

# CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG, GIẢI PHÁP NÂNG CAO VÀ CÁC TIÊU CHUẨN LIÊN QUAN

Phạm Thị Thanh Loan  
Trường Đại học Mở - địa chất

**Tóm tắt:** Chất lượng điện năng ngày nay đang trở thành một vấn đề được quan tâm đặc biệt trong bối cảnh sự gia tăng nhanh chóng của các nhóm tải nhạy cảm và hiện đại trong hệ thống phân phối điện. Chất lượng điện kém có thể xuất phát từ nguồn cấp không ổn định như nguồn năng lượng tái tạo, hoặc do tính phi tuyến của tải. Thiết bị điện và quá trình sản xuất bị ảnh hưởng nghiêm trọng, hiệu quả kinh tế bị tổn thất nặng nề đòi hỏi các bên liên quan cần có một nhận thức sâu sắc hơn về chất lượng điện năng. Bài báo này là một đánh giá toàn diện về tất cả những thách thức của vấn đề chất lượng điện năng bao gồm tầm quan trọng, nguyên nhân, phân loại, các tiêu chuẩn được quy định bởi IEEE và ICE và giải pháp cải thiện chất lượng điện năng thường được áp dụng trong hệ thống điện hiện đại. Bản chất và đặc điểm của các vấn đề chất lượng điện năng được trình bày rõ ràng với mục đích giảm thiểu chúng một cách hiệu quả bằng các giải pháp tương ứng.

**Từ khóa:** Chất lượng điện năng (PQ), Vấn đề chất lượng điện năng, Tiêu chuẩn chất lượng điện năng, Giải pháp giảm thiểu.

## I. MỞ ĐẦU

### 1.1. Chất lượng điện năng

Chất lượng điện năng (Power Quality-PQ) được quy định là giới hạn điện cho phép thiết bị hoạt động tại điều kiện đặt trước mà không gây ra bất kỳ tổn thất lớn nào hoặc giảm tuổi thọ trong quá trình thực hiện. Chất lượng điện năng được coi là tốt nếu thiết bị trong hệ thống điện đó hoạt động một cách an toàn và tin cậy [1]. Chất lượng điện năng kém có thể dẫn đến trực tiếp về thiết bị, giảm hiệu suất hệ thống và hiệu quả kinh tế của cả đơn vị cung cấp điện cũng như bên tiêu thụ điện.

Lưới điện ngày nay hoàn toàn khác biệt và liên tục thay đổi do sự xuất hiện của các hệ thống phát điện và phân phối điện kiểu mới như năng lượng mặt trời, năng lượng gió... Bên cạnh đó, với sự phát triển của khoa học công nghệ, các phụ tải cùng các đặc tính tải đang trở nên biến động nhanh hơn, dẫn đến yêu cầu chất lượng điện năng cao hơn và nhu cầu đáp ứng bù công suất phản kháng nhanh hơn.

Việc sử dụng rộng rãi các thiết bị điện như: động cơ công suất lớn, các bộ biến đổi điện tử công suất (AC

drives, DC drives), các thiết bị điện tử có sử dụng các bộ nguồn đóng cắt tần số cao (Máy tính, máy in, tivi,...) đã dẫn đến sự thay đổi hoàn toàn về bản chất phụ tải. Do tính phi tuyến, tất cả các tải này đều gây ra méo dạng sóng điện áp, dòng điện của nguồn điện đầu vào và là nguyên nhân chính của các vấn đề liên quan đến chất lượng điện [2]. Ba vấn đề phổ biến của chất lượng điện năng hiện nay là hệ số công suất thấp, sóng hài cao và mất cân bằng lưới điện. Ngoài ra các hiện tượng như dao động điện thoáng qua (sag, swell), nhấp nháy điện áp (flicker), dao động điện áp và tần số, ...cũng ảnh hưởng không nhỏ tới chất lượng điện năng hiện nay [3].

