốc độ gió trung bình hàng năm đo tại độ cao hub của tuabin gió.

Các đặc tính này phải được quy định cho tuabin gió vận hành với công suất phản kháng gần "0" nhất có thể, tức là, nếu thuộc đối tượng áp dụng, bộ điều khiển có chế độ đặt theo điểm công suất phản kháng phải được đặt về $Q=0$. Nếu sử dụng chế độ vận hành khác thì điều này phải được công bố rõ ràng.

TCVN 10687-21:2018

CHÚ THÍCH: Phân bố Rayleigh là phân bố xác suất thường phù hợp với phân bố tốc độ gió hàng năm. Phân bố Rayleigh được mô tả bởi:

$$F(v) = 1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4}\left(\frac{v}{v_B}\right)^2\right)$$

trong đó

$F(v)$ là hàm phân bố xác suất tích lũy Rayleigh đối với tốc độ gió;

v_B là tốc độ gió trung bình hàng năm tại độ cao hub;

v là tốc độ gió.

6.3.3 Thao tác đóng cắt

Các đặc tính này phải được quy định cho các kiểu thao tác đóng cắt sau:

- Tuabin gió khởi động ở tốc độ gió đóng mạch.
- Tuabin gió khởi động ở tốc độ gió danh định hoặc tốc độ gió cao hơn.
- Trường hợp đóng cắt xấu nhất giữa các máy phát (chỉ áp dụng cho tuabin gió có nhiều hơn một máy phát hoặc máy phát có nhiều cuộn dây). Xem thêm Chú thích 1.

Đối với từng kiểu thao tác đóng cắt trên, phải nêu các giá trị của thông số dưới đây (xem thêm Chú thích 2 và Chú thích 3):

- Số thao tác đóng cắt tối đa N_{10m} trong thời gian 10 min.
- Số thao tác đóng cắt tối đa N_{120m} trong thời gian 2 h.
- Hệ số bước nhảy $k_r(\psi_k)$ đối với góc pha trở kháng mạng $\psi_k = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$ và 85° .
- Hệ số thay đổi điện áp $k_u(\psi_k)$ đối với góc pha trở kháng mạng $\psi_k = 30^\circ, 50^\circ, 70^\circ$ và 85° .

Các đặc tính này phải được quy định cho tuabin gió vận hành với công suất phản kháng gần "0" nhất có thể, tức là, nếu thuộc đối tượng áp dụng, bộ điều khiển có chế độ đặt theo điểm công suất phản kháng phải được đặt về $Q=0$. Nếu sử dụng chế độ vận hành khác thì điều này phải được công bố rõ ràng.

CHÚ THÍCH 1: Trường hợp đóng cắt xấu nhất giữa các máy phát là trong trường hợp hệ số bước nhảy được xác định như thao tác đóng cắt cho hệ số bước nhảy cao nhất và trong trường hợp hệ số thay đổi điện áp được xác định như thao tác đóng cắt cho hệ số thay đổi điện áp cao nhất.

CHÚ THÍCH 2: Thông số N_{10m} và N_{120m} có thể dựa trên thông tin của nhà chế tạo, trong khi $k_r(\psi_k)$ và $k_u(\psi_k)$ cần được đo và tính.

CHÚ THÍCH 3: Tùy thuộc vào hệ thống điều khiển của tuabin gió, số thao tác đóng cắt tối đa trong 2 h có thể nhỏ hơn 12 lần số thao tác đóng cắt tối đa trong 10 min.

6.4 Hải dòng điện, hải trung gian và thành phần tần số cao hơn

Phát xạ hải dòng điện, hải trung gian và thành phần tần số cao hơn trong quá trình vận hành liên tục phải được đưa ra (xem chú thích).

Giá trị của các thành phần dòng điện riêng rẽ (hải, hải trung gian và thành phần tần số cao hơn) và méo hải dòng điện tổng phải được nêu trong các bảng, tính bằng phần trăm của I_n và cho vận hành của tuabin gió trong phạm vi bin công suất tác dụng 0, 10, 20, ..., 100 % P_n . 0, 10, 20, ..., 100 % là các điểm giữa bin.

Các thành phần dòng điện hải riêng rẽ phải được xác định như các giá trị được phân nhóm nhỏ đối với tần số đến 50 lần tần số lưới cơ bản và méo hải dòng điện tổng phải được suy ra từ các giá trị này.

Các thành phần dòng điện tần số cao hơn phải được xác định như các giá trị được phân nhóm nhỏ đối với tần số từ 2 kHz đến 9 kHz theo Phụ lục B của IEC 61000-4-7:2002.

Hải dòng điện, hải trung gian và thành phần tần số cao hơn phải được quy định cho tuabin gió vận hành với công suất phản kháng gần "0" nhất có thể, tức là, nếu thuộc đối tượng áp dụng, bộ điều khiển có chế độ đặt theo điểm công suất phản kháng phải được đặt về Q=0. Nếu sử dụng chế độ vận hành khác thì điều này phải được công bố rõ ràng.







CHÚ THÍCH: Các hải được xem là không có hại với điều kiện là thời gian này được giới hạn trong thời gian ngắn. Vì vậy, tiêu chuẩn này không yêu cầu quy định kỹ thuật của hải trong thời gian ngắn gây ra bởi tuabin gió khi khởi động hoặc bởi các thao tác đóng cắt khác.

6.5 Đáp ứng khi sụt áp

Đáp ứng của tuabin gió khi sụt áp được quy định trong Bảng 1 phải được đưa ra cho tuabin gió vận hành ở a) 0,1 P_n đến 0,3 P_n và b) lớn hơn 0,9 P_n . Đáp ứng đưa ra phải bao gồm kết quả của 2 lần thử nghiệm liên tiếp của từng trường hợp (VD1-VD6) theo chuỗi thời gian của công suất tác dụng, công suất phản kháng, dòng điện tác dụng, dòng điện phản kháng và điện áp trên các đầu nối của tuabin gió trong thời gian ngay trước khi sụt áp và cho đến khi không còn ảnh hưởng của sụt áp và cũng cần xác định chế độ vận hành của tuabin gió.

Về cơ bản, thử nghiệm để xác nhận đáp ứng của tuabin gió khi sụt áp (do sự cố lưới) và cung cấp cơ sở để đánh giá hiệu lực mô hình mô phỏng số của tuabin gió. Các thử nghiệm và phép đo tùy chọn (ví dụ góc xoay và tốc độ quay) có thể được thực hiện và ghi vào báo cáo để đánh giá chi tiết hơn về các mô hình mô phỏng và đánh giá sự phù hợp với các yêu cầu quy định cho lưới cụ thể.

Bảng 1 – Quy định kỹ thuật về sụt áp. Độ lớn, thời gian và hình dạng quy định về sụt áp xảy ra khi tuabin gió cần thử nghiệm không được nối lưới.

Trường hợp	Độ lớn của điện áp pha-pha (tỷ lệ với điện áp ngay trước khi xảy ra sụt áp)	Độ lớn của điện áp thứ tự thuận (tỷ lệ với điện áp ngay trước khi xảy ra sụt áp)	Thời gian (s)	Hình dạng
VD1 – sụt áp ba pha đối xứng	$0,90 \pm 0,05$	$0,90 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,02$	
VD2 – sụt áp ba pha đối xứng	$0,50 \pm 0,05$	$0,50 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,02$	
VD3 – sụt áp ba pha đối xứng	$0,20 \pm 0,05$	$0,20 \pm 0,05$	$0,2 \pm 0,02$	
VD4 – sụt áp hai pha	$0,90 \pm 0,05$	$0,95 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,02$	
VD5 – sụt áp hai pha	$0,50 \pm 0,05$	$0,75 \pm 0,05$	$0,5 \pm 0,02$	
VD6 – sụt áp hai pha	$0,20 \pm 0,05$	$0,60 \pm 0,05$	$0,2 \pm 0,02$	

CHÚ THÍCH 1: Sụt áp có thể làm tuabin gió tác động bất vi nhiều lý do, không chỉ liên quan đến truyền động điện mà còn do rung cơ học hoặc hệ thống phụ trợ. Do đó, cần thử nghiệm trên tuabin gió hoàn chỉnh mà không chỉ thử nghiệm riêng hệ thống truyền động.

CHÚ THÍCH 2: Mục đích của VD1 và VD4 về cơ bản để thử nghiệm tuabin gió không có khả năng vượt qua bất kỳ sự sụt áp sâu nào và các thử nghiệm nói chung là cơ sở để đánh giá hiệu lực của mô hình mô phỏng số.

6.6 Công suất tác dụng

6.6.1 Công suất đo được lớn nhất

Công suất đo được lớn nhất của tuabin gió được quy định là giá trị trung bình trong 600 s, P_{600} , giá trị trung bình trong 60 s, P_{60} và giá trị trung bình trong 0,2 s, $P_{0,2}$.

6.6.2 Giới hạn tốc độ thay đổi công suất

Khả năng của tuabin gió vận hành ở chế độ điều khiển giới hạn tốc độ thay đổi công suất phải được đặc trưng hóa bằng các kết quả thử nghiệm thể hiện bằng đồ thị. Đồ thị này phải thể hiện công suất ra tác dụng khả dụng và đo được ở giá trị tốc độ thay đổi bằng 10 % công suất danh định trong một phút trong thời gian thử nghiệm là 10 min.

Kết quả thử nghiệm phải được ghi trong báo cáo là dữ liệu trung bình 0,2 s.

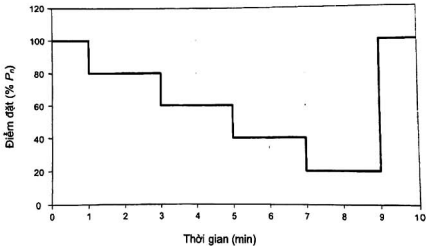
6.6.3 Điều khiển điểm đặt

Khả năng của tuabin gió vận hành ở chế độ điều khiển điểm đặt công suất tác dụng phải được đặc trưng bởi các kết quả thử nghiệm được thể hiện bằng đồ thị. Đồ thị này phải thể hiện công suất ra tác dụng khả dụng và đo được trong quá trình vận hành ở các giá trị điểm đặt được điều chỉnh từ 100 %

xuống 20 % công suất danh định theo các bước 20 % khi vận hành trong 2 min ở từng giá trị điểm đặt, tức là theo Hình 1.

Kết quả thử nghiệm phải được ghi trong báo cáo là dữ liệu trung bình 0,2 s.

CHÚ THÍCH: Khả năng của tuabin gió ở phương thức điều khiển tần số tự động liên kết chặt chẽ với khả năng của nó khi vận hành ở chế độ điều khiển điểm đặt công suất tác dụng. Việc tham gia vào việc điều khiển tần số tự động có thể đạt được, ví dụ như thông qua hệ thống SCADA của trang trại gió hiện đại, có thể cập nhật liên tục điểm đặt công suất tác dụng của các tuabin gió riêng rẽ để đạt được đáp tuyến tần số yêu cầu.



Hình 1 – Điều chỉnh điểm đặt công suất tác dụng

6.7 Công suất phản kháng

6.7.1 Dung lượng công suất phản kháng

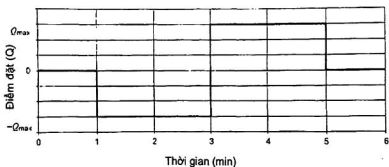
Dung lượng của tuabin gió liên quan đến công suất phản kháng cảm kháng lớn nhất và công suất phản kháng dung kháng lớn nhất của tuabin gió được quy định trong Bảng là các giá trị trung bình trong 1 min là hàm của công suất ra trung bình trong 1 min ở 0, 10, ...90, 100 % công suất danh định.

6.7.2 Điều khiển điểm đặt

Việc điều khiển điểm đặt công suất tác dụng phải được mô tả bằng bảng và đồ thị như dưới đây.

- Bảng thể hiện công suất phản kháng đo được tại giá trị điểm đặt phản kháng = 0 khi vận hành ở 0, 10, ...90, 100 % công suất ra tác dụng.
- Công suất tác dụng và công suất phản kháng phải là các giá trị trung bình trong 1 min.

Đồ thị phải thể hiện công suất phản kháng đo được trong quá trình thay đổi theo bước điểm đặt công suất phản kháng như quy định ở Hình 2. Công suất ra tác dụng, đo được là các giá trị trung bình trong 1 min phải xấp xỉ 50 % công suất danh định. Công suất phản kháng phải là dữ liệu trung bình trong 0,2 s.



Hình 2 – Điều chỉnh điểm đặt công suất phản kháng

CHÚ THÍCH: Khả năng của tuabin gió ở phương thức điều khiển điện áp tự động liên kết chặt chẽ với khả năng của nó khi vận hành ở chế độ điều khiển điểm đặt công suất phản kháng. Việc tham gia vào việc điều khiển điện áp tự động có thể đạt được, ví dụ như thông qua hệ thống SCADA của trang trại gió hiện đại, có thể cập nhật liên tục điểm đặt công suất phản kháng của các tuabin gió riêng rẽ để đạt được đáp tuyến điện áp yêu cầu.

6.8 Bảo vệ lưới

Chức năng của hệ thống bảo vệ lưới của tuabin gió được thử nghiệm. Với các chế độ đặt cho trước về mức ngắt đầu nối và thời gian ngắt đầu nối, các mức ngắt đầu nối thực tế và thời gian ngắt đầu nối của tuabin gió phải được xác định đối với quá điện áp và điện áp thấp và quá tần số và tần số thấp.

Mức ngắt đầu nối là điện áp hoặc tần số làm tuabin gió bị ngắt đầu nối.

Thời gian ngắt đầu nối là khoảng thời gian từ khi bắt đầu dướiquá điện áp hoặc tần số cho đến khi tuabin gió đã ngắt đầu nối.

6.9 Thời gian đầu nối lại

Thời gian đầu nối lại sau khi tuabin gió đã ngắt đầu nối do sự cố lưới phải được mô tả bởi các kết quả thử nghiệm thể hiện trong Bảng. Bảng này phải thể hiện thời gian đầu nối lại sau khi lưới gặp sự cố trong 10 s, 1 min và 10 min, tương ứng. Thời gian đầu nối lại là thời gian từ lúc lưới sẵn sàng làm việc trên các đầu nối của tuabin gió đến thời điểm khi tuabin gió bắt đầu tạo ra điện năng.

7 Quy trình thử nghiệm

7.1 Yêu cầu chung

Điều này đưa ra các thông tin chung về hiệu lực của các phép đo, điều kiện và thiết bị thử nghiệm yêu cầu. Điều 7.2 đến 7.9 quy định các phép đo yêu cầu cần thực hiện để xác định các thông số chất lượng điện năng đặc trưng của tuabin gió cần đánh giá, tức là quy định kỹ thuật của tuabin gió (7.2), chất lượng điện áp (7.3 đến 7.4), đáp ứng khi sụt áp (7.5), điều khiển công suất (7.6 đến 7.7), bảo vệ lưới và đầu nối lại (7.8 đến 7.9).

Quy trình đo có hiệu lực đối với một tuabin gió đơn lẻ đầu nổi lưới ba pha.

