

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**



TRẦN DUY TRINH

**NGHIÊN CỨU ĐIỀU KHIỂN BỘ KHÔI PHỤC
ĐIỆN ÁP ĐỘNG (DVR) ĐỂ BÙ LỖM ĐIỆN ÁP CHO PHỤ
TẢI QUAN TRỌNG TRONG XÍ NGHIỆP CÔNG NGHIỆP**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA

HÀ NỘI-2014

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài:

Ứng dụng các bộ biến đổi bán dẫn công suất lớn trong điều khiển hệ thống điện đưa đến những khả năng to lớn trong đảm bảo vận hành hệ thống một cách linh hoạt, khai thác hệ thống một cách hiệu quả nhất. Điều này đã trở nên vô cùng quan trọng trong các điều kiện chi phí để xây dựng các hệ thống mới hoặc cải tạo các hệ thống hiện hành ngày càng tăng. Bên cạnh đó việc đảm bảo chất lượng điện năng cũng ngày càng trở nên cấp thiết do điện năng ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động sản xuất kinh doanh của các khách hàng ngành điện, những người trả tiền cho yêu cầu năng lượng của mình và có quyền yêu cầu được đảm bảo nguồn điện cung cấp một cách liên tục với chất lượng điện áp đáp ứng đầy đủ các tiêu chuẩn.

Bộ khôi phục điện áp động (Dynamic Voltage Restorer–DVR) xây dựng trên cơ sở bộ biến đổi bán dẫn là thiết bị nhằm đảm bảo khôi phục điện áp trên các phụ tải nhạy cảm khi có sự lổm điện áp ngắn hạn, có thời gian kéo dài từ khoảng nửa chu kỳ điện áp lưới 0,01s đến cỡ dưới 60s, từ phía nguồn cấp. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng các biến động điện áp kiểu này thuộc loại sự cố xảy ra có tần suất lớn nhất trong các loại sự cố khác về nguồn điện, so với các loại sự cố khác như mất điện ngắn hạn, cỡ trên 60s đến 5 phút, hoặc mất hẳn điện, từ 5 phút trở lên, hoặc dao động điện áp với tần số rất thấp, 0,1Hz đến 1Hz, còn gọi là hiện tượng “flicker”–nhấp nháy điện. Mặc dù lổm điện áp xảy ra trong một thời gian rất ngắn, một số phụ tải như các hệ thống điều khiển, các loại biến tần điều khiển động cơ đã có thể bị dừng. Trong một số trường hợp các thiết bị này có thể đóng vai trò chủ chốt trong toàn bộ dây truyền hoạt động của nhà máy, khi bị dừng dẫn tới phải dừng toàn bộ dây truyền mà sự khởi động trở lại rất tốn kém và kéo dài. Nếu là hệ thống điều khiển hoặc xử lý số liệu có thể dẫn tới gián đoạn hoặc mất thông tin, cũng dẫn đến những hậu quả nghiêm trọng.

Hệ thống cung cấp nguồn liên tục (UPS), là một giải pháp thông dụng hiện nay có thể bảo vệ tải nhạy cảm khỏi bị tác động của lổm điện áp, nhưng chỉ áp dụng cho các phụ tải công suất nhỏ và điện áp thấp, với các hệ thống công suất lớn thì UPS là thiết bị quá đắt tiền vì UPS phải đảm bảo hoàn toàn công suất tải. Trong trường hợp này DVR là giải pháp tiết kiệm, có thể được lắp đặt để bảo vệ các tải nhạy cảm quan trọng, những hệ thống thiết bị có sẵn và đang bị ảnh hưởng của những sự cố lổm điện áp ngắn hạn, kéo dài dưới một phút. Lý do phải dùng DVR là vì việc khắc phục bằng cách cải tạo hệ thống phân phối là không thể thực hiện được, có thể do không đủ kinh phí hoặc không thể gián đoạn sản xuất hoặc hệ thống điện nằm ngoài tầm quản lý của doanh nghiệp.

Trong thực tế lổm điện áp là dạng nhiễu loạn xuất hiện không biết trước và tồn tại trong thời gian ngắn, bao gồm cả biến động về biên độ điện áp cũng như góc pha, có đặc điểm phức tạp và tính chất lổm thay đổi liên tục trong thời gian xảy ra biên cố. Do đó yêu cầu đặt ra đối với DVR là phải có cấu trúc phù hợp, đảm bảo được khả năng khôi phục điện áp nhất định trên tải khi nguồn đầu vào có biến động. DVR là bộ biến đổi bán dẫn dùng để tạo ra nguồn áp, đưa qua máy biến áp phối hợp, tạo ra bộ bù điện áp nối tiếp giữa tải và nguồn. Hệ thống điều khiển phải có khả năng phát hiện các sai lệch điện áp về biên độ và góc pha, từ đó đưa ra lượng đặt đến bộ biến đổi điện tử công suất nhằm tạo ra điện áp có giá trị đủ để bù phần sụt áp phía nguồn, giữ cho điện áp phía tải trong phạm vi cho phép.