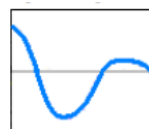
Chất lượng điện năng thấp có tác động tiêu cực đến hệ thống điện và thiết bị điện, từ việc bị ngắt điện đột ngột cho đến việc dừng hoạt động, thậm chí làm hư hỏng thiết bị. Những tác động này ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả kinh doanh và cơ sở hạ tầng của các doanh nghiệp, nhà máy. Vì vậy, việc cải thiện, nâng cao chất lượng điện năng là cần thiết để tiết kiệm năng lượng, tăng hiệu suất và nâng cao tuổi thọ của thiết bị, cơ sở hạ tầng. Một số giải pháp và kỹ thuật đã được đề xuất và ứng dụng nhằm cải thiện chất lượng điện năng như: SVC (Bộ bù VAR tĩnh), STATCOM (Bộ bù đồng bộ tĩnh), DVR (Bộ khôi phục điện áp động), bộ lọc sóng hài thụ động và tích cực, nguồn công suất vạn năng (UPS) và các bộ lọc [3].

Để có cơ sở đánh giá chất lượng điện năng, hội kỹ sư Điện và Điện tử (IEEE) và ủy ban kỹ thuật điện quốc tế (IEC) đã đưa ra các định nghĩa cho các tiêu chuẩn liên quan đến chất lượng điện. Các vấn đề chất lượng điện năng, giải pháp nâng cao chất lượng điện năng và các tiêu chuẩn đánh giá chất lượng điện năng sẽ được trình bày chi tiết trong phần tiếp theo của bài báo.

### 1.2. Phân loại các vấn đề chất lượng điện năng

Trong hệ thống điện hiện đại, nhiều vấn đề về chất lượng điện năng thường xuyên phát sinh trong suốt quá trình hoạt động. Tất cả những vấn đề này đều liên quan đến sự biến dạng sóng hình sin của điện áp hoặc dòng điện, được mô tả ngắn gọn như sau [2][3][4]:

**Sụt áp thoáng qua**  
(Voltage sag)



+ Mô tả: Biên độ điện áp giảm đột ngột từ 10% đến 90% điện áp hiệu dụng (rms) trong khoảng thời gian từ 0,5 chu kỳ điện (10 ms) đến 1 phút.


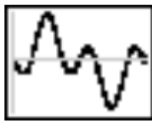

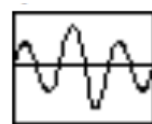
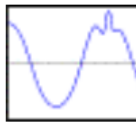
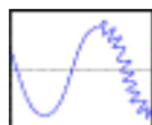
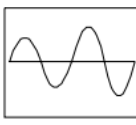
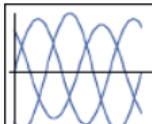
+ Nguyên nhân: Lỗi gây ra bởi hệ thống truyền tải hoặc phân phối điện khi ngắt các nguồn phân phối song song; lỗi gây ra từ phía sử dụng điện khi khởi động các tải công suất lớn.

+ Hậu quả: Gây lỗi cho các thiết bị

Tác giả liên hệ: Phạm Thị Thanh Loan,

Email: thanhloanbkhn@gmail.com

Đến tòa soạn: 10/2023, chỉnh sửa: 11/2023, chấp nhận đăng: 12/2023.