Nói chung, các phép đo nhằm kiểm tra xác nhận các thông số chất lượng điện năng đặc trưng trong toàn dải vận hành của tuabin gió cần đánh giá. Tuy nhiên, không yêu cầu đo với tốc độ gió lớn hơn 15 m/s (xem Chú thích 1). Điều này là vì các phép đo yêu cầu ở tốc độ gió cao thường cần thời gian đo dài hơn đáng kể do tốc độ gió cao hiếm khi xuất hiện và việc kiểm tra xác nhận các thông số chất lượng điện năng đặc trưng của tuabin gió cần đánh giá cũng không được kỳ vọng sẽ cho kết quả tốt hơn đáng kể. Xem thêm Chú thích 2.

CHÚ THÍCH 1: Nếu các phép đo được lấy với tốc độ gió lớn hơn 15 m/s thì chúng được bỏ qua. Tuy nhiên, nếu đưa vào các phép đo này thì dải tốc độ gió áp dụng cần được nêu trong báo cáo thử nghiệm.

CHÚ THÍCH 2: Việc đưa vào các phép đo với tốc độ gió lớn hơn 15m/s có thể cải thiện độ chính xác của hệ số nháy đã xác định và đối với một thiết kế tuabin gió nào đó sẽ cho công suất tối đa đo được lớn hơn (trung bình trong 0,2 s). Tuy nhiên, để cân bằng giữa chi phí và độ chính xác, không yêu cầu đưa vào các phép đo với tốc độ gió lớn hơn 15m/s. Nếu đưa vào các phép đo với tốc độ gió lớn hơn 15 m/s thì việc này sẽ cải thiện tính tin cậy của các kết quả theo quy trình ở 8.2 đối với vị trí có tốc độ gió cao hơn. Xem thêm Chú thích 5 ở 7.3.3.

7.1.1 Hiệu lực của thử nghiệm

Các đặc tính đo được là có hiệu lực đối với một kết cấu cụ thể của một kiểu tuabin gió được đánh giá. Các kết cấu khác, kể cả các thông số điều khiển được thay đổi, làm cho tuabin gió đáp ứng khác về mặt chất lượng điện năng, đòi hỏi đánh giá riêng rẽ. Việc đánh giá này có thể thực hiện bằng cách mô phỏng.

Một số thiết kế tuabin gió bao gồm biến áp lắp sẵn. Phải thực hiện các phép đo đặc tính điện tại các đầu nối của tuabin gió. Để xác định các đầu nối của tuabin gió ở phía điện áp thấp hay điện áp cao là phụ thuộc vào nhà cung cấp tuabin gió. Việc thay đổi của biến áp từ điện áp ra này sang điện áp khác không mong muốn tuabin gió đáp ứng khác về mặt chất lượng điện năng. Vì vậy, không cần phải đánh giá riêng rẽ nếu điện áp ra của biến áp thay đổi, trừ khi điện áp và dòng điện danh định được cập nhật.

Vị trí của các đầu nối của tuabin gió (là điểm đo) và kết cấu cụ thể của tuabin gió cần đánh giá kể cả các chế độ đặt thông số điều khiển liên quan phải được nêu rõ ràng trong báo cáo thử nghiệm (Phụ lục A).

Việc lựa chọn các thử nghiệm bất kỳ có thể được thực hiện và báo cáo riêng rẽ, ví dụ chất lượng điện áp (7.3 đến 7.4), điều khiển công suất (7.6 đến 7.7) và đáp ứng khi sụt áp (7.5).

7.1.2 Điều kiện thử nghiệm

Các điều kiện thử nghiệm dưới đây được yêu cầu và phải được đo và ghi vào báo cáo như một phần của quy trình thử nghiệm (xem Chú thích 1). Tất cả các dữ liệu thử nghiệm đo được trong các giai đoạn không phù hợp với điều kiện thử nghiệm đã cho phải được loại trừ.

- Tuabin gió được nối trực tiếp vào mạng trung áp thông qua một máy biến áp tiêu chuẩn có công suất biểu kiến danh định ít nhất là tương ứng với công suất biểu kiến danh định của tuabin gió cần đánh giá.
- Méo hài điện áp tổng bao gồm tất cả các hài có thứ tự đến 50 phải nhỏ hơn 5 %, được đo với dữ liệu trung bình trong 10 min tại các đầu nối của tuabin gió trong khi tuabin gió không khởi động. Méo hài điện áp tổng có thể được xác định bằng các phép đo trước khi thử nghiệm tuabin gió.
- Tần số lưới đo được với dữ liệu trung bình 0,2 s phải nằm trong phạm vi ± 1 % tần số danh nghĩa, và tốc độ thay đổi tần số lưới với dữ liệu trung bình 0,2 s phải nhỏ hơn 0,2 % tần số danh nghĩa trong 0,2 s. Nếu tần số lưới đã biết là rất ổn định và tốt trong phạm vi các yêu cầu nói trên, thường là trường hợp hệ thống điện kết nối lớn, thì điều này không cần đánh giá thêm. Nếu không thì phải đo tần số lưới trong khi thử nghiệm.
- Điện áp phải nằm trong phạm vi ± 10 % giá trị danh nghĩa đo được với dữ liệu trung bình 10 min ở các đầu nối của tuabin gió.
- Hệ số không cân bằng điện áp phải nhỏ hơn 2 % khi đo với dữ liệu trung bình 10 min ở các đầu nối của tuabin gió. Hệ số không cân bằng điện áp có thể xác định như mô tả ở Điều B.3 của IEC 61800-3:2004. Nếu hệ số không cân bằng điện áp được biết là tốt trong phạm vi các yêu cầu nói trên thì điều này không cần đánh giá thêm. Nếu không thì phải đo hệ số này trong khi thử nghiệm.
- Điều kiện môi trường phải phù hợp với các yêu cầu của nhà chế tạo đối với các dụng cụ đo và tuabin gió. Thông thường, không yêu cầu các đo trực tiếp các điều kiện môi trường mặc dù các điều kiện này được quy định là một phần của báo cáo thử nghiệm. Xem Chú thích 2.

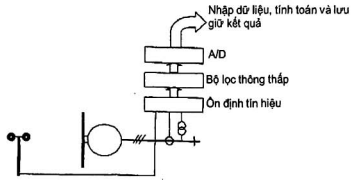
Các thử nghiệm có thể được chuẩn bị với cường độ luồng xoáy và tỷ số ngắn mạch bất kỳ nhưng các điều kiện này (cường độ luồng xoáy trung bình, công suất biểu kiến ngắn mạch và góc pha trừ kháng mạng) phải được nêu trong báo cáo/chứng chỉ thử nghiệm. Cường độ luồng xoáy được đưa ra bằng việc nhận biết theo cung quét của các chướng ngại vật và sự biến đổi của địa hình hoặc dựa vào phép đo tốc độ gió.

CHÚ THÍCH 1: Các điều kiện cụ thể được yêu cầu để có được kết quả thử nghiệm đáng tin cậy nhưng không được xem là các điều kiện đáng tin cậy cho việc nối lưới và vận hành của tuabin gió.

CHÚ THÍCH 2: Công suất đo được lớn nhất đối với một số thiết kế tuabin gió ở một chừng mực nào đó có thể phụ thuộc vào mật độ không khí. Vì vậy, công suất đo được lớn nhất được xác định theo quy trình ở 7.6.1 và đo ở vị trí có mật độ không khí thấp có thể nhỏ hơn ở vị trí có mật độ không khí cao hơn. Tuy nhiên, nhận thấy rằng độ không đảm bảo đo do không xác định dải mật độ không khí giới hạn không thể cân bằng chi phí cho thiết bị bổ sung và quy trình đi kèm với nó.

7.1.3 Thiết bị thử nghiệm

Mô tả về các phép đo giá thiết áp dụng hệ thống tiếp nhận dữ liệu digital có các phần tử như minh họa trên Hình 3.



Hình 3 – Các phần tử giả thiết của hệ thống đo

Thiết bị đo gió, bộ chuyển đổi điện áp (máy biến điện áp) và bộ chuyển đổi dòng điện (máy biến dòng) là các cảm biến yêu cầu của hệ thống đo. Cần ổn định tín hiệu để nối chúng vào bộ lọc thông thấp để ngăn ngừa sai số lấy mẫu. Việc chuyển đổi từ analog sang digital (A/D) tối thiểu phải là phân giải 12 bit để duy trì độ chính xác yêu cầu của phép đo. Xem Bảng 2 về quy định kỹ thuật về độ chính xác của thiết bị.

Bảng 2 – Quy định kỹ thuật về yêu cầu đối với thiết bị đo

Thiết bị	Độ chính xác yêu cầu	Phù hợp với tiêu chuẩn
Máy biến điện áp	Cấp 1,0	TCVN 7697-2 (IEC 60044-2)
Máy biến dòng	Cấp 1,0	TCVN 7697-1 (IEC 60044-1)
Thiết bị đo gió	$\pm 0,5$ m/s	IEC 61400-12-1 (hướng dẫn)
Bộ lọc + bộ chuyển đổi A/D + hệ thống tiếp nhận dữ liệu	1 % toàn thang đo	IEC 62008

Hệ thống tiếp nhận dữ liệu digital được giả thiết là các kết quả loga, tính toán và lưu giữ như quy định ở các điều khoản tiếp theo. Hướng dẫn chung để tính điện áp hiệu dụng, công suất tác dụng và công suất phản kháng trong hệ thống như minh họa trên Hình 3 được nêu ở Phụ lục C. Điều này yêu cầu tốc độ lấy mẫu tối thiểu là 2 kHz trên một kênh tín hiệu điện áp và dòng điện. Để đo các hài (thành phần tần số cao hơn), tốc độ lấy mẫu tối thiểu phải ít nhất là 20 kHz trên một kênh.

Tín hiệu tốc độ gió phải được lấy mẫu với ít nhất 1 Hz.

Lý tưởng là, đặt thiết bị đo gió ở độ cao hub tại vị trí không bị ảnh hưởng bởi hiệu ứng tác động tuabin gió hoặc luồng rẽ khí từ tuabin gió để đo tốc độ gió. Vị trí 2,5 lần đường kính rôto hướng lên nơi chung sẽ xác định tốt. Một cách khác, tốc độ gió ở độ cao hub có thể được ước tính từ số đo ở mức thấp hơn hoặc từ việc hiệu chỉnh số đo tốc độ gió ngoài vỏ cùng với số đo công suất và hiểu biết về đường cong công suất. Với cả hai cách này, độ không đảm bảo đo do vị trí của thiết bị đo gió không được quá ± 1 m/s.

7.2 Quy định kỹ thuật của tuabin gió

Dựa trên thông tin của nhà chế tạo, quy định kỹ thuật của tuabin gió như nêu ở 6.2 phải được chỉ ra.

7.3 Dao động điện áp

7.3.1 Quy định chung

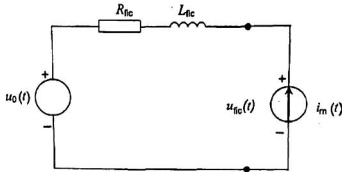
Như nêu ở 7.1.2, tuabin gió cần thử nghiệm phải được nối vào mạng trung áp. Mạng trung áp thường có các tải dao động khác có thể gây ra dao động điện áp đáng kể tại các đầu nối của tuabin gió nơi thực hiện các phép đo. Ngoài ra, dao động điện áp do tuabin gió gây ra phụ thuộc vào các đặc điểm của lưới. Tuy nhiên, mục đích là để đạt được các kết quả thử nghiệm phụ thuộc vào các điều kiện lưới tại vị trí thử nghiệm. Để hoàn thành điều này, tiêu chuẩn này quy định phương pháp sử dụng đồ thị chuỗi thời gian dòng điện và điện áp được đo tại các đầu nối của tuabin gió để mô phỏng dao động điện áp trên lưới điện giả định với nguồn điện áp không dao động mà không phải là tuabin gió (xem Chú thích).

Ứng dụng của lưới điện giả định được mô tả rõ hơn ở 7.3.1. Quy trình đo dao động điện áp được tách thành các quy trình vận hành liên tục (xem 7.3.3) và thao tác đóng cắt (xem 7.3.4). Việc tách riêng này phản ánh sự phát xạ nháy từ một tuabin gió có đặc tính nhiễu ngẫu nhiên trong khi vận hành liên tục, trong khi đó, phát xạ nháy và sự thay đổi điện áp trong các thao tác đóng cắt có đặc tính của nhiễu sự kiện giới hạn về thời gian, không trùng nhau.

CHÚ THÍCH: Mặc dù phương pháp quy định để mô phỏng dao động điện áp trên lưới điện giả định tránh được ảnh hưởng trực tiếp của dao động điện áp thực của lưới tại điểm đo nháy nhưng vẫn có thể có ảnh hưởng của các dao động điện áp này, đặt lên bởi các nguồn khác, lên dòng điện được đo từ tuabin gió. Việc này, đến lượt nó có thể ảnh hưởng đến các dao động điện áp được mô phỏng trên lưới điện giả định. Tuy nhiên, ảnh hưởng này tương đối nhỏ và không làm thay đổi quy trình để xác định hệ số nháy.

7.3.2 Lưới điện giả định

Sơ đồ pha của lưới điện giả định được thể hiện trên Hình 4.



Hình 4 – Lưới điện giả định dùng để mô phỏng điện áp giả

Lưới điện giả định được thể hiện bởi nguồn điện áp pha-trung tính lý tưởng với giá trị tức thời $u_o(t)$ và trở kháng lưới được cho là điện trở R_{nlc} nối tiếp với điện cảm L_{nlc} . Tuabin gió được thể hiện bằng máy phát dòng $i_m(t)$, là giá trị tức thời đo được của dòng điện pha. Mô hình đơn giản này cho điện áp mô phỏng với giá trị tức thời $u_{nlc}(t)$ theo công thức (1):

$$u_{nlc}(t) = u_o(t) + R_{nlc} \times i_m(t) + L_{nlc} \times \frac{di_m(t)}{dt} \quad (1)$$

Nguồn điện áp lý tưởng $u_o(t)$ có thể phát ra theo các cách khác nhau. Nhưng hai đặc tính của điện áp lý tưởng phải được thỏa mãn:

- điện áp lý tưởng không có bất kỳ dao động nào, tức là nháy điện áp bằng "0";
- $u_o(t)$ phải có cùng góc điện $\alpha_m(t)$ là hàm của điện áp đo được. Việc này đảm bảo góc pha giữa $u_{nlc}(t)$ và $i_m(t)$ là đúng, với điều kiện là $|u_{nlc}(t) - u_o(t)| \ll |u_o(t)|$.

Để thỏa mãn các đặc tính này, $u_o(t)$ được xác định là:

$$u_o(t) = \sqrt{\frac{2}{3}} \times U_n \times \sin(\alpha_m(t)) \quad (2)$$

trong đó U_n là giá trị hiệu dụng của điện áp danh nghĩa của lưới.

Góc điện của của điện áp đo được có thể được mô tả bởi công thức (3).

$$\alpha_m(t) = 2\pi \times \int_0^t f(t) dt + \alpha_0 \quad (3)$$

trong đó

$f(t)$ là tần số (có thể thay đổi theo thời gian)

t là thời gian tính từ khi bắt đầu chuỗi thời gian;

α_0 là góc điện tại $t = 0$.

R_{nlc} và L_{nlc} phải được chọn để đạt được góc pha trở kháng mạng ψ_k theo công thức (4) dưới đây:

$$\operatorname{tg}(\varphi_k) = \frac{2\pi \times f_g \times L_{fc}}{R_{fc}} = \frac{X_{fc}}{R_{fc}} \quad (4)$$

trong đó, f_g là tần số lưới danh nghĩa (50 Hz hoặc 60 Hz).