Hệ thống điều khiển phải đảm bảo yêu cầu về tác động nhanh, độ chính xác cao để có thể khôi phục điện áp trên tải ngay trong khoảng thời gian từ một nửa chu kỳ đến hai chu kỳ điện áp lưới (0.01s÷0.04s) đối với các kiểu lổm điện áp. Mặt khác, DVR cần đảm bảo

các chế độ hoạt động, đó là chế độ bù, chế độ chờ, chế độ by-pass, trong phạm vi giới hạn của công suất thiết kế.

2. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài:

Nghiên cứu và giải quyết các vấn đề về cấu trúc phân lực và điều khiển DVR nhằm đảm bảo cho các phụ tải nhạy cảm hoàn toàn không bị chịu tác động của các loại sự cố kiểu lôm-dâng điện áp ngắn hạn từ nguồn.

Nghiên cứu chỉ ra các điều kiện để có thể đưa vào ứng dụng thiết bị DVR một cách hiệu quả nhất đối với các xí nghiệp công nghiệp thông qua áp dụng cho một trường hợp thực tế điển hình.

3. Mục tiêu đối tượng và phạm vi nghiên cứu:

Các mục tiêu nghiên cứu sau đây sẽ thực hiện trong luận án.

- Tìm hiểu về đặc điểm lôm điện áp, nguyên nhân và những ảnh hưởng của nó đối với xí nghiệp công nghiệp và các giải pháp giảm thiểu.
- Nghiên cứu cấu trúc mạch lực bộ khôi phục điện áp động (DVR) để đảm bảo khả năng đưa ra điện áp bù ứng với toàn giải thay đổi của phụ tải và biên độ lôm điện áp cũng như thời gian biến động.
- Nghiên cứu các cấu trúc và thiết kế tham số cho hệ thống điều khiển đảm bảo tính tác động nhanh và chính xác của DVR
- Nghiên cứu áp dụng DVR trong lưới điện của xí nghiệp công nghiệp thông qua một trường hợp thực tế điển hình.
- Xây dựng mô hình mô phỏng và mô hình thực nghiệm để kiểm tra chất lượng thuật toán điều khiển đề xuất và khả năng khôi phục điện áp của DVR.

Trên cơ sở mục tiêu của luận án, đối tượng nghiên cứu của đề tài sẽ được tập trung hướng đến giải quyết các vấn đề về:

- Nhiễu loạn lôm điện áp, ảnh hưởng của lôm điện áp đối với xí nghiệp công nghiệp, phương pháp giảm thiểu lôm điện áp và giải pháp DVR.
- Cấu hình của DVR bao gồm; bộ biến đổi bán dẫn công suất, bộ lọc phía xoay chiều, máy biến áp nối tiếp, bộ lưu trữ năng lượng và DC-link, các cấu trúc liên kết giữa các phần tử.
- Các mạch vòng và thuật toán điều khiển của DVR bao gồm; Xây dựng các mạch vòng dòng điện, điện áp, thuật toán điều khiển điện áp tải của DVR, thuật toán điều khiển phát hiện lôm, áp dụng thuật toán điều khiển đồng bộ lưới (PLL), thiết kế các bộ điều khiển được áp dụng.
- Mô hình mô phỏng bao gồm; mô hình hóa lưới điện, mô hình hóa DVR, mô hình hóa đối tượng được bảo vệ là tải nhạy cảm quan trọng, mô hình hóa các biến cố điện áp trên lưới, mô hình mô phỏng thực hiện trên phần mềm Matlab/Simulink.
- Mô hình thực nghiệm DVR bảo vệ tải nhạy cảm $P_{dm}=5kW$, điện áp 380V xây dựng tại phòng thí nghiệm.
- Trường hợp áp dụng kết nối DVR với lưới điện thực tế gồm; tìm hiểu lưới điện thực tế của nhà máy xi măng Hoàng Mai, các biến cố điện áp trên lưới, phụ tải nhạy cảm quan trọng bị ảnh hưởng tại nhà máy, vị trí lắp đặt DVR.