	<p>điện tử, hệ thống điều khiển (PC, PLC,...); các thiết bị đóng cắt bị ngắt bất thường.                  + Mức độ ảnh hưởng: Vừa phải                  + Tần suất: Trung bình</p>	<p>+ Tần suất: Thấp</p>
<p><b>Gián đoạn điện áp ngắn hạn (Short interruption)</b></p> 	<p>+ Mô tả: Sự gián đoạn hoàn toàn của nguồn điện trong thời gian từ vài mili giây đến một hoặc hai giây.                  + Nguyên nhân: chủ yếu là do việc đóng/cắt thiết bị bảo vệ; do hỏng cách điện, sét đánh và phóng điện cách điện.                  + Hậu quả: Ngắt thiết bị bảo vệ; mất thông tin và lỗi thiết bị xử lý dữ liệu; dừng các thiết bị nhạy cảm như PC, PLC...                  + Mức độ ảnh hưởng: Vừa phải                  + Tần suất: Thấp</p>	<p><b>Méo sóng hài (Harmonics)</b></p>  <p>+ Mô tả: Dạng sóng điện áp và dòng điện không hình sin. Dạng sóng tương ứng là tổng các sóng hình sin khác nhau có biên độ và pha khác nhau, có tần số là bội số của tần số cơ bản.                  + Nguyên nhân: máy điện làm việc ở vùng bão hòa từ trường, lò hồ quang, máy hàn, do tải phi tuyến như sử dụng các bộ biến đổi điện tử công suất (biến tần, servo drives).                  + Hậu quả: Tăng khả năng xảy ra hiện tượng cộng hưởng, quá tải trung tính trong hệ thống 3 pha, tăng nhiệt độ của động cơ, máy biến áp và dây cáp điện =&gt; gây tổn hao, giảm tuổi thọ thiết bị, giảm hiệu suất máy điện, sai lệch trong dữ liệu đo lường.                  + Mức độ ảnh hưởng: Nghiêm trọng                  + Tần suất: Thấp đến trung bình</p>
<p><b>Gián đoạn điện áp dài hạn (Long interruption)</b></p> 	<p>+ Mô tả: Nguồn điện tổng bị gián đoạn trong thời gian lớn hơn 1 đến 2 giây                  + Nguyên nhân: Lỗi thiết bị trong hệ thống điện, do thiên tai như bão, lũ, do lỗi từ con người hay lỗi của thiết bị bảo vệ.                  + Hậu quả: Ngừng toàn bộ hoạt động của thiết bị.                  + Mức độ ảnh hưởng: Vừa phải                  + Tần suất: Thấp</p>	<p><b>Dao động điện áp (Voltage fluctuation)</b></p>  <p>+ Mô tả: Dao động giá trị điện áp, biên độ được điều chế bằng tín hiệu có tần số từ 0 đến 30 Hz.                  + Nguyên nhân: Lò hồ quang, động cơ điện khởi động/dừng thường xuyên (ví dụ như thang máy), tải dao động.                  + Hậu quả: nhấp nháy của ánh sáng và màn hình, tạo cảm nhận về thị giác không ổn định.                  + Mức độ ảnh hưởng: Nghiêm trọng                  + Tần suất: Thấp</p>
<p><b>Điện áp tăng đột biến (Voltage spike)</b></p> 	<p>+ Mô tả: Giá trị điện áp biến đổi rất nhanh trong khoảng thời gian từ vài micro giây đến vài mili giây, có thể đạt tới hàng nghìn vôn ngay cả ở điện áp thấp.                  + Nguyên nhân: Sét đánh, chuyển mạch lưới hoặc hệ thống tụ bù hiệu chỉnh hệ số công suất, hoặc ngắt kết nối các tải nặng.                  + Hậu quả: Phá hủy các linh kiện (đặc biệt linh kiện điện tử), vật liệu cách điện; lỗi xử lý dữ liệu hoặc mất dữ liệu, nhiễu điện từ.                  + Mức độ ảnh hưởng: Nghiêm trọng                  + Tần suất: Trung bình</p>	<p><b>Nhiều (Noise)</b></p>  <p>+ Mô tả: Xếp chồng tín hiệu cao tần lên dạng sóng tần số cơ bản.                  + Nguyên nhân: Các nhiễu điện từ như sóng vi ba, khuếch tán truyền hình, bức xạ do máy hàn, lò hồ quang và thiết bị điện tử; lỗi nối đất.                  + Hậu quả: Gây nhiễu loạn các thiết bị điện tử nhạy cảm, mất dữ liệu và lỗi xử lý dữ liệu.                  + Mức độ ảnh hưởng: Nhẹ                  + Tần suất: Trung bình</p>
<p><b>Quá điện áp thoáng qua (Voltage swell)</b></p> 	<p>+ Mô tả: Tăng điện áp nhất thời ở tần số nguồn trong khoảng thời gian vài chu kỳ điện đến vài giây.                  + Nguyên nhân: Khởi động/dừng tải nặng, điện áp nguồn không phù hợp, máy biến áp điều chỉnh kém (đặc biệt trong thời gian cao điểm của sử dụng điện).                  + Hậu quả: Mất dữ liệu, nhấp nháy màn hình, ngừng hoạt động hoặc hư hỏng thiết bị nhạy cảm.                  + Mức độ ảnh hưởng: Nhẹ</p>	<p><b>Mất cân bằng điện áp (Voltage unbalance)</b></p>  <p>+ Mô tả: Sự thay đổi điện áp trong hệ thống điện ba pha trong đó biên độ điện áp hoặc độ lệch pha giữa chúng không bằng nhau.                  + Nguyên nhân: Do tải không đối xứng, do phân bố tải một pha không đều, do trở kháng của hệ thống phân phối ba pha không đều nhau.                  + Hậu quả: Gây quá nhiệt máy điện. Vì mất cân bằng điện áp gây ra mất cân bằng dòng điện gấp 6 đến 10 lần. Dòng điện mất cân bằng này sẽ sinh ra nhiệt.                  + Mức độ ảnh hưởng: Vừa phải                  + Tần suất: Trung bình</p>