Công suất biểu kiến ngắn mạch ba pha của lưới điện giả định được cho bởi công thức (5) dưới đây:

$$S_{k,fc} = \frac{U_n^2}{\sqrt{R_{fc}^2 + X_{fc}^2}} \quad (5)$$

Tỷ số ngắn mạch đúng $S_{k,fc}/S_n$ phải được sử dụng để đảm bảo rằng máy đo độ nháy hoặc dụng cụ đo đặt vào cho giá trị P_{st} nằm trong dải đo yêu cầu trong IEC 61000-4-15. Vì mục đích của quy trình được mô tả trong IEC 61000-4-15 để xác định liệu điện áp dao động cụ thể có gây nháy không nên quy trình đó không xem xét dao động điện áp nhỏ một cách rất chính xác. Dao động điện áp lớn hơn có thể thu được bằng cách giảm tỷ số ngắn mạch. Mặt khác, nếu tỷ số ngắn mạch trở nên quá nhỏ thì giá trị hiệu dụng trung bình của $u_o(t)$, sẽ ảnh hưởng đến sự thay đổi điện áp tương đối vì sự thay đổi điện áp tuyệt đối được chuẩn hóa theo giá trị trung bình khác. Để đạt được các dao động điện áp mô phỏng trong phạm vi dải đo của máy đo độ nháy, tiêu chuẩn này khuyến nghị sử dụng tỷ số ngắn mạch $S_{k,fc}/S_n$ trong phạm vi từ 20 đến 50 vì đây là trách nhiệm của đánh giá viên để chọn tỷ số thích hợp. Cũng khuyến cáo sử dụng máy phân loại mức 6 400 thay cho mức 64 được đề xuất trong IEC 61000-4-15 để có được độ phân giải tốt hơn. Độ chính xác của các giá trị P_{st} tính được cần tốt hơn 5 %.

7.3.3 Vận hành liên tục

Hệ số nháy $c(\varphi_k, \nu_k)$ phải được xác định để có thể công bố theo 6.3.2. Việc này phải được thực hiện bằng cách đo và mô phỏng.

Điều này đưa ra quy trình chi tiết, Điều B.1 đưa ra thông tin.

Phải thực hiện các phép đo dưới đây.

- Ba dòng điện pha tức thời và ba điện áp pha-trung tính tức thời phải được đo tại các đầu nối của tuabin gió. Xem thêm Chú thích 1.
- Các phép đo phải được thực hiện để ít nhất 15 chuỗi thời gian 10 min của phép đo điện áp và dòng điện tức thời (năm thử nghiệm và ba pha) được thu thập cho từng bin tốc độ gió 1 m/s giữa tốc độ gió đóng mạch và 15 m/s. Do đó, tốc độ gió được đo là giá trị trung bình trong 10 min.
- Tốc độ gió phải được đo theo 7.1.3.
- Các thao tác đóng cắt được loại trừ, ngoại trừ, ví dụ như đóng cắt tụ điện xảy ra trong khi tuabin gió vận hành liên tục.

Nháy điện áp trong khi thử nghiệm phải được ghi vào báo cáo. Nháy điện áp phải được đo tại các đầu nối của tuabin gió và theo IEC 61000-4-15. Xem thêm Chú thích ở 7.3.1.

Các phép đo được thực hiện với bố trí đo như quy định trên Hình 3 và bằng cách đặt máy biến điện áp và dòng điện và một thiết bị đo gió có quy định kỹ thuật theo Bảng 2. Tần số ngưỡng cắt của phép đo điện áp và dòng điện phải ít nhất là 400 Hz. Xem thêm Chú thích 2.

Các phép đo được xử lý để xác định hệ số nháy của tuabin gió là hàm của góc pha trở kháng mạng và phân bố tốc độ gió. Việc này phải được thực hiện bằng cách lập lại quy trình dưới đây cho từng góc pha trở kháng mạng và phân bố tốc độ gió quy định ở 6.3.2.

Đầu tiên, hệ số nháy cho từng tập hợp chuỗi thời gian điện áp-dòng điện đo được trong 10 min phải được xác định. Quy trình này được cho trong các bước từ 1) đến 3) dưới đây.

1) Chuỗi thời gian đo được phải được kết hợp với công thức (1) để cho chuỗi thời gian điện áp của $u_{nc}(t)$.

2) Chuỗi thời gian điện áp của $u_{nc}(t)$ là đầu vào đối với thuật toán nháy phù hợp với IEC 61000-4-15 để cho một giá trị phát xạ nháy $P_{st,nc}$ trên lưới điện giả định đối với từng chuỗi thời gian 10 min.

3) Hệ số nháy phải được xác định cho từng giá trị phát xạ nháy bằng cách áp dụng công thức (6):

$$c(w_k) = P_{st,nc} \times \frac{S_{k,nc}}{S_n} \quad (6)$$

trong đó

S_n là công suất biểu kiến danh định của tuabin gió;

$S_{k,nc}$ là công suất biểu kiến ngắn mạch của lưới điện giả định.

Xem thêm Chú thích 3.

Thứ hai, hệ số gia trọng phải được xác định cho từng bin tốc độ gió để tính tỷ lệ tần suất xuất hiện hệ số nháy đo được để ứng với phân bố tốc độ gió giả thiết. Quy trình tìm hệ số gia trọng được mô tả ở các bước từ 4) đến 6) dưới đây.

4) Như quy định ở 6.3.2, tần suất xuất hiện giả thiết $f_{y,i}$ của tốc độ gió trong bin tốc độ gió thứ i phải tương ứng với phân bố Rayleigh, tức là:

$$f_{y,i} = \exp\left(-\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{v_i - 0,5}{v_a}\right)^2\right) - \exp\left(-\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{v_i + 0,5}{v_a}\right)^2\right) \quad (7)$$

trong đó

v_i điểm giữa của bin tốc độ gió thứ i (m/s);

v_a tốc độ gió trung bình hàng năm (m/s).

5) Tần suất xuất hiện thực của hệ số nháy đo được trong bin tốc độ gió thứ i được cho bởi công thức:

$$f_{m,i} = \frac{N_{m,i}}{N_m} \quad (8)$$

trong đó

$N_{m,i}$ số các giá trị hệ số nháy đo được trong phạm vi bin tốc độ gió thứ i ;

N_m tổng số các giá trị hệ số nháy đo được.

6) Hệ số gia trọng phải được xác định cho mỗi 1 m/s bin tốc độ gió giữa v_{cut-in} và 15 m/s bằng cách thêm các giá trị tính được của $f_{y,i}$ và $f_{m,i}$ trong công thức (9) dưới đây:

$$w_i = \frac{f_{y,i}}{f_{m,i}} \quad (9)$$

Cuối cùng, phân bố tích lũy gia trọng của các giá trị nháy đo được phải được tìm thấy, và hệ số nháy $c(\psi_x, v_x)$ phải được xác định là phân vị thứ 99 của phân bố này (xem Chú thích 4 và 5). Quy trình này được cho ở bước thứ 7) và 8) dưới đây:

7) Phân bố tích lũy gia trọng của các giá trị hệ số nháy được cho trong công thức (10) dưới đây:

$$Pr(c < x) = \frac{\sum_{j=1}^{N_{m,c < x}} w_j \times N_{m,i,c < x}}{\sum_{j=1}^{N_m} w_j \times N_{m,j}} \quad (10)$$

trong đó

$N_{m,c < x}$ số các giá trị hệ số nháy nhỏ hơn x trong phạm vi bin tốc độ gió thứ i ;

N_{bin} tổng số bin tuabin gió giữa v_{cut-in} và 15 m/s

8) Hệ số nháy phải được xác định là phân vị thứ 99 của phân bố tích lũy gia trọng của các giá trị hệ số nháy. Việc này phải được thực hiện bằng cách tính $Pr(c < x)$ và đọc phân vị thứ 99 từ đó.

Các bước theo quy trình ở trên từ bước 4) đến bước 8) được minh họa cụ thể hơn ở Điều B.3.

Theo IEC 61000-3-7, phát xạ nháy dài hạn có thể được tính là trung bình bậc ba của 12 giá trị ngắn hạn liên tiếp. Giả thiết rằng phát xạ nháy từ tuabin gió là hàm của tốc độ gió, và các điều kiện gió đó vẫn duy trì trong thời gian 2 h thì 12 giá trị ngắn hạn liên tiếp được xem là bằng nhau. Vì vậy, đối với tuabin gió, hệ số phát xạ nháy dài hạn trở nên bằng với giá trị ngắn hạn.

CHÚ THÍCH 1: Nếu điện áp pha-trung tính không sẵn có thì điện áp pha-pha cần được đo và điện áp pha-trung tính được tính từ điện áp pha-pha đo được. Điện áp pha-trung tính có thể được tính từ điện áp pha-pha đo được theo công thức dưới đây:

$$U_1 = \frac{U_{12} - U_{31}}{3}$$

$$U_2 = \frac{U_{23} - U_{12}}{3}$$

$$U_3 = \frac{U_{31} - U_{23}}{3}$$

trong đó

u_1, u_2 và u_3 là điện áp pha-trung tính tức thời;

u_{12}, u_{31} và u_{23} là điện áp pha-pha tức thời.

CHÚ THÍCH 2: Thuật toán nhảy mô tả trong IEC 61000-4-15 đưa ra giá trị hiệu dụng của $u_{m}(t)$ thì biến thiên tần số ngưỡng cắt nhanh hơn 35 Hz. Tần số ngưỡng cắt nhỏ nhất là 400 Hz, tương ứng với tần số lấy mẫu nhỏ nhất là 800 Hz vẫn được yêu cầu cho các phép đo độ nhảy trong vận hành liên tục theo tiêu chuẩn này. Các tính toán thử nghiệm chỉ ra rằng tần số lấy mẫu này là cần thiết để có được các kết quả nhất quán. Tần số lấy mẫu thấp hơn sẽ giảm độ chính xác của góc điện của điện áp cơ sở đo được $\alpha_m(t)$.

CHÚ THÍCH 3: Công thức xác định hệ số nhảy được giải thích cụ thể hơn ở B.4.1.

CHÚ THÍCH 4: Phân vị thứ 99 được áp dụng do các giới hạn phát xạ nhảy thường liên quan đến phân vị này.

CHÚ THÍCH 5: Như được quy định ở 6.3.2, $c(\psi_k, v_s)$ cần được xác định đối với $v_s = 6$ m/s, 7,5 m/s, 8,5 m/s và 10 m/s tương ứng. Ngoài ra, như chỉ ra tại điều này, các phép đo chỉ yêu cầu đến 15 m/s. Giả thiết là tốc độ gió được phân bố Rayleigh, có thể tính là 15 m/s ứng với phân vị thứ 99 đối với $v_s = 6$ m/s, và thêm 96 %, 91 % và 83 % cho $v_s = 7,5$ m/s, 8,5 m/s và 10 m/s tương ứng. Vì vậy, mặc dù $c(\psi_k, v_s)$ được xác định theo điều này là phân vị thứ 99 của bộ dữ liệu nhưng có thể đại diện cho các phân vị thấp hơn đối với phân bố tốc độ gió theo phân bố Rayleigh với $v_s = 7,5$ m/s, 8,5 m/s và 10 m/s. Việc này được giải thích cụ thể hơn tại Điều B.3. Tuy nhiên, nhận thấy rằng độ không đảm bảo của các phân vị thực tế không khẳng định các phép đo yêu cầu ở tốc độ gió lớn hơn để mở rộng bộ dữ liệu để đảm bảo phân vị thứ 99 cũng đúng cho $v_s = 7,5$ m/s, 8,5 m/s và 10 m/s vì việc này thường tăng đột ngột thời gian thử nghiệm yêu cầu. Tuy nhiên, điều này là để mở cho người sử dụng tiêu chuẩn này để thỏa thuận thêm các phép đo với v_s lớn hơn 15 m/s để cải thiện độ chính xác của $c(\psi_k, v_s)$ đối với $v_s = 6$ m/s.

7.3.4 Thao tác đóng cắt

Dựa trên thông tin của nhà chế tạo, số lần thao tác đóng cắt lớn nhất, N_{10m} và N_{120m} phải được xác định cho từng kiểu thao tác đóng cắt quy định ở 6.3.3. Trong trường hợp nhà chế tạo tuabin gió không thể cung cấp các con số này hoặc nhà chế tạo không thể cung cấp đủ quy định kỹ thuật của hệ thống để cung cấp các con số thì giả thiết như sau:

- Tuabin gió khởi động ở tốc độ gió đóng mạch: $N_{10m} = 10$ và $N_{120m} = 120$.
- Tuabin gió khởi động ở tốc độ gió danh định hoặc tốc độ gió cao hơn: $N_{10m} = 1$ và $N_{120m} = 12$.
- Trường hợp thao tác xấu nhất giữa các máy phát: $N_{10m} = 10$ và $N_{120m} = 120$.

Các phép đo, mô phỏng và tính toán tiếp theo phải được chuẩn bị để xác định hệ số thay đổi điện áp $k_v(\psi_k)$, và hệ số bước nhảy $k_r(\psi_k)$ cho từng kiểu thao tác đóng cắt quy định ở 6.3.3.

Điều này đưa ra quy trình chi tiết, thông tin được nêu ở Điều B.2.

Trong khi từng điểm 6.3.3 a) và 6.3.3 b) quy định một thao tác đóng cắt tại một tốc độ gió cụ thể thì nhiệm vụ của đánh giá viên là nhận biết các điều kiện ở 6.3.3 c). Việc này có thể thực hiện bằng cách đánh giá thiết kế của tuabin gió hoặc nếu không có đủ bằng chứng thì phải thực hiện các phép đo để nhận biết các điều kiện cho 6.3.3 c). Xem thêm Chú thích 1 ở 6.3.3.

Để xác định hệ số thay đổi điện áp $k_v(\psi_k)$, và hệ số bước nhảy $k_f(\psi_k)$ phải chuẩn bị các phép đo sau đây:

- i) Đo ba dòng điện pha tức thời và ba điện áp pha-trung tính tức thời tại đầu nối của tuabin gió.
- ii) Thực hiện các phép đo trong một khoảng thời gian T_p đủ dài để đảm bảo kết thúc quá trình quá độ của thao tác đóng cắt nhưng được giới hạn để loại trừ các dao động về công suất có thể có do xoay.
- iii) Để chắc chắn rằng các kết quả đo là đại diện của các điều kiện bình thường trung bình, từng trường hợp cần được thực hiện 5 lần.
- iv) Tốc độ gió phải được đo theo 7.1.3. Tốc độ gió trung bình trong 1 min trong quá trình đóng cắt phải nằm trong phạm vi tốc độ gió yêu cầu ± 2 m/s.

Các phép đo phải được thực hiện với bố trí đo như quy định trên Hình 3 và bằng cách đặt máy biến áp, máy biến dòng và thiết bị đo gió có quy định kỹ thuật theo Bảng 2. Tần số ngưỡng cắt của các phép đo điện áp và dòng điện tối thiểu phải là 1 500 Hz (xem Chú thích 1). Đối với tuabin gió sử dụng khởi động mềm hoặc giới hạn hiệu quả khác cho dòng điện khởi động thì máy biến dòng cần được định mức hai hoặc bốn lần dòng điện danh định. Đối với tuabin gió không có phương pháp giới hạn dòng điện khởi động thì máy biến dòng cần được định mức từ 10 đến 20 lần dòng điện danh định của tuabin gió.