Đề tài nghiên cứu được giới hạn trong phạm vi là tìm hiểu về lôm điện áp và ảnh hưởng của nó đến các xí nghiệp công nghiệp. Phân tích lựa chọn cấu hình phân lực và nghiên cứu phát triển các thuật toán điều khiển DVR để khôi phục điện áp trên tải, bảo vệ tải nhạy cảm. Đưa ra các điều kiện và thủ tục để áp dụng DVR trong các xí nghiệp công nghiệp, thông qua một trường hợp cụ thể trong thực tế. Các kết quả nghiên cứu của luận án được

kiểm tra đánh giá thông qua mô phỏng và xây dựng một mô hình thực nghiệm ở phòng thí nghiệm.

4. Phương pháp nghiên cứu:

Các phương pháp nghiên cứu sẽ được vận dụng trong đề tài này.

- Khảo sát thực tế, thống kê, phân tích và đánh giá thực trạng.
- Sử dụng mô hình mạch điện, lý thuyết điều khiển vector, lý thuyết điều khiển tuyến tính trong xây dựng vòng điều chỉnh và thiết kế bộ điều khiển.
- Mô phỏng trên máy tính thông qua phần mềm Matlab-Simulink, thực nghiệm kiểm tra và khẳng định các kết quả nghiên cứu lý thuyết.

5. Nội dung của luận án:

Nội dung của luận án được trình bày theo các chương sau đây:

Mở đầu: Nêu mục tiêu, nhiệm vụ và nội dung nghiên cứu. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài nghiên cứu.

Chương 1: Giảm thiểu ảnh hưởng của lổm điện áp bằng bộ khôi phục điện áp động.

Trình bày tổng quan về lổm điện áp và các phương pháp giảm thiểu lổm điện áp, trong đó trọng tâm nghiên cứu phương pháp giảm thiểu hiệu quả nhất là sử dụng bộ khôi phục điện áp động (DVR). Các phương pháp điều khiển DVR đã được nghiên cứu đến nay trong các công trình sẽ được tóm tắt ngắn gọn, qua đó chỉ ra những hạn chế trong điều khiển bù lổm cần được khắc phục, đồng thời chỉ ra hướng nghiên cứu phát triển điều khiển DVR.

Chương 2: Cấu trúc bộ khôi phục điện áp động

Trình bày chức năng nhiệm vụ của các thành phần trong hệ thống, các kiểu kết nối, phương pháp bảo vệ cho DVR và cuối cùng là lựa chọn một cấu trúc phần cứng điển hình của DVR đủ để tiếp tục nghiên cứu phát triển thuật toán điều khiển của hệ thống.

Chương 3: Điều khiển bộ khôi phục điện áp động

Tập trung nghiên cứu điều khiển DVR, bao gồm; điều khiển khôi phục điện áp tải, điều khiển đồng bộ điện áp lưới, điều khiển phát hiện lổm điện áp và điều khiển điện áp DC-link. Trong đó, trọng tâm nghiên cứu phát triển điều khiển khôi phục điện áp tải của DVR, bao gồm các chiến lược điều khiển, mô hình toán học, các cấu trúc và thuật toán điều khiển vector trên hệ tọa độ quay dq và hệ tọa độ tĩnh $\alpha\beta$, các bộ điều khiển và thiết kế bộ điều khiển được trình bày. Cuối cùng là các nghiên cứu ổn định hệ thống.

Chương 4: Giải pháp áp dụng DVR cho xí nghiệp công nghiệp.

Trình bày các điều kiện áp dụng DVR cho các xí nghiệp công nghiệp, các bước thực hiện thiết kế cụ thể, thông qua một trường hợp áp dụng DVR bảo vệ một tải nhạy cảm quan trọng thực tế là tổ hợp Biến tần-Động cơ ID 142-FN1 trong ngành công nghiệp xi măng. Xây dựng mô hình mô phỏng DVR kết nối hệ thống lưới điện như đã được thiết kế, thuật toán điều khiển đề xuất ở chương 3 cũng được áp dụng cài đặt trong mô hình.

Chương 5: Xây dựng mô hình thực nghiệm DVR

Chương này trình bày cách thức xây dựng bàn thí nghiệm, cài đặt thuật toán điều khiển đề xuất, thực hiện thí nghiệm và lấy kết quả.

Kết Luận và kiến nghị

Cuối cùng là phần kết luận và kiến nghị của toàn bộ luận án, khẳng định lại những kết quả đã đạt được trong quá trình nghiên cứu, những tồn tại và hướng phát triển của đề tài.