**1.3. Tổn thất do các vấn đề về chất lượng điện năng**

Các vấn đề chất lượng điện năng ảnh hưởng đáng kể một cách trực tiếp hoặc gián tiếp đến tài chính do quá trình gián đoạn, tổn thất trong sản xuất, hư hỏng thiết bị, mất mát dữ liệu, lãng phí nguyên liệu thô. Các ngành công nghiệp như dược phẩm, ngân hàng bị ảnh hưởng nghiêm trọng bởi tình trạng mất điện kéo dài. Nhiều thiết bị không hoạt động đúng theo thiết kế gây thiệt hại nặng nề về kinh tế trong các ngành công nghiệp nặng [3].

**Tổn thất chi phí trực tiếp:** Những chi phí này bao gồm hư hỏng về thiết bị, mất mát trong sản xuất, thất thoát nguyên vật liệu, chi phí tiền lương trong thời gian không sản xuất, chi phí khởi động lại, giảm hiệu suất thiết bị và giảm tuổi thọ thiết bị [4].

**Tổn thất chi phí gián tiếp:** Chi phí này rất khó đánh giá, bao gồm sự ngưng trệ trong hoạt động sản xuất, không hoàn thành thời hạn cho một số đơn giao hàng và đơn đặt hàng, chi phí đầu tư để giảm thiểu các vấn đề về chất lượng điện năng.

**Tổn thất phi vật chất:** Một số bất tiện do nhiễu điện không thể được biểu thị bằng kinh tế như không nghe đài hoặc xem tivi. Cách duy nhất để thống kê những bất tiện này là xác định khoản tiền mà người tiêu dùng sẵn sàng trả để có được sự hài lòng [4][5][6].

Bảng 1 thống kê ước lượng tổn thất tài chính hàng năm do gián đoạn nguồn điện và các vấn đề khác nhau về chất lượng điện năng cho các địa điểm khác nhau của Hoa Kỳ [3][7].

Bảng 1. Tổn thất về kinh tế do các vấn đề về chất lượng điện năng

	Gián đoạn nguồn (tỷ \$/năm)	Vấn đề chất lượng điện năng (tỷ \$/năm)
California	13.2	20.41
Texas	8.3	13.2
New York	8.0	12.6

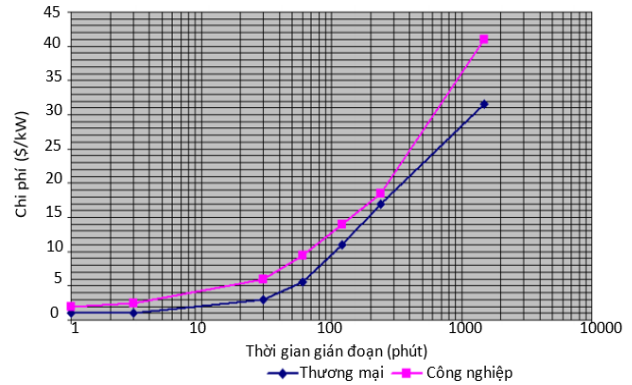
Đánh giá về chi phí liên quan đến sự gián đoạn nhất thời của nguồn điện được thể hiện trong bảng 2 [4][8].