Các phép đo phải được xử lý để xác định hệ số thay đổi điện áp và hệ số bước nhảy. Việc này được thực hiện bằng cách áp dụng quy trình dưới đây.

- 1) Chuỗi thời gian đo được phải được kết hợp để cho chuỗi thời gian điện áp của $u_{bc}(t)$.
- 2) Chuỗi thời gian điện áp mô phỏng của $u_{bc}(t)$ được đưa vào thuật toán phù hợp với IEC 61000-4-15 để cho một giá trị phát xạ nhảy $P_{st,fc}$ trên lưới điện giả định đối với từng chuỗi thời gian của $u_{bc}(t)$. Việc này sẽ cho 15 kết quả của $P_{st,fc}$ cho từng trường hợp, tức là năm thử nghiệm và ba pha.
- 3) Hệ số bước nhảy $k_f(\psi_k)$ được tính theo công thức (11) dưới đây.

$$k_f(\psi_k) = \frac{1}{130} \times \frac{S_{k,fc}}{S_n} \times P_{st,fc} \times T_p^{0,31} \quad (11)$$

Xem thêm Chú thích 2 và 3.

- 4) Hệ số thay đổi điện áp $k_v(\psi_k)$ được tính theo công thức (12) dưới đây.

$$k_v(\psi_k) = \sqrt{3} \times \frac{U_{fc,max} - U_{fc,min}}{U_n} \times \frac{S_{k,fc}}{S_n} \quad (12)$$

trong đó

$U_{lc, min}$ là giá trị hiệu dụng nhỏ nhất trong một giai đoạn của điện áp trên lưới điện giả định trong khi thao tác đóng cắt;

$U_{lc, max}$ là giá trị hiệu dụng lớn nhất trong một giai đoạn của điện áp trên lưới điện giả định trong khi thao tác đóng cắt.

Xem thêm Chú thích 4.

5) Hệ số bước nhảy và hệ số thay đổi điện áp được xác định là giá trị trung bình của 15 giá trị.

CHÚ THÍCH 1: Tần số ngưỡng cắt cần tối thiểu là 1 500 Hz để chắc chắn rằng các hài dao động do "khởi động mềm" các linh kiện điện tử công suất được bao gồm đúng trong hệ số thay đổi điện áp và hệ số bước nhảy. Xem thêm Chú thích 2 ở 7.3.3.

CHÚ THÍCH 2: Công thức xác định hệ số bước nhảy được suy từ IEC 61000-3-3 như giải thích ở B.4.2.

CHÚ THÍCH 3: Hệ số nhảy $P_{v,lc}$ ở đây được đánh giá trong khoảng thời gian T_p .

CHÚ THÍCH 4: Công thức xác định hệ số thay đổi điện áp được giải thích cụ thể hơn ở B.4.3.

7.4 Hài dòng điện, hài trung gian và thành phần tần số cao hơn

Phát xạ hài dòng điện, hài trung gian và thành phần tần số cao hơn từ tuabin gió trong quá trình thao tác liên tục phải được đo sao cho các thành phần hài này có thể được đưa ra theo 6.4.

Kết quả phải dựa trên thời gian quan sát 10 min cho từng bin công suất tác dụng (tức là các điểm giữa bin 0, 10, 20, ..., 100 % P_n như chỉ ra ở 6.4) và phải cho các trường hợp có méo tối thiểu từ lưới. Quy trình đo phải thích hợp cho tuabin gió, tức là trong trường hợp độ lớn của hài dòng điện được sinh ra có thể trong thời gian vài giây.

Các phép đo có ảnh hưởng rõ rệt bởi nhiễu nền của lưới phải được loại trừ.

Tối thiểu chín chuỗi thời gian 10 min của phép đo dòng điện tức thời (ba thử nghiệm và ba pha) phải được thu thập cho từng bin công suất 10 %.

Các phép đo và phân nhóm các thành phần phổ phải được thực hiện theo IEC 61000-4-7. Việc chọn phương pháp nhóm nhằm phân ánh rằng các phép đo được thực hiện trên nguồn dao động. Áp dụng cấp chính xác 1 như xác định trong IEC 61000-4-7.

Khuyến cáo sử dụng cửa sổ 10 chu kỳ đối với hệ thống 50 Hz và 12 chu kỳ đối với hệ thống 60 Hz. Cửa sổ phải được nêu trong báo cáo thử nghiệm (xem Phụ lục A).

Dòng điện hài thấp hơn 0,1 % I_n của các bậc hài không cần ghi vào báo cáo.

Biến đổi Fourier rời rạc (DFT) được áp dụng cho từng dòng điện đo được với gia số chữ nhật, tức là hàm gia số không đặc biệt (Hanning, Hamming, v.v...) phải được áp dụng cho chuỗi thời gian được đo. Công suất tác dụng phải được đánh giá trong cùng cửa sổ thời gian như các hài.

Thành phần hài dòng điện đối với các tần số đến 50 lần tần số lưới cơ bản phải được phân nhóm nhỏ như nêu ở 5.6 của IEC 61000-4-7:2002. Xem Chú thích.

Méo dòng điện hài tổng (THC) được tính theo công thức (13):

$$THC = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_n} \times 100 \quad (13)$$

trong đó:

I_h dòng điện hài hiệu dụng được phân nhóm nhỏ của hài bậc h;

I_n dòng điện danh định của tuabin gió.

Thành phần hài trung gian nhỏ hơn 2 kHz phải được phân nhóm nhỏ theo Phụ lục A của IEC 61000-4-7:2002 (công thức (A3) và (A4) ứng với hệ thống 50 Hz và 60 Hz).

Thành phần hài tần số cao hơn, tức là thành phần dòng điện 2 kHz đến 9 kHz phải được đo và phân nhóm theo Phụ lục B của IEC 61000-4-7:2002 (công thức (B.1)). Đầu ra của DFT ban đầu phải được nhóm trong băng tần 200 Hz.

Trung bình 10 min của từng băng tần (tức là từng hài, hài trung gian và thành phần tần số cao hơn đã phân nhóm nhỏ) phải được tính cho từng chuỗi thời gian 10 min và tiếp theo là trung bình 10 min tối đa của từng băng tần trong từng bin công suất 10 % phải được ghi vào báo cáo.

Hài điện áp trong khi thử nghiệm phải được ghi vào báo cáo. Hài điện áp được đo tại các đầu nối của tuabin gió và theo IEC 61000-4-7. Tối thiểu, các giá trị trung bình trong 10 min của méo hài điện áp tổng phải được ghi vào báo cáo.

CHÚ THÍCH: Điều 5.6 của IEC 61000-4-7 là về hài điện áp. Quy trình phân nhóm vẫn được khuyến cáo để đánh giá hài dòng điện của nguồn dao động như tuabin gió.

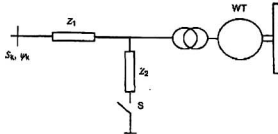
7.5 Đáp ứng khi sụt áp tạm thời

Đáp ứng của tuabin gió khi sụt áp tạm thời được quy định trong Bảng 1 phải được đo để có thể như được nêu theo 6.5. Đáp ứng được nêu phải bao gồm chuỗi thời gian của công suất tác dụng, công suất phản kháng, dòng điện tác dụng, dòng điện phản kháng và điện áp trên các đầu nối của tuabin gió trong thời gian ngay trước khi sụt áp và cho đến khi ảnh hưởng của sụt áp bị loại bỏ. Chế độ vận hành của tuabin gió và tốc độ gió trung bình trong 10 min phải được xác định.

Công suất phản kháng, dòng điện tác dụng, dòng điện phản kháng và điện áp phải được cho đối với từng giai đoạn (50 Hz hoặc 60 Hz) và phải được đo như thành phần thứ tự thuận – xem Phụ lục C.

Thử nghiệm phải được thực hiện cho tuabin gió vận hành ở a) từ $0,1 P_n$ đến $0,3 P_n$ và b) lớn hơn $0,9 P_n$.

Thử nghiệm phải được thực hiện sử dụng, ví dụ như thể hiện trên Hình 5. Sụt áp được tạo ra bằng bộ mô phỏng ngắn mạch nối ba pha hoặc hai pha với đất thông qua một trở kháng, hoặc nối ba pha hoặc hai pha với nhau thông qua một trở kháng.



Hình 5 – Hệ thống với bộ mô phỏng ngắn mạch dùng cho thử nghiệm đáp ứng của tuabin gió khi sụt áp tạm thời

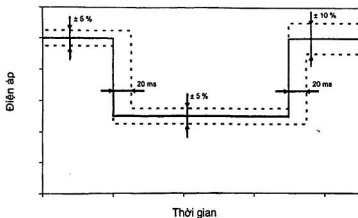
Trở kháng Z_1 để hạn chế ảnh hưởng của ngắn mạch trên phía lưới. Cỡ của trở kháng cần được chọn sao cho thử nghiệm sụt áp không tạo ra tình huống không chấp nhận được ở phía lưới và đồng thời không ảnh hưởng đáng kể đến đáp tuyến quá độ của tuabin gió. Mạch nhánh của Z_1 có thể được đưa vào trước và sau khi sụt áp.

Sụt áp được tạo ra bằng cách nối trở kháng Z_2 bằng chuyển mạch S . Cỡ của Z_2 phải được điều chỉnh để có độ lớn điện áp quy định trong Bảng 1 khi không nối tuabin gió.

Giá trị trở kháng Z_1 và Z_2 sử dụng cho thử nghiệm phải được nêu trong bản mô tả thiết bị thử nghiệm.

Chuyển mạch S phải có khả năng điều khiển chính xác thời gian giữa việc nối và ngắt Z_2 và cho tắt cả ba pha hoặc hai pha. Chuyển mạch này có thể, ví dụ là ngắt mạch cơ khí hoặc thiết bị điện tử công suất.

Độ lớn của điện áp quy định ở Bảng 1 có thể bị ảnh hưởng bởi vận hành của tuabin gió nhưng được xác định cho tuabin gió không nối vào bố trí thử nghiệm như trên Hình 5. Với tuabin gió không được đấu nối, sụt áp phải nằm trong hình được chỉ ra trên Hình 6. Thời gian sụt áp được đo từ khi đóng đến khi mở chuyển mạch S . Dung sai về thời gian đã bao gồm để tính dung sai trong khi thao tác chuyển mạch S và điện áp thứ tự thuận không giảm hoặc tăng đồng thời mà theo đường dốc.



Hình 6 – Dung sai của sụt áp

CHÚ THÍCH: Thử nghiệm cần được thực hiện tại a) từ $0,1 P_n$ đến $0,3 P_n$ để có đáp ứng ở chế độ vận hành thông dụng nhất (tùy thuộc vào tuabin gió) và b) lớn hơn $0,9 P_n$ để có đáp ứng ở điều kiện khắc nghiệt nhất.

7.6 Công suất tác dụng

7.6.1 Công suất đo được lớn nhất

Công suất đo được lớn nhất phải được đo sao cho nó có thể được xác định theo 6.6.1 là giá trị trung bình trong 600 s, P_{600} , giá trị trung bình trong 60 s, P_{60} và giá trị trung bình trong 0,20 s, $P_{0,2}$ theo quy trình sau:

- Lấy mẫu cho phép đo chỉ trong vận hành liên tục.
- Công suất tác dụng phải được đo trên các đầu nối của tuabin gió.
- Thực hiện phép đo sao cho ít nhất năm chuỗi thời gian 10 min của công suất được thu thập cho từng bin tốc độ gió 1 m/s từ tốc độ gió đóng mạch đến 15 m/s.
- Tốc độ gió được đo là các giá trị trung bình trong 10 min và theo 7.1.3.
- Công suất đo được phải được chuyển đổi sang dữ liệu trung bình 0,2 s và dữ liệu trung bình 60 s bằng cách lấy trung bình khối.
- $P_{0,2}$ phải được xác định là giá trị trung bình 0,2 s có hiệu lực được ghi lại trong thời gian đo.
- P_{60} phải được xác định là giá trị trung bình 60 s có hiệu lực được ghi lại trong thời gian đo.
- P_{600} phải được xác định là giá trị trung bình 600 s có hiệu lực được ghi lại trong thời gian đo.

Các phép đo phải được thực hiện với bố trí đo như quy định ở Hình 3 và bằng cách sử dụng máy biến áp, máy biến dòng và thiết bị đo gió có quy định kỹ thuật theo Bảng 2.

Dải đo đầy đủ để đo dòng điện bằng hai lần dòng điện danh định của tuabin gió.

7.6.2 Giới hạn tốc độ thay đổi công suất

Giới hạn tốc độ thay đổi công suất phải được thử nghiệm để có thể đặc trưng theo 6.6.2. Áp dụng quy trình sau đây:

- Tuabin gió phải được khởi động từ lúc đứng yên.
- Tốc độ thay đổi công suất được đặt đến 10 % công suất danh định trong một phút.
- Thử nghiệm phải được thực hiện đến 10 min sau khi tuabin gió được nối lưới.
- Công suất ra tác dụng sẵn có trong toàn bộ thử nghiệm phải tối thiểu là 50 % công suất danh định.
- Công suất tác dụng phải được đo tại các đầu nối của tuabin gió.
- Kết quả thử nghiệm phải được ghi vào báo cáo là dữ liệu trung bình 0,2 s.

Các phép đo phải được thực hiện với bố trí đo như quy định ở Hình 3 và bằng cách sử dụng máy biến áp, máy biến dòng và thiết bị đo gió có quy định kỹ thuật theo Bảng 2. Tốc độ gió phải được quy định là đồ thị chuỗi thời gian với dữ liệu 1 Hz trong thời gian thử nghiệm.

Công suất ra tác dụng khả dụng được đọc từ hệ thống điều khiển tuabin gió hoặc nếu hệ thống điều khiển tuabin gió không có sẵn thì có thể sử dụng giá trị xấp xỉ dựa trên tốc độ tuabin gió đo được kết hợp với đường cong công suất của tuabin gió.

7.6.3 Điều khiển điểm đặt

Điều khiển điểm đặt công suất tác dụng phải được thử nghiệm để có thể đặc trưng theo 6.6.3. Áp dụng quy trình sau đây:

- Thử nghiệm phải được thực hiện trong thời gian thử nghiệm 10 min.
- Làm mất hiệu lực việc giới hạn tốc độ thay đổi công suất trong khi thử nghiệm để đảm bảo đáp ứng nhanh nhất có thể.
- Tín hiệu điểm đặt giảm từ 100 % về 20 % theo các bước 20 % với thời gian vận hành 2 min ở từng giá trị điểm đặt, tức là theo Hình 1.
- Công suất ra tác dụng sẵn có trong toàn bộ thử nghiệm phải tối thiểu là 90 % công suất danh định.
- Công suất tác dụng phải được đo tại các đầu nối của tuabin gió.
- Kết quả thử nghiệm phải được ghi vào báo cáo là dữ liệu trung bình 0,2 s.

Các phép đo phải được thực hiện với bố trí đo như quy định ở Hình 3 và bằng cách sử dụng máy biến áp, máy biến dòng và thiết bị đo gió có quy định kỹ thuật theo Bảng 2. Tốc độ gió phải được quy định là đồ thị chuỗi thời gian với dữ liệu 1 Hz trong thời gian thử nghiệm.