6. Dự kiến các kết quả nghiên cứu mới:

- Đưa ra cấu trúc và thuật toán điều khiển cho bộ khôi phục điện áp động (DVR) trong bù lờm điện áp cân bằng và không cân bằng. Nó được dựa trên phương pháp điều khiển vector trên hệ tọa độ quay dq và hệ tọa độ tĩnh $\alpha\beta$ với hai vòng điều khiển tương ứng cho mỗi thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch được điều khiển riêng biệt.
- Khảo sát và phân tích được nguyên nhân sự cố lờm điện áp và ảnh hưởng của nó đến phụ tải nhạy cảm quan trọng trong ngành công nghiệp xi măng như tổ hợp Biến tần-Động cơ quạt ID. Kết quả khảo sát đã chỉ ra các điều kiện để có thể đưa vào ứng dụng thiết bị DVR một cách hiệu quả nhất thông qua một trường hợp thực tế điển hình
- Một mô hình mô phỏng kết hợp lưới điện, các phụ tải và DVR nối lưới ở cấp trung áp 6,3kV để bảo vệ tải nhạy cảm quan trọng là tổ hợp Biến tần-Động cơ quạt công nghệ 142-FN1. Mô hình được phát triển và thực hiện trong phần mềm Matlap/Simulink.
- Thực hiện thành công mô hình thực nghiệm (trong phòng thí nghiệm) với các thuật toán điều khiển được cài đặt trên bộ xử lý tín hiệu dSPACE card DS11040 để đánh giá khả năng làm việc của DVR trong bù lờm điện áp và giảm thiểu nhiễu loạn điện áp.

Chương 1: GIẢM THIỂU ẢNH HƯỞNG CỦA LỖM ĐIỆN ÁP BẰNG BỘ KHÔI PHỤC ĐIỆN ÁP ĐỘNG (DVR)

Trong chương này sẽ trình bày tổng quan về lờm điện áp và các phương pháp giảm thiểu lờm điện áp, trong đó trọng tâm nghiên cứu phương pháp giảm thiểu hiệu quả nhất là sử dụng bộ khôi phục điện áp động (DVR), được dựa trên việc điều khiển bộ biến đổi điện tử công suất. Các phương pháp điều khiển DVR đã được nghiên cứu đến nay trong các công trình sẽ được tóm tắt ngắn gọn, qua đó chỉ ra những hạn chế trong điều khiển bù lờm cần được khắc phục, đồng thời chỉ ra hướng nghiên cứu phát triển điều khiển DVR nhằm mục đích khôi phục điện áp tải khi gặp phải bất cứ nhiễu loạn lờm điện áp nào xuất hiện từ phía nguồn cấp. Nội dung trong chương một được tham khảo trong các tài liệu [1,3,8,9,14,15,16,17,18,19,25,29,32,39,62].

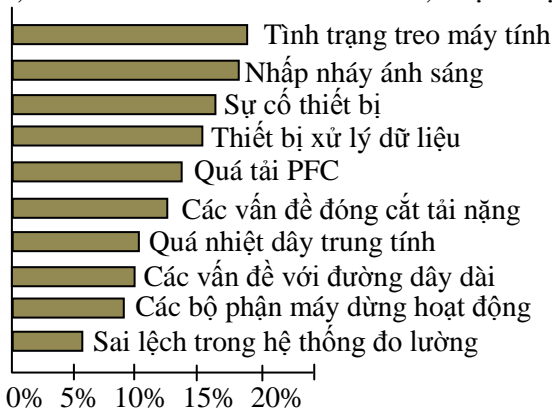
1.1 Chất lượng điện năng và vấn đề lờm điện áp

1.1.1 Chất lượng điện năng

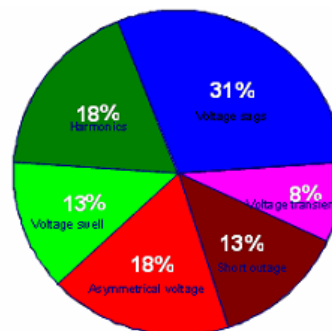
Vấn đề chất lượng điện bao gồm một loạt các rối loạn liên quan đến điện áp, dòng điện và độ lệch tần số. Các nhiễu loạn đó có thể là:

- Gián đoạn ngắn
- Lờm/dâng điện áp
- Quá độ dòng điện và điện áp
- Sự méo dạng của các sóng dòng điện và điện áp
- Nháy điện
- Mất cân bằng
- Thay đổi tần số nguồn

Các vấn đề chất lượng điện năng đã được xác định trong một số tiêu chuẩn như; IEC 61000, IEEE 1159-1995 và EN 50160, hoặc được định nghĩa trong các tài liệu [14,15].



Hình 1.1 Các vấn đề thường xảy ra liên quan đến chất lượng điện kém được xác định tại 1400 địa điểm ở 8 quốc gia [14].



Hình 1.2 Tỷ lệ phần trăm các biến cố điện áp [14]

Những tổn thất từ chất lượng điện năng kém đối với khách hàng dùng điện, đặc biệt là các xí nghiệp công nghiệp, từ lâu đã được biết đến, nhưng để giảm thiểu nó còn gặp nhiều khó khăn. Một nghiên cứu thực hiện bởi Hội đồng châu Âu [25], bao gồm 1400 vị trí trong 8 quốc gia về các biến cố điện áp tại các địa điểm khác nhau trong hệ thống điện. Kết quả thu được thể hiện ở đồ thị hình 1.1, chỉ ra những vấn đề gặp phải từ chất lượng điện áp

kém tại các địa điểm khác nhau trong hệ thống điện và đồ thị hình 1.2 cho biết tỷ lệ phần trăm của các nhiễu loạn trên lưới điện phân phối.

Hiện nay cả công ty điện lực và khách hàng dùng điện đang ngày càng quan tâm đến vấn đề chất lượng điện năng vì những lý do:

- Công nghiệp hiện đại phát triển, thiết bị thế hệ mới tạo ra quá trình tự động hóa cao trong hoạt động sản xuất như; bộ điều khiển vi xử lý, máy vi tính, robot công nghiệp, các hệ truyền động có điều khiển tốc độ, các thiết bị điều khiển trong hệ thống thông tin công nghiệp.v.v. chúng nhạy cảm với các biến động của chất lượng điện năng hơn là thiết bị được sử dụng trong quá khứ.

- Các chú trọng hơn về vận hành và khai thác hiệu quả hệ thống năng lượng điện đã dẫn đến sự gia tăng trong việc áp dụng các thiết bị hiệu suất cao như; bộ điều chỉnh tốc độ động cơ, tụ điện song song hiệu chỉnh hệ số công suất để giảm tổn thất hoặc phát triển các hệ thống nguồn phân tán nối lưới như; hệ thống điện mặt trời, hệ thống điện gió... Điều này có thể dẫn đến hậu quả tăng mức độ hài trên các hệ thống điện, tăng các biến cố như dao động điện áp hoặc thay đổi tần số.

- Người dùng điện có một nhận thức tốt hơn về các vấn đề chất lượng điện năng. Họ nhận thức tốt hơn về các vấn đề như gián đoạn, lờm điện áp, sóng hài, quá độ và đang yêu cầu cung cấp nguồn năng lượng có độ tin cậy và chất lượng cao từ nhà cung cấp. Ngược lại nhà cung cấp năng lượng luôn chịu một áp lực từ những đòi hỏi của khách hàng và những tổn thất do chất lượng điện kém gây nên trong truyền tải điện năng.

Trong số các nhiễu loạn trên hệ thống điện thì lờm điện áp là loại nhiễu loạn nghiêm trọng nhất và có tần suất xuất hiện lớn nhất, theo kết quả khảo sát ở hình 1.2 chiếm 31%. Lờm điện áp xảy ra trong thời gian ngắn, liên quan đến suy giảm điện áp và nhảy góc pha. Khi có một biến cố trên lưới điện (ví dụ ngắn mạch) có thể ở vị trí rất xa so với thiết bị đầu cuối, dẫn đến xuất hiện một lờm điện áp lan truyền đến nhiều vị trí khác nhau trên lưới điện và có thể đến các vị trí kết nối của tải nhạy cảm để gây ảnh hưởng, tài liệu [21,22,24]. Trong các xí nghiệp công nghiệp các tải nhạy cảm quan trọng thường có ảnh hưởng rất lớn đến toàn bộ hoạt động của các dây chuyền sản xuất. Trong khi đó chính những tải này lại rất nhạy cảm với tác động của lờm điện áp gây ra dừng máy, mất hoặc sai lệch thông tin, dẫn đến các bộ phận khác của dây chuyền cũng bị dừng theo, sự khởi động trở lại rất tốn kém và kéo dài. Vì vậy, lờm điện áp là nhiễu loạn được lựa chọn trong số các nhiễu loạn liên quan đến chất lượng điện năng để nghiên cứu giảm thiểu trong luận án này. Để có thể đưa ra các phương pháp giảm thiểu, cần thiết phải phân tích rõ về nguyên nhân, đặc điểm của nó.