Công suất ra tác dụng khả dụng được đọc từ hệ thống điều khiển tuabin gió hoặc nếu hệ thống điều khiển tuabin gió không có sẵn thì có thể sử dụng giá trị xấp xỉ dựa trên tốc độ tuabin gió đo được kết hợp với đường cong công suất của tuabin gió.

7.7 Công suất phản kháng

7.7.1 Dung lượng công suất phản kháng

Công suất phản kháng lớn nhất của cuộn cảm và công suất phản kháng lớn nhất của tụ điện phải được đo để có thể công bố theo 6.7.1.

- Đối với phép đo công suất phản kháng lớn nhất của cuộn cảm, tuabin gió được đặt ở chế độ vận hành cho công suất phản kháng lớn nhất của cuộn cảm trong toàn bộ dải công suất.
- Đối với phép đo công suất phản kháng lớn nhất của tụ điện, tuabin gió được đặt ở chế độ vận hành cho công suất phản kháng lớn nhất của tụ điện trong toàn bộ dải công suất.

Đối với từng chế độ trong hai chế độ đặt, áp dụng quy trình sau:

- Lấy mẫu cho phép đo chỉ trong vận hành liên tục.
- Công suất tác dụng và phản kháng phải được đo trên các đầu nối của tuabin gió.
- Thực hiện phép đo sao cho ít nhất ba mươi chuỗi thời gian 10 min của công suất tác dụng và phản kháng được thu thập cho từng bin công suất 10 %.
- Dữ liệu lấy mẫu phải được chuyển đổi sang dữ liệu trung bình 1 min bằng cách lấy trung bình khối cho từng giai đoạn 1 min.
- Dữ liệu trung bình 1 min phải được sắp xếp theo phương pháp bin để công suất phản kháng có thể được xác định là các giá trị bin trung bình trong Bảng ở 0, 10, ...90, 100 % công suất danh định. Ở đây, 0, 10, ...90, 100 % là các điểm giữa của bin công suất tác dụng.

Các phép đo phải được thực hiện với bố trí đo như quy định ở Hình 3 và bằng cách sử dụng máy biến áp và máy biến dòng có quy định kỹ thuật theo Bảng 2.

7.7.2 Điều khiển điểm đặt

Điều khiển công suất phản kháng bằng giá trị điểm đặt phải được đo để có thể công bố theo 6.7.2.

Đối với phép đo tại điểm đặt của công suất phản kháng = 0, áp dụng quy trình sau:

- Lấy mẫu cho phép đo chỉ trong vận hành liên tục.
- Công suất tác dụng và phản kháng phải được đo trên các đầu nối của tuabin gió.
- Thực hiện phép đo sao cho ít nhất ba mươi chuỗi thời gian 10 min của công suất tác dụng và phản kháng được thu thập cho từng bin công suất 10 %.
- Dữ liệu lấy mẫu phải được chuyển đổi sang dữ liệu trung bình 1 min bằng cách lấy trung bình khối cho từng giai đoạn 1 min.
- Dữ liệu trung bình 1 min phải được sắp xếp theo phương pháp bin để công suất phản kháng có thể được xác định là các giá trị bin trung bình trong Bảng ở 0, 10, ...90, 100 % công suất danh định. Ở đây, 0, 10, ...90, 100 % là các điểm giữa của bin công suất tác dụng.

Đối với phép đo trong khi thay đổi công suất phản kháng theo bước, áp dụng quy trình sau:

- Lấy mẫu cho phép đo chỉ trong vận hành liên tục.
- Công suất tác dụng và phản kháng phải được đo trên các đầu nối của tuabin gió.
- Công suất ra tác dụng phải xấp xỉ 50 % công suất danh định.
- Dữ liệu lấy mẫu đối với công suất phản kháng phải là dữ liệu trung bình 0,2 s.
- Điểm đặt của công suất phản kháng phải được thay đổi theo Hình 2.
- Công suất phản kháng đo được phải được thể hiện bằng đồ thị là dữ liệu 0,2 s cùng với giá trị điểm đặt công suất phản kháng.

Các phép đo phải được thực hiện với bố trí đo như quy định ở Hình 3 và bằng cách sử dụng máy biến áp và máy biến dòng có quy định kỹ thuật theo Bảng 2.

7.8 Bảo vệ lưới

Mức bảo vệ và thời gian ngắt đầu nối của tuabin gió phải được xác định đối với quá điện áp và điện áp thấp và quá tần số và tần số thấp. Việc này phải được thực hiện bằng cách sử dụng nguồn điện áp ba pha riêng rẽ có thay đổi điện áp và tần số và cấp điện cho bộ điều khiển tuabin gió. Mức bảo vệ điểm đặt và thời gian ngắt đầu nối của bộ điều khiển tuabin gió cũng được quy định. Vì lý do an toàn, các phép đo về bảo vệ lưới được thực hiện trong khi máy phát của tuabin gió không hoạt động.

Áp dụng quy trình dưới đây để xác định các mức bảo vệ:

- Mức bảo vệ điện áp thấp, U_{under} :

Điện áp của nguồn cấp điện áp ba pha riêng rẽ được giảm ở cả ba pha từ 100 % điện áp danh nghĩa tại tần số danh nghĩa theo các bước 1 % điện áp danh nghĩa cho đến khi ngắt đầu nối tuabin gió. Từng bước phải được thực hiện tối thiểu 20 s.

- Mức bảo vệ quá điện áp, U_{over} :

Điện áp của nguồn cấp điện áp ba pha riêng rẽ được tăng ở cả ba pha từ 100 % điện áp danh nghĩa tại tần số danh nghĩa theo các bước 1 % điện áp danh nghĩa cho đến khi ngắt đầu nối tuabin gió. Từng bước phải được thực hiện tối thiểu 20 s.

- Mức bảo vệ tần số thấp, f_{under} :

Tần số của nguồn cấp điện áp ba pha riêng rẽ được giảm từ 100 % tần số danh nghĩa ở điện áp danh nghĩa theo các bước 0,1 Hz cho đến khi ngắt đầu nối tuabin gió. Từng bước phải được thực hiện tối thiểu 20 s.

- Mức bảo vệ quá tần số, f_{over} :

Tần số của nguồn cấp điện áp ba pha riêng rẽ được tăng từ 100 % tần số danh nghĩa ở điện áp danh nghĩa theo các bước 0,1 Hz cho đến khi ngắt đầu nối tuabin gió. Từng bước phải được thực hiện tối thiểu 20 s.

Để xác định thời gian ngắt đầu nối, áp dụng quy trình sau đây:

- Thời gian ngắt của tuabin gió phải được xác định từ dữ liệu của tuabin gió hoặc bằng phép đo thời gian ngắt.
- Thời gian ngắt là khoảng thời gian từ khi bắt đầu bước điện áp cho đến khi tuabin gió ngắt đầu nối.
- Điện áp thấp:

Bước điện áp từ điện áp danh nghĩa đến $U_{\text{under}} - 5\%$ điện áp danh nghĩa phải được đưa vào bộ ngắt mạch tuabin gió bằng nguồn điện áp riêng rẽ.

- Quá điện áp:

Bước điện áp từ điện áp danh nghĩa đến $U_{\text{over}} + 5\%$ điện áp danh nghĩa phải được đưa vào bộ ngắt mạch tuabin gió bằng nguồn điện áp riêng rẽ.

- Quá tần số:

Bước tần số từ tần số danh nghĩa đến $f_{\text{over}} + 1$ Hz phải được đưa vào bộ ngắt mạch tuabin gió bằng nguồn điện áp riêng rẽ.

- Tần số thấp:

Bước tần số từ tần số danh nghĩa đến $f_{\text{over}} - 1$ Hz phải được đưa vào bộ ngắt mạch tuabin gió bằng nguồn điện áp riêng rẽ.

7.9 Thời gian đầu nối lại

Thời gian đầu nối lại phải được thử nghiệm để được đặc trưng theo 6.9. Áp dụng quy trình sau đây:

- Thử nghiệm phải được thực hiện mỗi lần cho từng thời gian sự cố lưới trong 3 lần sự cố lưới quy định ở 6.9.
- Tốc độ gió trung bình phải lớn hơn 10 m/s trong thời gian đầu nối lại.
- Lưới được ngắt ra khỏi tuabin gió bằng cách mở bộ ngắt mạch trên lưới. Bộ ngắt mạch thường là bộ ngắt mạch trung áp nối tuabin gió với hệ thống thu gom điện năng. Việc mở bộ ngắt mạch phải được thực hiện trong khi tuabin gió đang vận hành. Lưới được nối lại với tuabin gió bằng cách đóng bộ ngắt mạch.
- Thời gian sự cố là thời gian trong khoảng mở và đóng bộ ngắt mạch. Bộ ngắt mạch thường phải thao tác bằng tay, và thử nghiệm viên cần đảm bảo rằng thời gian sự cố lưới như được quy định với dung sai ± 1 s.
- Công suất tác dụng phải được đo tại các đầu nối của tuabin gió.

- Điện áp phải được đo tại các đầu nối của tuabin gió.
- Kết quả thử nghiệm được ghi vào báo cáo dựa trên dữ liệu trung bình 0,2 s của công suất và điện áp. Dựa trên công suất và điện áp đo được, thời gian đấu nối lại được xác định bắt đầu từ thời gian khi điện áp trở về mức bình thường của nó (trong khoảng từ 0,9 đến 1,1 pu) đến thời gian mà tuabin gió bắt đầu tạo ra công suất ($P > 0$).

Các phép đo phải được thực hiện với bố trí đo như quy định ở Hình 3 và bằng cách sử dụng máy biến áp và máy biến dòng có quy định kỹ thuật theo Bảng 2.

8 Đánh giá chất lượng điện năng

8.1 Yêu cầu chung

Điều này nêu phương pháp đánh giá chất lượng điện năng kỳ vọng từ tuabin gió hoặc nhóm tuabin gió khi được lắp đặt tại vị trí quy định, và để cho phép các kết quả cần so sánh với các yêu cầu trong tiêu chuẩn.

Nếu nhà vận hành mạng lưới điện và cơ quan quản lý có thẩm quyền áp dụng yêu cầu của riêng họ thay cho hoặc bổ sung cho các tiêu chuẩn thì nguyên tắc của điều này vẫn có thể được sử dụng để làm hướng dẫn.

Phương pháp đánh giá phù hợp với các yêu cầu về chất lượng điện năng có hiệu lực cho tuabin gió với điểm ghép nối chung trung áp hoặc cao áp trong hệ thống điện có tần số không đổi trong phạm vi ± 1 Hz, và khả năng điều chỉnh đủ giá trị công suất tác dụng và phản kháng. Trong những trường hợp khác, nguyên tắc để đánh giá sự phù hợp với các yêu cầu chất lượng điện năng vẫn được sử dụng làm hướng dẫn.

8.2 Dao động điện áp

8.2.1 Yêu cầu chung

Phát xạ nhảy từ hệ thống lắp đặt tuabin gió phải được giới hạn để phù hợp với các giới hạn phát xạ nhảy như xác định theo công thức (15) và (16) dưới đây.

$$P_{st} \leq E_{P_{st}} \quad (15)$$

$$P_{fl} \leq E_{P_{fl}} \quad (16)$$

trong đó:

P_{st} và P_{fl} là phát xạ nhảy ngắn hạn và dài hạn từ hệ thống lắp đặt tuabin gió;

$E_{P_{st}}$ và $E_{P_{fl}}$ là giới hạn phát xạ nhảy ngắn hạn và dài hạn từ điểm ghép nối chung liên quan.

Ngoài ra, sự thay đổi điện áp tương đối do hệ thống lắp đặt tuabin gió được giới hạn theo công thức (17) dưới đây:

$$d \leq \frac{\Delta U_{\text{gym}}}{U_n} \quad (17)$$

trong đó

d là hệ số thay đổi điện áp tương đối do thao tác đóng cắt của hệ thống lắp đặt tuabin gió.

$\frac{\Delta U_{\text{gym}}}{U_n}$ là tỷ số thay đổi điện áp cho phép lớn nhất.

Phương pháp khuyến cáo để đánh giá các giới hạn phát xạ nhảy và sự thay đổi điện áp cho phép lớn nhất đối với hệ thống lắp đặt ở mức điện áp trung bình và điện áp cao được nêu trong IEC 61000-3-7.

Quy trình nêu trong các điều tiếp theo được khuyến cáo để đánh giá phát xạ nhảy và sự thay đổi điện áp tương đối do hệ thống lắp đặt tuabin gió.

8.2.2 Vận hành liên tục

Phát xạ nhảy phân vị thứ 99 từ một tuabin gió đơn lẻ trong khi vận hành liên tục được tính theo công thức (18) như sau:

$$P_{st} = P_n = c(\psi_k, v_s) \times \frac{S_n}{S_k} \quad (18)$$

trong đó

$c(\psi_k, v_s)$ là hệ số nhảy của tuabin gió đối với góc pha trở kháng mạng cho trước, ψ_k tại điểm ghép nối chung và đối với tốc độ gió trung bình hàng năm cho trước, v_s ở độ cao hub của tuabin gió tại vị trí lắp đặt;

S_n là công suất biểu kiến danh định của tuabin gió;

S_k là công suất biểu kiến ngắn mạch tại điểm ghép nối chung.

Hệ số nhảy của tuabin gió đối với ψ_k và v_s thực tại vị trí lắp đặt, có thể được cho trong Bảng dữ liệu được suy ra từ kết quả của các phép đo mô tả tại 7.3.3 bằng cách áp dụng nội suy tuyến tính.

Trong trường hợp nhiều tuabin gió được nối vào điểm ghép nối chung, phát xạ nhảy từ toàn bộ tuabin gió này có thể được ước tính theo công thức (19) sau đây:

$$P_{st\pi} = P_{\pi} = \frac{1}{S_k} \times \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{wt}} (c_i(\psi_k, v_s) \times S_{n,i})^2} \quad (19)$$

trong đó

$c_i(\psi_k, v_s)$ là hệ số nhảy của tuabin gió riêng rẽ;

$S_{n,i}$ là công suất biểu kiến danh định của tuabin gió riêng rẽ;

N_{wt} là số tuabin gió nối vào điểm ghép nối chung.

8.2.3 Thao tác đóng cắt

Phát xạ nhảy do thao tác đóng cắt của một tuabin gió đơn lẻ được ước tính theo công thức (20) và (21) dưới đây.

$$P_{st} = 18 \times N_{10m}^{0,31} \times k_r(\psi_k) \times \frac{S_n}{S_k} \quad (20)$$

$$P_k = 8 \times N_{120m}^{0,31} \times k_r(\psi_k) \times \frac{S_n}{S_k} \quad (21)$$

trong đó $k_r(\psi_k)$ là hệ số bước nhảy của tuabin gió đối với ψ_k cho trước tại điểm ghép nối chung. Xem thêm Chú thích 1.

Hệ số bước nhảy của tuabin gió đối với ψ_k thực tế tại vị trí lắp đặt có thể được cho trong Bảng dữ liệu được suy ra từ kết quả của các phép đo mô tả tại 7.3.4 bằng cách áp dụng nội suy tuyến tính.