1.1.2 Lờm điện áp

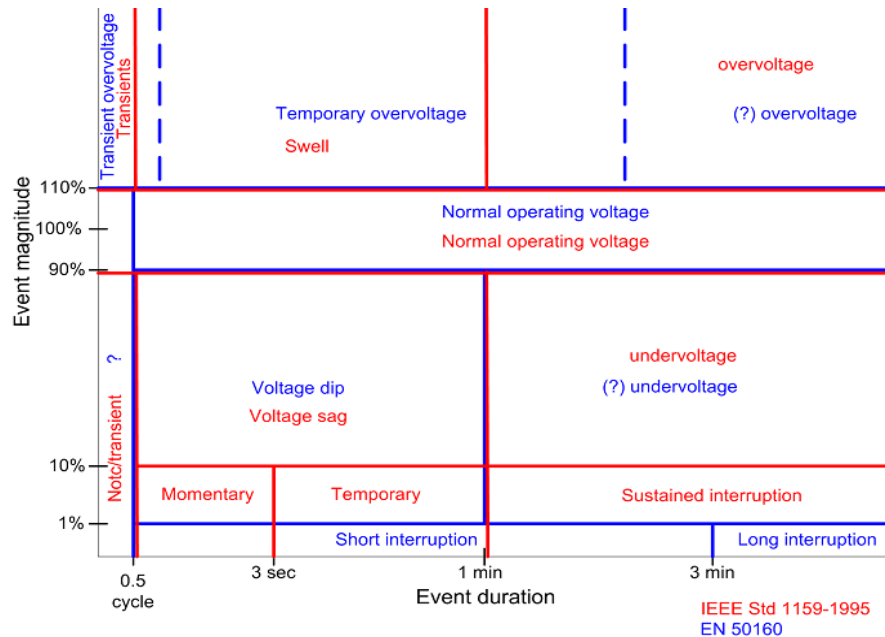
a) Định nghĩa lờm điện áp

Theo IEEE Std. 1159-1995, lờm điện áp là hiện tượng suy giảm điện áp tức thời đột ngột tại một thời điểm mà giá trị điện áp hiệu dụng (RMS) của nó giữa 10% đến 90% so với điện áp chuẩn, tiếp theo đó điện áp được phục hồi trong một thời gian rất ngắn, từ một nửa chu kỳ của điện áp lưới (10ms) đến một phút. Trong khi dâng điện áp là sự tăng đột ngột giá trị RMS lên quá một giá trị ngưỡng nhất định. Thông thường giá trị ngưỡng này bằng 110% giá trị định mức điện áp nguồn[14].

Ở hình 1.3 lờm điện áp được định nghĩa theo tiêu chuẩn IEEE Std 1159-1995 và EN 50160, trong đó chỉ ra sự khác nhau giữa lờm điện áp và gián đoạn ngắn. Tuy nhiên thuật ngữ được sử dụng trong các tiêu chuẩn đối với lờm điện áp có sự khác nhau. Ví dụ: cùng

một dạng nhiễu loạn thì trong EN 50.160 được gọi là "voltage dips" trong khi trong IEEE Std. 1159 nó được gọi là "voltage sag".

Thuật ngữ "voltage sags" hay "voltage dips" được coi là từ đồng nghĩa vì nó được dùng để chỉ một dạng nhiễu loạn. Trong luận án này thuật ngữ "lỗi điện áp" được lựa chọn sử dụng.



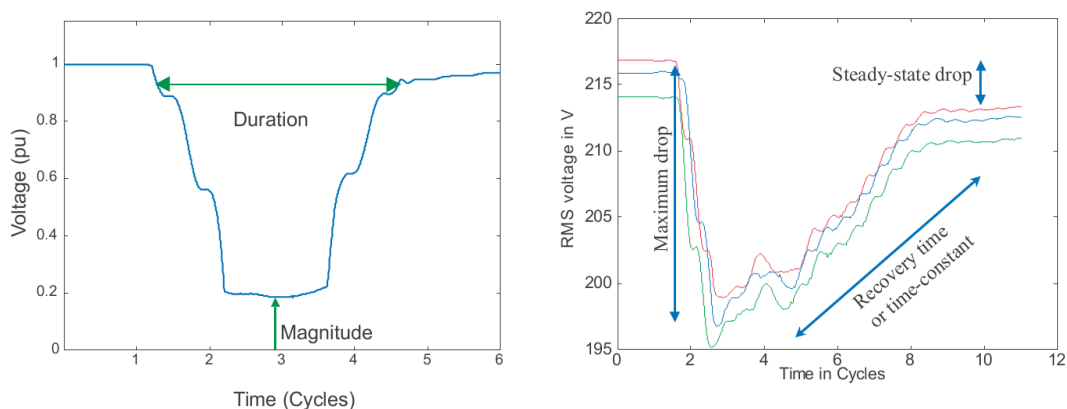
Hình 1.3 Định nghĩa của biến cố điện áp dựa trên các tiêu chuẩn [25]

Tóm tắt của các định nghĩa lỗi điện áp được đưa ra trong các tiêu chuẩn được trình bày trong bảng 1.1 [14].

Bảng 1.1 Định nghĩa của lỗi điện áp theo tiêu chuẩn IEEE std 1159-1995, tiêu chuẩn IEEE std. 1250-1995 và tiêu chuẩn IEC 6100-2-1 1990, tài liệu[14].