Trong trường hợp nhiều tuabin gió được nối vào điểm ghép nối chung, phát xạ nhảy từ toàn bộ tuabin gió này có thể được ước tính theo công thức (22) và (23) dưới đây.

$$P_{stz} = \frac{18}{S_k} \times \left(\sum_{i=1}^{N_{st}} N_{10m,i} \times (k_{r,i}(\psi_k) \times S_{n,i})^{3,2} \right)^{0,31} \quad (22)$$

$$P_{kz} = \frac{8}{S_k} \times \left(\sum_{i=1}^{N_{kz}} N_{120m,i} \times (k_{r,i}(\psi_k) \times S_{n,i})^{3,2} \right)^{0,31} \quad (23)$$

trong đó

$N_{10m,i}$ và $N_{120m,i}$ tương ứng là số thao tác đóng cắt của tuabin gió riêng rẽ trong giai đoạn 10 min và 2 h.

$k_{r,i}(\psi_k)$ là hệ số bước nhảy của tuabin gió riêng rẽ;

$S_{n,i}$ là công suất biểu kiến danh định của tuabin gió riêng rẽ. Xem thêm Chú thích 2.

Nếu có hệ thống điều khiển tổng thể cùng với hệ thống lắp đặt tuabin gió giới hạn tổng số thao tác đóng cắt thì cần thực hiện biện pháp thích hợp để thêm vào ảnh hưởng này.

Sự thay đổi điện áp tương đối do thao tác đóng cắt của một tuabin gió đơn lẻ được tính theo công thức (24) dưới đây:

$$d = 100 \times k_u(\psi_k) \times \frac{S_n}{S_k} \quad (24)$$

trong đó

d là hệ số thay đổi điện áp tương đối, tính bằng %.

$k_u(\psi_k)$ là hệ số thay đổi điện áp của tuabin gió với ψ_k cho trước tại điểm ghép nối chung.

Hệ số thay đổi điện áp của tuabin gió đối với ψ_k thực tại vị trí lắp đặt có thể được cho trong Bảng dữ liệu được suy ra từ kết quả của các phép đo mô tả tại 7.3.4 bằng cách áp dụng nội suy tuyến tính.

Trong trường hợp nhiều tuabin gió được nối vào điểm ghép nối chung thì vấn đề có khả năng ngay cả khi hai trong số các tuabin này có thao tác đóng cắt đồng thời. Vì vậy, không cần tính đến ảnh hưởng tổng thể để đánh giá sự thay đổi điện áp tương đối của hệ thống lắp đặt tuabin gió gồm có nhiều tuabin gió.

CHÚ THÍCH 1: Công thức (20) và (21) có thể được suy ra từ B.4.2 với thời gian quan sát là 600 s và 7 200 s tương ứng.

CHÚ THÍCH 2: Công thức (22) và (23) có thể được suy ra từ công thức (20) và (21) mặc dù bao gồm tổng số tuabin gió nối vào điểm ghép nối chung. Tổng này được điều chỉnh do phần quá độ của thao tác đóng cắt, tức là phần góp phần đáng kể vào phát xạ nhảy, thường xảy ra trong thời gian ngắn.

8.3 Hải dòng điện, hải trung gian và thành phần tần số cao hơn

Hải dòng điện phải được giới hạn ở mức độ cần thiết để tránh các điện áp hải không chấp nhận được tại điểm ghép nối chung.

Giới hạn áp dụng cho phát xạ hải có thể tìm bằng cách áp dụng hướng dẫn nêu trong IEC 61000-3-6.

IEC 61000-3-6 đưa ra hướng dẫn để tính méo hải dòng điện tổng từ tải. Áp dụng hướng dẫn này, hải dòng điện tại điểm ghép nối chung do hệ thống lắp đặt tuabin gió với nhiều tuabin gió có thể được tính theo công thức (25) sau đây:

$$I_{h\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{wt}} \left(\frac{I_{h,i}}{n_i} \right)^2} \tag{25}$$

trong đó

- N_{wt} số tuabin gió nối vào điểm ghép nối chung;
- $I_{h,i}$ dòng điện méo hải thứ h tại điểm ghép nối chung;
- n_i tỷ số máy biến áp tại tuabin gió thứ i ;
- $I_{h,i}$ dòng điện méo hải thứ h của tuabin gió thứ i ;
- β lũy thừa bằng giá trị cần chọn theo Bảng 3 và các điểm dưới đây.

Bảng 3 – Quy định kỹ thuật về lũy thừa theo IEC 61000-3-6

Bậc hải	β
$h < 5$	1,0
$5 \leq h \leq 10$	1,4
$h > 10$	2,0

Nếu các tuabin gió như nhau và chuỗi bộ chuyển đổi của chúng có thể hoán đổi nhau thì các hài có khả năng đồng pha và phải sử dụng $\beta = 1$ cho tất cả các bậc hài.

Công thức (25) không tính đến việc sử dụng máy biến áp có các nhóm vector khác nhau, có thể triệt tiêu các hài riêng rẽ. Nếu trường hợp này xảy ra thì cần có đủ biện pháp để tính đến ảnh hưởng này.

Công thức (25) có thể cũng được áp dụng cho các hài dòng điện trung gian và thành phần tần số cao hơn. Vì hài dòng điện trung gian và thành phần tần số cao hơn được giả thiết là không tương quan nên khuyến cáo sử dụng $\beta = 2$ trong công thức (25) để tính tổng của chúng.

Phụ lục A

(Tham khảo)

Ví dụ về biểu mẫu báo cáo

Phụ lục này đưa ra biểu mẫu khuyến nghị để báo cáo kết quả thử nghiệm đặc trưng hóa các thông số chất lượng điện năng của tuabin gió. Đánh giá viên cần điền vào các ô để trống và thêm đồ thị tại các Hình.

Báo cáo kết quả thử nghiệm chất lượng điện năng của tuabin gió

Các đặc tính được báo cáo có hiệu lực cho kết cấu cụ thể của một kiểu tuabin gió được đánh giá. Các kết cấu khác, kể cả thay đổi thông số điều khiển làm cho tuabin gió đáp ứng khác về chất lượng điện năng đều yêu cầu đánh giá riêng.

Tên tổ chức thử nghiệm	
Số báo cáo	
Tên gọi kiểu tuabin gió	
Nhà chế tạo tuabin gió	
Số seri của tuabin gió được thử nghiệm	

Tuabin gió được nhận biết ở trên đã được thử nghiệm theo TCVN 10687-21 (IEC 61400-21). Dữ liệu chung của tuabin gió được cho như dưới đây.

Kiểu tuabin gió (trục nằm ngang/thẳng đứng)	
Số cánh	
Đường kính rôto (m)	
Độ cao hub (m)	
Điều khiển cánh (xoay/đứng yên)	
Điều khiển tốc độ (có định/hai tốc độ/biến thiên)	
Kiểu và (các) thông số đặc trưng của máy phát (kW)	
Kiểu bộ chuyển đổi tần số và thông số đặc trưng (kVA)	
Kiểu bù công suất phản kháng và thông số đặc trưng (kvar)	
Tỷ số máy biến áp và thông số đặc trưng (kVA)	
Nhận biết các đầu nối của tuabin gió	

Báo cáo thử nghiệm này đi kèm các tài liệu quy định dưới đây.

Kiểu thông tin	
Mô tả tuabin gió thử nghiệm kể cả chế độ đặt của thông số điều khiển liên quan	
Mô tả vị trí thử nghiệm và đầu nối lưới	
Mô tả thiết bị thử nghiệm	
Mô tả điều kiện thử nghiệm	
Lưu ý ngoại trừ đối với TCVN 10678-21 (IEC 61400-21)	

Người thực hiện	
Kiểm tra	
Phê duyệt	
Ngày ban hành	

Thông số đặc trưng được xác định khác với các thông số được nêu trong tiêu chuẩn này được ghi lại. Các thông số này bao gồm thông số được tính toán thay vì đo. Ngoài tiêu chuẩn này, (các) tài liệu mô tả (các) quy trình thay thế khác cũng được áp dụng.

Thông số đặc trưng thu được được nêu dưới đây.

A.1 Dữ liệu danh định của tuabin gió tại các đầu nối

Công suất danh định, P_n (kW)	
Tốc độ gió danh định, v_n (m/s)	
Công suất biểu kiến danh định, S_n (kVA)	
Dòng điện danh định, I_n (A)	
Điện áp danh định, U_n (V)	
Tần số danh định, f_n (Hz)	

A.2 Dao động điện áp

A.2.1 Vận hành liên tục

Chế độ vận hành của tuabin gió trong khi thử nghiệm là:

Điều kiện điểm đặt công suất phản kháng, $Q = 0$

Chế độ khác:

Góc pha trở kháng mạng, ψ_k (°)	30	50	70	85
Tốc độ gió trung bình hàng năng, v_k (m/s)	Hệ số nhảy, $c(v_k, v_n)$			
6,0				
7,5				
8,5				
10,0				

A.2.2 Thao tác đóng cắt

Chế độ vận hành của tuabin gió trong khi thử nghiệm là:

Điều kiện điểm đặt công suất phản kháng, $Q = 0$

Chế độ khác:

Trường hợp của thao tác đóng cắt	Khởi động ở tốc độ gió đóng mạch			
Số thao tác đóng cắt tối đa, N_{10m}				
Số thao tác đóng cắt tối đa, N_{120m}				
Góc pha trở kháng mạng, φ_k (°)	30	50	70	85
Hệ số bước nhảy, k_f (φ_k)				
Hệ số thay đổi điện áp, k_u (φ_k)				

Trường hợp của thao tác đóng cắt	Khởi động ở tốc độ gió danh định hoặc cao hơn			
Số thao tác đóng cắt tối đa, N_{10m}				
Số thao tác đóng cắt tối đa, N_{120m}				
Góc pha trở kháng mạng, φ_k (°)	30	50	70	85
Hệ số bước nhảy, k_f (φ_k)				
Hệ số thay đổi điện áp, k_u (φ_k)				

Trường hợp của thao tác đóng cắt	Khởi động ở tốc độ gió danh định hoặc cao hơn			
Số thao tác đóng cắt tối đa, N_{10m}				
Số thao tác đóng cắt tối đa, N_{120m}				
Góc pha trở kháng mạng, φ_k (°)	30	50	70	85
Hệ số bước nhảy, k_f (φ_k)				
Hệ số thay đổi điện áp, k_u (φ_k)				

A.3 Hải dòng điện, hải trung gian và thành phần tần số cao hơn

Phát xạ hải dòng điện, hải trung gian và thành phần tần số cao hơn từ tuabin gió được xác định bằng phần trăm I_n đối với vận hành của tuabin gió trong phạm vi bin công suất 10, 20, ..., 100 % P_n .

Chế độ vận hành của tuabin gió trong khi thử nghiệm là:

Điều kiện điểm đặt công suất phản kháng, $Q = 0$

Chế độ khác:

A.3.1 Hải

P_{bin} (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	90	100
H	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										

TCVN 10687-21:2018

P_{bh} (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	90	100
H	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)	I_h (%)
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
THC (%)										

A.3.2 Hải trung gian

$P_{\text{bin}} (\%)$	0	10	20	30	40	50	60	70	90	100
$f (\text{Hz})$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$
75/90										
125/150										
175/210										
225/270										
275/330										
325/390										
375/450										
425/510										
475/570										
525/630										
575/690										
625/750										
675/810										
725/870										
775/930										
825/990										
875/1050										
925/1110										
975/1170										
1025/1230										
1075/1290										
1125/1350										
1175/1410										
1225/1470										
1275/1530										
1325/1590										
1375/1650										
1425/1710										
1475/1770										
1525/1830										
1575/1890										
1625/1950										
1675										
1725										
1775										
1825										
1875										
1925										
1975										

A.3.3 Thành phần tần số cao hơn

$P_{\text{bin}} (\%)$	0	10	20	30	40	50	60	70	90	100
$f \text{ (kHz)}$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$	$I_h (\%)$
2,1										
2,3										
2,5										
2,7										
2,9										
3,1										
3,3										
3,5										
3,7										
3,9										
4,1										
4,3										
4,5										
4,7										
4,9										
5,1										
5,3										
5,5										
5,7										
5,9										
6,1										
6,3										
6,5										
6,7										
6,9										
7,1										
7,3										
7,5										
7,7										
7,9										
8,1										
8,3										
8,5										
8,7										
8,9										

A.4 Đáp ứng khi sụt áp

Chế độ vận hành của tuabin gió:

Điều kiện thử nghiệm:

Hình A.1 Chuỗi thời gian của sụt áp đo được khi tuabin gió cần thử nghiệm không được kết nối. Trường hợp VD1-VD6.

Kết quả thử nghiệm khi vận hành ở công suất trong phạm vi từ $0,1 P_n$ đến $0,3 P_n$:

Hình A.2a Chuỗi thời gian của công suất tác dụng cơ bản thứ tự thuận đo được. Trường hợp VD1-VD6.

Hình A.2b Chuỗi thời gian của công suất phản kháng cơ bản thứ tự thuận đo được. Trường hợp VD1-VD6.

Hình A.3a Chuỗi thời gian của dòng điện tác dụng cơ bản thứ tự thuận đo được. Trường hợp VD1-VD6.

Hình A.3b Chuỗi thời gian của dòng điện phản kháng cơ bản thứ tự thuận đo được. Trường hợp VD1-VD6.

Hình A.4 Chuỗi thời gian của điện áp cơ bản thứ tự thuận đo được trên các đầu nối của tuabin gió. Trường hợp VD1-VD6.

Kết quả thử nghiệm khi vận hành ở công suất lớn hơn $0,9 P_n$:

Hình A.5a Chuỗi thời gian của công suất tác dụng cơ bản thứ tự thuận đo được. Trường hợp VD1-VD6.

Hình A.5b Chuỗi thời gian của công suất phản kháng cơ bản thứ tự thuận đo được. Trường hợp VD1-VD6.

Hình A.6a Chuỗi thời gian của dòng điện tác dụng cơ bản thứ tự thuận đo được. Trường hợp VD1-VD6.

Hình A.6b Chuỗi thời gian của dòng điện phản kháng cơ bản thứ tự thuận đo được. Trường hợp VD1-VD6.

Hình A.7 Chuỗi thời gian của điện áp cơ bản thứ tự thuận đo được trên các đầu nối của tuabin gió. Trường hợp VD1-VD6.

A.5 Công suất tác dụng

A.5.1 Công suất đo được lớn nhất

Giá trị trung bình 600 s

Giá trị đo được, P_{600} (kW)	
Giá trị danh nghĩa, $P_{600} = P_n$	

Giá trị trung bình 60 s

Giá trị đo được, P_{60} (kW)	
Giá trị danh nghĩa, $P_{60} = P_{60} / P_n$	

Giá trị trung bình 0,2 s

Giá trị đo được, $P_{0,2}$ (kW)	
Giá trị danh nghĩa, $P_{0,2} = P_{0,2} / P_n$	

A.5.2 Giới hạn tốc độ thay đổi công suất

Chế độ vận hành của tuabin gió: Giới hạn tốc độ thay đổi công suất được đặt bằng 10 % công suất danh định trong một phút

Hình A.8a Chuỗi thời gian của công suất ra tác dụng khả dụng và đo được.

Hình A.8b Chuỗi thời gian của tốc độ gió đo được trong khi thử nghiệm.

A.5.3 Điều khiển điểm đặt

Chế độ vận hành của tuabin gió: Chế độ điều khiển điểm đặt công suất tác dụng

Hình A.9a Chuỗi thời gian của các giá trị điểm đặt công suất tác dụng, công suất khả dụng và công suất ra tác dụng đo được.

Hình A.9b Chuỗi thời gian của tốc độ gió đo được trong khi thử nghiệm.

A.6 Công suất phản kháng**A.6.1 Dung lượng công suất phản kháng**

Chế độ vận hành của tuabin gió: Chế độ điều khiển điểm đặt công suất phản kháng

Công suất phản kháng (% của giá trị danh định)																				
Công suất phản kháng lớn nhất của cuộn cảm (kvar)																				
Công suất phản kháng lớn nhất của tụ điện (kvar)																				

A.6.2 Điều khiển điểm đặt

Chế độ vận hành của tuabin gió: Chế độ điều khiển điểm đặt công suất phản kháng

Điểm đặt công suất phản kháng = 0 kvar:

Công suất tác dụng (% của giá trị danh định)																				
Công suất phản kháng (kvar)																				

Thay đổi bước điểm đặt công suất phản kháng:

Hình A.9 Chuỗi thời gian của các giá trị điểm đặt công suất phản kháng và công suất phản kháng đo được.

Hình A.10 Chuỗi thời gian của công suất tác dụng khi thử nghiệm (phải xấp xỉ 50 % giá trị danh định).

A.7 Bảo vệ lưới

	Mức bảo vệ		Thời gian ngắt đầu nối (s)	
	Điểm đặt	Đo được	Điểm đặt	Đo được
Quá điện áp				
Điện áp thấp				
Quá tần số				
Tần số thấp				

A.8 Thời gian đầu nối lại

Thời gian sự cố lưới	10 s	1 min	10 min
Thời gian sự cố lưới thực đo được			
Thời gian đầu nối lại			

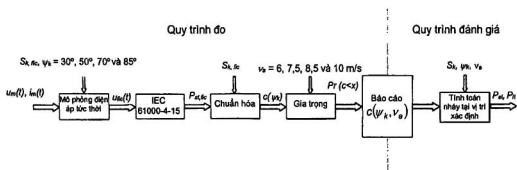
Phụ lục B

(Tham khảo)

Dao động điện áp và nhảy

B.1 Vận hành liên tục

Quy trình đo và đánh giá nhảy trong quá trình vận hành liên tục được thể hiện trên Hình B.1. Quy trình đo được thể hiện trên Hình B.1 hoàn thiện hơn trong khi quy trình đánh giá khá đơn giản.



Hình B.1 – Quy trình đo và đánh giá nhảy trong quá trình vận hành liên tục của tuabin gió

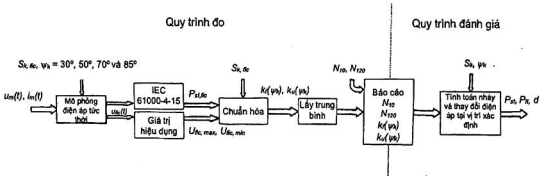
Minh họa quy trình đo ở Hình B.1 như sau:

- 1) đo số chuỗi thời gian điện áp $u_m(t)$ và dòng điện $i_m(t)$, được phân bố trong khoảng tốc độ gió từ thời điểm tốc độ gió đóng mạch đến 15 m/s;
- 2) từng tập hợp chuỗi thời gian đo được được sử dụng là đầu vào để mô phỏng dao động điện áp, $u_k(t)$ trên lưới điện giả định với công suất biểu kiến ngắn mạch $S_{k,sc}$ thích hợp và cho bốn góc pha trở kháng mạng khác nhau, ψ_k ;
- 3) từng chuỗi thời gian điện áp tức thời được mô phỏng $u_k(t)$ sau đó được sử dụng là đầu vào của thuật toán nhảy điện áp mô tả trong IEC 61000-4-15 để tạo ra giá trị phát xạ nhảy $P_{st,sc}$;
- 4) từng giá trị $P_{st,sc}$ được chuẩn hóa với hệ số nhảy $c(\psi_k)$, về nguyên tắc không phụ thuộc vào công suất biểu kiến ngắn mạch đã chọn $S_{k,sc}$;
- 5) đối với góc pha trở kháng mạng ψ_k , quy trình gia trọng tính hàm phân bố tích lũy trọng số của hệ số nhảy, $Pr(c < x)$, giải thiết cho bốn phân bố tốc độ gió khác nhau. $Pr(c < x)$ thể hiện phân bố hệ số nhảy sẽ thu được nếu các phép đo được thực hiện ở vị trí có tốc độ gió phân bố Rayleigh của v_g trung bình;
- 6) đối với từng phân bố tích lũy, phân vị thứ 99 $c(\psi_k, v_g)$ của hệ số nhảy được ghi vào báo cáo.

Quy trình đánh giá quy định cách hệ số nhảy đã ghi vào báo cáo có thể được sử dụng để tính phát xạ nhảy từ tuabin gió đơn lẻ hoặc một nhóm tuabin gió vận hành liên tục tại vị trí quy định bất kỳ.

B.2 Thao tác đóng cắt

Quy trình đo và đánh giá nhảy trong quá trình thao tác đóng cắt được thể hiện trên Hình B.2. Quy trình này xác định cách đo và đánh giá sự thay đổi điện áp và nhảy. Quy trình đo được thể hiện trên Hình B.1 hoàn thiện hơn trong khi quy trình đánh giá khá đơn giản.



Hình B.2 – Quy trình đo và đánh giá sự thay đổi điện áp và nhảy trong thao tác đóng cắt của tuabin gió

Minh họa quy trình đo đối với thao tác đóng cắt như sau:

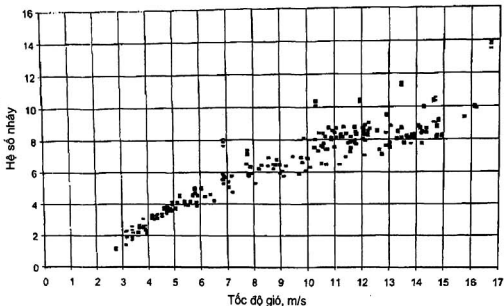
- 1) đo số chuỗi thời gian điện áp $u_m(t)$ và dòng điện $i_m(t)$ cho từng kiểu đóng cắt quy định;
- 2) từng tập hợp chuỗi thời gian đo được được sử dụng là đầu vào để mô phỏng dao động điện áp, $u_{tc}(t)$ trên lưới điện giả định với công suất biểu kiến ngắn mạch S_{k, ψ_k} thích hợp và cho bốn góc pha trở kháng mạng khác nhau, ψ_k ;
- 3) từng chuỗi thời gian điện áp tức thời được mô phỏng $u_{tc}(t)$ sau đó được sử dụng là đầu vào của thuật toán nhảy điện áp mô tả trong IEC 61000-4-15 để tạo ra giá trị phát xạ nhảy $P_{st, k0}$ và là đầu vào của thuật toán tính giá trị hiệu dụng để xác định giá trị hiệu dụng lớn nhất trong một giai đoạn $U_{tc, max}$ và trị hiệu dụng nhỏ nhất trong một giai đoạn $U_{tc, min}$;
- 4) từng giá trị $P_{st, k0}$ được chuẩn hóa với hệ số bước nhảy $k_r(\psi_k)$ và từng giá trị thay đổi điện áp $U_{tc, max} - U_{tc, min}$ được chuẩn hóa với hệ số thay đổi điện áp $k_r(\psi_k)$;
- 5) đối với góc pha trở kháng mạng ψ_k , hệ số bước nhảy đo được và hệ số thay đổi điện áp được lấy trung bình;
- 6) hệ số bước nhảy trung bình và hệ số thay đổi điện áp sau đó được ghi vào báo cáo cùng với số thao tác đóng cắt tối đa N_{10m} trong thời gian 10 min và số thao tác đóng cắt tối đa N_{120m} trong thời gian 120 min cho từng kiểu thao tác đóng cắt.

Quy trình đánh giá đối với thao tác đóng cắt xác định cách tính phát xạ nhảy và thay đổi điện áp từ các thao tác đóng cắt ở vị trí xác định bất kỳ, sử dụng hệ số bước nhảy và hệ số thay đổi điện áp đã ghi trong báo cáo. Các phương pháp được đưa ra cho một tuabin gió đơn lẻ cũng như một nhóm tuabin gió.

B.3 Gia trọng hệ số nhảy

Ví dụ dưới đây minh họa quy trình gia trọng, được sử dụng trong tiêu chuẩn này để suy ra các hệ số nhảy $c(\psi_k, v_a)$ cho bốn phân bố tốc độ gió khác nhau. Việc xác định hệ số nhảy chỉ thể hiện cho góc pha trở kháng mạng $\psi_k = 50^\circ$. Quy trình như vậy phải được thực hiện cho các góc pha trở kháng mạng bằng 30° , 70° và 85° .

Hình B.3 thể hiện một tập hợp các hệ số nhảy đo được $c(\psi_k)$ là hàm của tốc độ gió đối với góc pha trở kháng mạng $\psi_k = 50^\circ$.



Hình B.3 – Hệ số nhảy là hàm của tốc độ gió

Để có được hệ số nhảy thu được sử dụng các hệ số nhảy này $c(\psi_k, v_a)$ đối với từng phân bố tốc độ gió, phải thực hiện các bước sau:

- phân loại các hệ số nhảy $c(\psi_k)$ trong các bin tốc độ gió 1 m/s;
- xác định số lượng phép đo trong từng bin tốc độ gió;
- xác định hệ số gia trọng w_i cho từng bin tốc độ gió;
- xác định phân bố tích lũy gia trọng $Pr(c < x)$;
- xác định phân vị thứ 99, cho hệ số nhảy $c(\psi_k, v_a)$.

Trong ví dụ này, tốc độ gió đóng mạch của tuabin gió là $v_{cut-in} = 3$ m/s. Một số phép đo được thực hiện ở tốc độ gió thấp hơn tốc độ gió đóng mạch và tại tốc độ gió lớn hơn 15 m/s. Các phép đo này không được tính đến. Chỉ các phép đo ở tốc độ gió cao hơn tốc độ gió đóng mạch và thấp hơn 15 m/s được sử dụng để tính hệ số nhảy $c(\psi_k, v_a)$.

Bảng B.1 thể hiện các bin tốc độ gió, số phép đo của từng bin, tần số xuất hiện tương đối của hệ số nháy đo được $f_{m,j}$ đối với từng bin tốc độ gió và phân bố Rayleigh, $f_{y,j}$ cho tốc độ gió trung bình hàng năm $v_s = 6 \text{ m/s}, 7,5 \text{ m/s}, 8,5 \text{ m/s}$ và 10 m/s .

Bảng B.1 – Số phép đo $N_{m,j}$ và tần số xuất hiện $f_{m,j}$ và $f_{y,j}$ đối với từng bin tốc độ gió trong dải từ tốc độ gió đóng mạch đến 15 m/s

Dải bin tốc độ gió m/s	Số phép đo $N_{m,j}$	$f_{m,j}$	$f_{y,j}$	$f_{y,j}$	$f_{y,j}$	$f_{y,j}$
		%	%	%	%	%
			6 m/s	7,5 m/s	8,5 m/s	10 m/s
3 - <4	30	5,38	11,64	8,21	6,64	4,98
4 - <5	36	6,45	12,57	9,44	7,83	6,02
5 - <6	45	8,06	12,37	10,04	8,59	6,80
6 - <7	33	5,91	11,26	10,04	8,91	7,32
7 - <8	42	7,53	9,58	9,53	8,83	7,56
8 - <9	33	5,91	7,67	8,65	8,41	7,56
9 - <10	33	5,91	5,80	7,52	7,74	7,34
10 - <11	69	12,37	4,15	6,29	6,88	6,93
11 - <12	87	15,59	2,82	5,07	5,94	6,39
12 - <13	60	10,75	1,82	3,95	4,97	5,75
13 - <14	45	8,06	1,11	2,97	4,05	5,07
14 - <15	45	8,06	0,65	2,16	3,21	4,37
Tổng N_m	558					

Hệ số gia trọng, w_i , là tỷ số giữa tần số xuất hiện tốc độ gió $f_{y,j}$ và tần số xuất hiện hệ số nháy $f_{m,i}$.

Bảng B.2 cho hệ số gia trọng, w_i , cho từng bin tốc độ gió.

Bảng B.2 – Hệ số gia trọng w_i đối với từng bin tốc độ gió

Dải bin tốc độ gió m/s	$w_{y,j}$	$w_{y,j}$	$w_{y,j}$	$w_{y,j}$
	6 m/s	7,5 m/s	8,5 m/s	10 m/s
3 - <4	2,165	1,527	1,236	0,927
4 - <5	1,949	1,464	1,214	0,933
5 - <6	1,533	1,245	1,065	0,843
6 - <7	1,904	1,698	1,507	1,237
7 - <8	1,273	1,267	1,173	1,005
8 - <9	1,297	1,462	1,423	1,278
9 - <10	0,980	1,272	1,308	1,241
10 - <11	0,335	0,509	0,557	0,561
11 - <12	0,181	0,325	0,381	0,410
12 - <13	0,169	0,367	0,463	0,535
13 - <14	0,138	0,368	0,502	0,628
14 - <15	0,081	0,267	0,398	0,542

Tổng cộng hệ số gia trọng cho từng bin nhân với số phép đo cho bin đó được cho trong Bảng B.3.

Bảng B.3 – Tổng cộng hệ số gia trọng nhân với số phép đo cho tất cả các bin tốc độ gió

v_s (m/s)	6,0	7,5	8,5	10,0
$\sum_{i=1}^{N_{bin}} W_i \times N_{m,i}$	454,40	467,99	457,64	424,60

Ở bước tiếp theo, các phép đo được sắp xếp theo hệ số nhảy $c(\psi_k)$. Việc này được minh họa trong Bảng B.4 trong đó hàng phía trên cho giá trị lớn nhất của tất cả các hệ số nhảy $c(\psi_k)$ trong dải tốc độ gió từ 3 m/s đến 15 m/s. Hệ số nhảy lớn nhất $c(\psi_k)$ là 100 %, tức là hệ số phân bố tích lũy gia trọng $Pr(c < 11,495) = 1,0$. Các hàng tiếp theo của Bảng B.4 được hoàn thành bằng cách lấy con số ở hàng trước đó trừ đi thương của hệ số gia trọng của phép đo liên quan (từ Bảng B.2) và tổng cộng hệ số gia trọng (từ Bảng 3).