Standard	Magnitude	Duration	Applicability
EN 50160	1% - 90%	0.5 cycles to 1 min	LV and MV (up to 35 kV)
IEEE Std 1159-1995	10% - 90%	0.5 cycles to 1 min	LV, MV, HV
IEEE Std 1250-1995	Reduction of voltage	0.5 cycles to few sec	LV, MV, HV
IEC 6100-2-1-1990	-----	0.5 cycles to few sec	LV, MV, HV

Một số hình ảnh mô tả của lỗi điện áp được thể hiện ở hình 1.4



Hình 1.4 Lỗi điện áp một pha và lỗi điện áp ba pha [22]

b) Nguồn gốc của lǒm điện áp

Trong hệ thống năng lượng có thể phân biệt các nguyên nhân gây lǒm điện áp như sau, tài liệu [14, 15, 21,23,24]:

- Các lỗi hệ thống nguồn; sét, gió, băng tuyết, nhiễm bẩn của thiết bị cách điện, động vật tiếp xúc, tai nạn giao thông, xây dựng. Các lỗi kể trên thường dẫn đến ngắn mạch. Dòng ngắn mạch gây lǒm điện áp trong suốt thời gian ngắn mạch và lan truyền đến các vị trí khác nhau trên lưới điện. Thông thường nhất là ngắn mạch kiểu một pha, do đó gây nên sự giảm điện áp một pha có độ sâu phụ thuộc vào điểm đo so với vị trí xảy ra ngắn mạch.

- Khởi động thiết bị có công suất lớn so với công suất ngắn mạch của hệ thống tại điểm kết nối. Sự giảm gây ra bởi sự khởi động mạch truyền động công suất lớn thông thường nhất là ba pha đối xứng có giá trị lǒm điện áp tương đối lớn trong thời gian giảm kéo dài tương đối lâu.

- Giảm điện áp gây ra bởi đóng mạch các biến áp năng lượng vào hệ thống, dẫn đến lǒm điện áp không đối xứng kết hợp với sự có mặt của các hài bậc hai và bậc bốn.

- Các biến động của tải; trong các lưới ba pha sự giảm điện áp có thể phân loại theo tính không đối xứng điện áp trong khi nhiễu loạn. Độ không đối xứng này cũng như điện áp trong các pha riêng biệt phụ thuộc vào kiểu ngắn mạch và phương pháp đấu nối các cuộn biến áp năng lượng giữa chỗ ngắn mạch và điểm kết nối thiết bị [14, 19].

Lǒm điện áp thường xảy ra do hậu quả ngắn mạch, các lỗi chạm đất, máy biến áp năng lượng, kết nối của các động cơ cảm ứng công suất lớn.

c) Đặc điểm lǒm điện áp

Độ lớn và khoảng thời gian là hai đặc điểm quan trọng nhất của lǒm điện áp, mà theo IEEE Std 1159 (1995), độ lớn lǒm nằm trong khoảng từ 10% đến 90% điện áp danh định và thời gian lǒm từ nửa chu kỳ đến một phút.

- **Độ lớn lǒm điện áp:** là điện áp hiệu dụng theo phần trăm hoặc trên một đơn vị tương đối (p.u) còn lại trong "biến cố" của điện áp trước khi có lỗi, [22]

Điện áp hiệu dụng dùng để xác định mức độ lǒm điện áp được tính theo (1.1).

$$V_{rms}(k) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=k-N+1}^k v_i^2} \quad (1.1)$$

N là số lượng mẫu trên mỗi chu kỳ, v_i là điện áp tức thời lấy mẫu và k là thời điểm khi tính điện áp hiệu dụng. Ở đây, điện áp hiệu dụng được tính toán với N mẫu điện áp tức thời trước đó. Ngoài ra nó có thể ước tính giá trị điện áp hiệu dụng chỉ bằng một nửa chu kỳ của giá trị tức thời, [22].

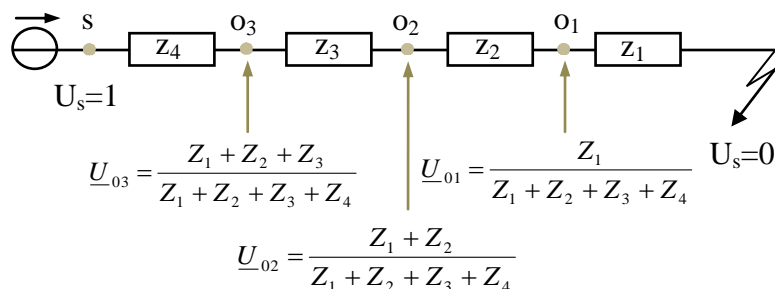
$$V_{rms(1/2)}(k) = \sqrt{\frac{2}{N} \sum_{i=k-(N/2)+1}^k v_i^2} \quad (1.2)$$

Các thuật toán nửa chu kỳ là nhạy và chính xác hơn với những thay đổi trong điện áp, có phản ứng nhanh hơn để phát hiện một biến cố. Tuy vậy nó cho thấy dao động khi có một thành phần hài bậc 2 trong các tín hiệu điện áp [23].