Bảng 4 – Phân bố tích lũy gia trọng của hệ số nhảy $Pr(c < x)$ đối với từng phân bố tốc độ gió

Hệ số nhảy đã sắp xếp	Tốc độ gió tương ứng m/s	$Pr(c < x)$	$Pr(c < x)$	$Pr(c < x)$	$Pr(c < x)$
		6 m/s	7,5 m/s	8,5 m/s	10 m/s
11,495	13,4	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
11,379	13,4	0,9997	0,9992	0,9989	0,9985
11,298	13,4	0,9994	0,9984	0,9978	0,9970
10,584	14,6	0,9991	0,9976	0,9967	0,9956
10,472	11,9	0,9989	0,9971	0,9958	0,9943
10,444	14,6	0,9985	0,9964	0,9950	0,9933
10,418	11,9	0,9983	0,9958	0,9941	0,9920
10,418	10,3	0,9979	0,9951	0,9933	0,9911
10,364	14,6	0,9972	0,9940	0,9921	0,9898
10,308	14,6	0,9970	0,9935	0,9912	0,9885
10,286	10,3	0,9968	0,9929	0,9903	0,9872
10,280	11,9	0,9961	0,9918	0,9891	0,9859
10,104	10,3	0,9957	0,9911	0,9883	0,9849
10,059	14,2	0,9950	0,9900	0,9871	0,9836
9,931	14,2	0,9948	0,9894	0,9862	0,9823
:		:	:	:	:
8,882	12,9	0,9906	0,9788	0,9713	0,9620
8,858	12,9	0,9902	0,9780	0,9703	0,9608
8,846	12,1	0,9898	0,9772	0,9693	0,9595
8,836	11,3	0,9895	0,9765	0,9683	0,9582
8,831	12,1	0,9891	0,9758	0,9674	0,9573

Phân vị thứ 99 liên quan được in đậm trong Bảng B.4. Các phân vị thứ 99 này cho hệ số nhảy $c(\psi_k, v_s)$ đối với góc pha trở kháng mạng bằng 50° đối với báo cáo đo, như thể hiện trong Bảng B.5.

Bảng B.5 – Hệ số nhảy thu được khi vận hành liên tục

ψ_k (°)	30	50	70	85
v_a (m/s)	Hệ số nhảy			
6,0		8,9		
7,5		10,1		
8,5		10,3		
10,0		10,4		

Hệ số nhảy ghi vào báo cáo phân vị thứ 99 của các giá trị trong khoảng tốc độ gió từ tốc độ gió đóng mạch đến 15 m/s mà không cần đối với tốc độ gió từ "0" đến "vô cùng".

Độ không đảm bảo do đo thời gian đo giới hạn được thể hiện trong Bảng B.6. Sử dụng hàm phân bố tích lũy đối với phân bố Rayleigh, ba hàng đầu thể hiện xác suất tốc độ gió thấp, trong phạm vi hoặc lớn hơn khoảng đo quy định từ 3 m/s đến 15 m/s. Trong trường hợp tốt nhất, tất cả các hệ số nhảy ngoài khoảng đo thấp hơn phân vị thứ 99 nằm trong khoảng đo này. Trong trường hợp đó, phân vị ghi vào báo cáo thực tế tương ứng với phân vị trong trường hợp tốt nhất trong Bảng B.6. Trong trường hợp xấu nhất, tất cả các hệ số nhảy trong khoảng tốc độ gió lớn hơn 15 m/s lớn hơn phân vị thứ 99 nằm trong khoảng đo. Trong trường hợp đó, phân vị ghi vào báo cáo tương ứng với phân vị trong trường hợp xấu nhất trong Bảng B.6. Có thể nhìn thấy rằng, phân vị thực tế của phân vị ghi vào báo cáo là không chắc chắn cho các phân bố tốc độ gió có các giá trị cao về tốc độ gió trung bình hàng năm. Độ không đảm bảo có thể giảm về mức mong muốn bất kỳ bằng cách tăng giới hạn trên của khoảng đo lên cao hơn 15 m/s. Tuy nhiên, việc này thường làm tăng đột ngột thời gian thử nghiệm yêu cầu và do đó, làm tăng chi phí đo.

Bảng B.6 – Xác suất và phân vị đối với tốc độ gió khác nhau

v_a (m/s)	6,0	7,5	8,5	10,0
$P(v < 3 \text{ m/s})$ (%)	17,8	11,8	9,3	6,8
$P(3 \text{ m/s} < v < 15 \text{ m/s})$ (%)	81,4	83,9	82,0	76,1
$P(v < 3 \text{ m/s})$ (%)	0,7	4,3	8,7	17,1
Phân vị trường hợp tốt nhất (%)	99,2	99,2	99,2	99,2
Phân vị trường hợp xấu nhất (%)	98,4	94,8	90,5	82,2

CHÚ THÍCH: Ba hàng đầu thể hiện xác suất tốc độ gió thấp, trong phạm vi hoặc lớn hơn khoảng đo quy định từ 3 m/s đến 15 m/s. Từ các xác suất này, các khoảng đo có thể của các phân vị đo được thực tế được cho bởi hai hàng cuối.

B.4 Diễn giải các định nghĩa

B.4.1 Hệ số nháy

Giá trị nháy mô phỏng $P_{st,fc}$ phụ thuộc vào công suất ngắn mạch của lưới, $S_{k,fc}$, và góc trở kháng lưới, ψ_k . $P_{st,fc}$ xấp xỉ tỷ lệ nghịch với $S_{k,fc}$, trong khi đó, mối liên quan giữa $P_{st,fc}$ và ψ_k phụ thuộc vào kiểu tuabin gió. Do đó, hệ số nháy, $c(\psi_k)$, được xác định để:

$$P_{st,fc} = c(\psi_k) \times \frac{S_n}{S_{k,fc}} \quad (B.1)$$

trong đó S_n là công suất biểu kiến danh định của tuabin gió.

Vi vậy, hệ số nháy, $c(\psi_k)$ trở thành:

$$c(\psi_k) = P_{st,fc} \times \frac{S_{k,fc}}{S_n} \quad (B.2)$$

B.4.2 Hệ số bước nháy

IEC 61000-3-3 xác định phương pháp phân tích để đánh giá nháy, dựa vào sự thay đổi điện áp và hệ số hình dạng. Hệ số hình dạng, $F = 1$, tương ứng với sự thay đổi điện áp bậc thang. Phương pháp này được sử dụng để xác định hệ số bước nháy, $k_f(\psi_k)$, trong tiêu chuẩn này. Hệ số bước nháy được xác định sao cho nó có thể được sử dụng để tính bước điện áp tương ứng, có mức khắc nghiệt về nháy giống như thao tác đóng cắt. Định nghĩa chính thức là:

$$d_{max} = k_f(\psi_k) \times \frac{S_n}{S_{k,fc}} \times 100 \quad (B.3)$$

trong đó d_{max} là bước điện áp tương ứng, tính bằng phần trăm của điện áp danh định.

Áp dụng phương pháp phân tích trong IEC 61000-3-3, bước điện áp, d_{max} , cho thời gian nháy, t_f , theo công thức:

$$t_f = 2,3 \times d_{max}^{3,2} \quad (B.4)$$

và thời gian nháy này cho mức khắc nghiệt nháy, $P_{st,fc}$, theo công thức:

$$P_{st,fc} = \left(\sum \frac{t_f}{T_p} \right)^{1/3,2} \quad (B.5)$$

trong thời gian quan sát, T_p . Với thời gian của một nháy đơn lẻ, t_f , như trên,

$$P_{st,fc} = 100 \times k_f(\psi_k) \times \frac{S_n}{S_{k,fc}} \times \left(\frac{2,3}{T_p} \right)^{1/3,2} \quad (B.6)$$

Sử dụng kết quả này, hệ số bước nhảy, , có thể được xác định là:

$$k_f(\psi_k) = \frac{S_{k,fc}}{100 \times S_n} \times \left(\frac{T_p}{2,3} \right)^{3,2} \times P_{st,fc} \quad (B.7)$$

Thời gian quan sát, T_p , trong công thức (B.7) là khoảng thời gian của chuỗi thời gian điện áp mô phỏng, tính bằng giây.

B.4.3 Hệ số thay đổi điện áp

Sự thay đổi điện áp tương đối, Δu , do các thao tác đóng cắt phụ thuộc vào công suất ngắn mạch của lưới, $S_{k,fc}$, và góc trở kháng mạng ψ_k . Δu xấp xỉ tỷ lệ nghịch với $S_{k,fc}$, trong khi đó mối liên quan giữa Δu và ψ_k phụ thuộc vào công nghệ tuabin gió. Do đó, hệ số thay đổi điện áp, Δu , được xác định theo công thức:

$$\Delta u = k_u(\psi_k) \times \frac{S_n}{S_{k,fc}} \quad (B.8)$$

Thay sự thay đổi điện áp mô phỏng trên lưới bởi công suất ngắn mạch của lưới, $S_{k,fc}$, hệ số thay đổi điện áp có thể được xác định bởi:

$$k_u(\psi_k) = \sqrt{3} \times \frac{U_{fc,max} - U_{fc,min}}{U_n} \times \frac{S_{k,fc}}{S_n} \quad (B.9)$$

trong đó

$U_{fc,max}$ và $U_{fc,min}$ là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất tương ứng của điện áp pha-trung tính mô phỏng, $u_{fc}(t)$, trên lưới điện giả định.

Phụ lục C

(tham khảo)

Đo công suất tác dụng, công suất phản kháng và điện áp

Phụ lục này đưa ra quy trình khuyến cáo để tính công suất tác dụng, công suất phản kháng, dòng điện tác dụng, dòng điện phản kháng và điện áp là các thành phần thứ tự thuận dựa trên phép đo điện áp và dòng điện tức thời.

Lý do đưa ra công suất, dòng điện và điện áp là các thành phần thứ tự thuận nhằm xác định rõ các định nghĩa về đại lượng và xác định rõ tầm quan trọng cụ thể đối với trường hợp hệ thống điện không cân bằng. Các lý do khác là:

- Thành phần thứ tự thuận là thành phần tạo ra mômen trong các máy quay. Thành phần thứ tự nghịch và các hài chỉ là nguyên nhân gây ra tổn hao.
- Trong nhiều trường hợp, dòng điện phản kháng được xác định thay cho công suất phản kháng. Sử dụng thành phần thứ tự thuận thì dòng điện phản kháng có thể được tính toán rõ ràng. Việc này cũng áp dụng tương tự cho hệ số công suất.
- Nhiều bộ mô phỏng hệ thống điện chỉ sử dụng thành phần thứ tự thuận. Do đó, để dễ dàng xác nhận các mô phỏng, cần thực hiện các phép đo theo cách tương tự.

Để đo thành phần thứ tự thuận của điện áp và dòng điện, cần phải có một bộ ghi dữ liệu đa kênh có tốc độ lấy mẫu cao (thường là ít nhất 2 KHz cho mỗi kênh). Bộ lọc chống răng cưa analog (bộ lọc thông thấp) cần có cùng một đáp ứng tần số trong tất cả điện áp và dòng điện đầu vào để ngăn ngừa lỗi pha. Ngoài ra, lỗi biên độ do bộ lọc chống răng cưa cần không đáng kể ở tần số cơ bản.

Khi đo điện áp và dòng điện pha, các hệ số Fourier của thành phần cơ bản trước tiên được tính toán trong một chu kỳ cơ bản T (công thức được đưa ra ở đây chỉ cho điện áp pha u_a ; các điện áp và dòng điện pha khác được tính tương tự).

$$u_{a,\cos} = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t u_a(t) \cos(2\pi f_1 t) dt \quad (C.5)$$

$$u_{a,\sin} = \frac{2}{T} \int_{t-T}^t u_a(t) \sin(2\pi f_1 t) dt \quad (C.6)$$

trong đó f_1 là tần số của thành phần.

Giá trị hiệu dụng của điện áp pha thành phần là:

$$U_{a1} = \sqrt{\frac{U_{a,\cos}^2 + U_{a,\sin}^2}{2}} \quad (C.7)$$

Các thành phần vector điện áp và dòng điện của thành phần thứ tự thuận được tính bởi:

$$u_{1+,\cos} = \frac{1}{6} [2u_{a,\cos} - u_{b,\cos} - u_{c,\cos} - \sqrt{3}(u_{c,\sin} - u_{b,\sin})] \quad (C.8)$$

$$u_{1+,\sin} = \frac{1}{6} [2u_{a,\sin} - u_{b,\sin} - u_{c,\sin} - \sqrt{3}(u_{b,\cos} - u_{c,\cos})] \quad (C.9)$$

$$i_{1+,\cos} = \frac{1}{6} [2i_{a,\cos} - i_{b,\cos} - i_{c,\cos} - \sqrt{3}(i_{c,\sin} - i_{b,\sin})] \quad (C.10)$$

$$i_{1+,\sin} = \frac{1}{6} [2i_{a,\sin} - i_{b,\sin} - i_{c,\sin} - \sqrt{3}(i_{b,\cos} - i_{c,\cos})] \quad (C.11)$$

Công suất tác dụng và công suất phản kháng của thành phần thứ tự thuận khi đó là:

$$P_{1+} = \frac{3}{2} (u_{1+,\cos} i_{1+,\cos} + u_{1+,\sin} i_{1+,\sin}) \quad (C.12)$$

$$Q_{1+} = \frac{3}{2} (u_{1+,\cos} i_{1+,\sin} - u_{1+,\sin} i_{1+,\cos}) \quad (C.13)$$

và điện áp pha-pha hiệu dụng của thành phần thứ tự dương là:

$$U_{1+} = \sqrt{\frac{3}{2} (u_{1+,\sin}^2 + u_{1+,\cos}^2)} \quad (C.14)$$

Dòng điện tác dụng và công suất phản kháng của thành phần thứ tự thuận khi đó là:

$$I_{P_{1+}} = \frac{P_{1+}}{\sqrt{3} U_{1+}} \quad (C.15)$$

$$I_{Q_{1+}} = \frac{Q_{1+}}{\sqrt{3} U_{1+}} \quad (C.16)$$

Hệ số công suất của thành phần thứ tự thuận là:

$$\cos \varphi_{1+} = \frac{P_{1+}}{\sqrt{P_{1+}^2 + Q_{1+}^2}} \quad (C.17)$$

Các phép tính này có thể được thực hiện trong chương trình bảng tính hoặc sử dụng chương trình riêng của máy tính. Giá trị mới của công suất phản kháng và công suất tác dụng cần được tính ít nhất một lần trong tất cả các giai đoạn cơ bản sử dụng dữ liệu mới nhất.

Thư mục tài liệu tham khảo

- [1] IEC 61000-3-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-3: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection* (Tương thích điện từ (EMC) - Phần 3-3: Giới hạn – Giới hạn thay đổi điện áp, dao động điện áp và nháy trong hệ thống cấp điện hạ áp công cộng, dùng cho thiết bị có dòng điện danh định ≤ 16 A mỗi pha và không phụ thuộc vào điều kiện đấu nối)
- [2] IEC/TR 61000-3-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-6: Limits – Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems* (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 3-6: Giới hạn – Đánh giá các giới hạn phát xạ đối với việc đấu nối các hệ thống lắp đặt có méo về điện đến hệ thống điện MV, HV và EHV)
- [3] IEC/TR 61000-3-7, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-7: Limits -Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems – Basic EMC publication* (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 3-7: Giới hạn – Đánh giá các giới hạn phát xạ đối với việc đấu nối các hệ thống có dao động về điện đến hệ thống điện MV, HV và EHV – Ấn phẩm cơ bản về EMC)
- [4] IEC 61000-4-30, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-30: Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods* (Tương thích điện từ (EMC) – Phần 4-30: Kỹ thuật thử nghiệm và đo – Phương pháp đo chất lượng điện năng)
- [5] TCVN 10687-1 (IEC 61400-1), *Tuabin gió – Phần 1: Yêu cầu thiết kế*
- [6] Thomas Ackerman (editor), *Wind power in power systems, January 2005, John Wiley and Sons Ltd, ISBN 0470855088, 690 pages* (Tua bin gió trong hệ thống điện)
-