Độ lớn của các lǒm điện áp phụ thuộc bởi khoảng cách của các điểm quan sát từ vị trí ngắn mạch và nguồn cung cấp. Mức điện áp rơi tại một điểm quan sát cụ thể trong các lǒm là một giá trị ngẫu nhiên, tùy thuộc vào vị trí của nó trong mạng điện liên quan đến một ngắn mạch.

Xét trường hợp một lỗi ngắn mạch với trở kháng tại điểm ngắn mạch bằng không, hệ thống có thể được đại diện bởi một mạch tương đương một pha như trong hình 1.5.

Điện áp tại các điểm xem xét O_1 , O_2 hay O_3 phụ thuộc vào trở kháng tương đương kết nối điểm đó đến vị trí ngắn mạch (SC) và nguồn. Tùy thuộc vào độ lớn tương đối của các trở kháng, độ sâu của các lổm điện áp có thể khác nhau trên phạm vi 0-100%, tài liệu [14].



Hình 1.5 Điện áp tại các điểm O_1, O_2 và O_3 đối với ngắn mạch tại điểm SC và một nguồn tương đương (thể hiện trong điều kiện điện áp pu); Z , trở kháng tương đương [14]

Điểm cần được xem xét gần vị trí ngắn mạch thì điện áp còn lại là thấp hơn. Mặt khác, gần các điểm được coi là nguồn cung cấp (thông thường, một nguồn năng lượng, mà cũng có thể là một bảng các tụ điện, pin, máy quay, vv), điện áp sụt giảm ít hơn trong thời gian xảy ra biến cố.

Ngắn mạch trên hệ thống truyền tải có thể dẫn đến một sự sụt giảm điện áp được quan sát thấy trên một khu vực rất rộng, khoảng cách có thể lên đến vài trăm kilômet. Một ngắn mạch trong một mạch điện phân phối có ảnh hưởng trong phạm vi nhỏ hơn nhiều.

• **Khoảng thời gian lổm điện áp:** là khoảng thời gian giảm điện áp hiệu dụng dưới 90% của lổm điện áp danh định, tài liệu [14,22]

Thời gian lổm điện áp chủ yếu được xác định bởi thời gian hoạt động của thiết bị bảo vệ để loại bỏ ngắn mạch từ hệ thống, chủ yếu là cầu chì, máy cắt và role bảo vệ. Các đặc tính thời gian của các thiết bị bảo vệ sẽ được phân chia và phối hợp với nhau, do đó, một lỗi được phát hiện bởi một số thiết bị bảo vệ sẽ được hủy bỏ tại điểm thích hợp nhất của hệ thống, thông thường, gần nhất với vị trí lỗi.[14]

Nhiều lỗi được hủy bỏ trong phạm vi thời gian khác nhau. Với thời gian nhanh hơn có thể đạt được đối với ngắn mạch trên đường dây truyền tải (từ 60 đến 150 ms), trong khi lỗi hủy bỏ trên các mạch phân phối có thể chậm hơn đáng kể (với cấp MV từ 0,5 đến 2s, cấp LV, tùy thuộc vào đặc điểm cầu chì) [14].

Khi một biến cố khác với một ngắn mạch, thời gian được điều chỉnh bởi nguyên nhân gây ra biến cố đó.

• **Nhảy góc pha**

Một biến cố xảy ra trên lưới điện chẳng hạn như một lỗi ngắn mạch sẽ tạo các lổm điện áp khác nhau trên các vị khác nhau của lưới điện. Ảnh hưởng đó không chỉ liên quan đến độ lớn của các điện áp pha mà còn gây ra hiện tượng thay đổi góc pha. Sự thay đổi trong góc pha được gọi là *nhảy góc pha*. Nhảy góc pha được xem như là một sự dịch chuyển điểm qua không của điện áp tức thời và đó là nguyên nhân dẫn đến sự cố đối với các bộ biến đổi điện tử công suất sử dụng góc pha làm thông tin để phát xung điều khiển, [22].

• **Các kiểu của lổm điện áp ba pha**

Tùy thuộc vào kiểu lỗi trên lưới điện và kiểu kết nối của máy biến áp năng lượng cùng với đường dây nguồn, dẫn đến các kiểu lổm điện áp khác nhau và có thể được phân biệt như sau, tham khảo tài liệu [8,9,32].