Bảng 2. Tổn thất gây ra do gián đoạn nguồn điện

	Chi phí cho sự gián đoạn nguồn điện (\$/kW)	
	Lớn nhất	Nhỏ nhất
<b>Công nghiệp</b>		
Sản xuất ô tô	5.0	7.5
Cao su và nhựa	3.0	4.5
Dệt may	2.0	4.0
Công nghiệp giấy	1.5	2.5
In ấn	1.0	2.0
Hóa dầu	3.0	5.0
Chế tạo kim loại	2.0	4.0
Kính	4.0	6.0
Khai thác Mỏ	2.0	4.0
Công nghệ thực phẩm	3.0	5.0
Công nghệ dược	5.0	50.0
Điện tử	8.0	12.0

Chế tạo bán dẫn	20.0	60.0
<b>Dịch vụ</b>		
Truyền thông, thông tin	1.0	10.0
Y tế, ngân hàng, dịch vụ tư nhân	2.0	3.0
Nhà hàng, khách sạn	0.5	1.0
Cửa hàng thương mại	0.1	0.5

Có thể thấy, sản xuất công nghiệp bị ảnh hưởng nhiều nhất bởi sự gián đoạn, đặc biệt là công nghệ chế biến liên tục. Thông tin và truyền thông bị ảnh hưởng nhiều nhất trong lĩnh vực dịch vụ. Ngoài ra, chi phí cho sự gián đoạn cũng phụ thuộc vào thời gian gián đoạn, được thể hiện trên Hình 1.



Hình 1. Tổn thất do gián đoạn nguồn điện

**II. CÁC GIẢI PHÁP NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG**

Như trình bày ở phần trên, chất lượng điện năng thấp có thể gây ra một loạt các vấn đề như sóng hài, mất cân bằng điện áp, nhấp nháy điện áp, quá nhiệt, giảm tuổi thọ thiết bị, mất dữ liệu ... Vấn đề quan trọng nhất liên quan đến chất lượng điện năng là khả năng ổn định điện áp. Việc điều chỉnh điện áp chịu ảnh hưởng chính bởi khả năng cân bằng công suất phản kháng và thời gian đáp ứng của hệ thống bù công suất. Để nâng cao chất lượng điện năng, một số giải pháp đã được đề xuất tùy theo từng vấn đề và từng ứng dụng cụ thể [1][1][4][8].

**2.1. Thiết bị cải thiện chất lượng điện năng**

1) **Bộ khử xung điện áp nhất thời (TVSS):** Là thiết bị bảo vệ các thiết bị điện và điện tử khỏi bị đột biến điện. Nguồn của các xung điện này có thể là bên trong (ví dụ: chuyển mạch cảm ứng) hoặc bên ngoài (ví dụ: sét). TVSS chuyển hướng điện áp và dòng điện quá mức từ quá độ hoặc đột biến thành dây nối đất và ngăn không cho nó chạy qua các thiết bị, đồng thời cho phép điện áp bình thường tiếp tục đi dọc theo đường đi của nó [4].

2) **Bộ lọc**

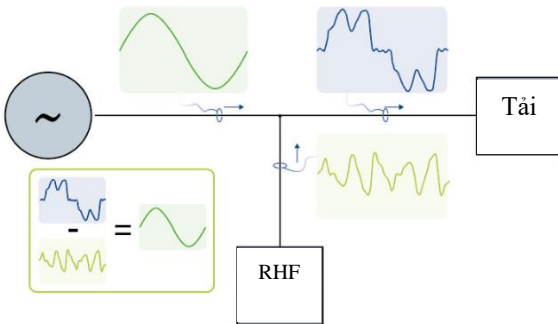
a) **Bộ lọc nhiễu:** Ngăn chặn dòng điện hoặc nhiễu với tần số không mong muốn gây ảnh hưởng đến các thiết bị nhạy cảm. Nó là sự kết hợp giữa tụ điện và điện cảm, làm việc như bộ lọc thông thấp, cho phép sóng có tần số cơ bản đi qua và loại trừ các nhiễu loạn có tần số cao. Những bộ lọc này được sử dụng khi cần lọc các nhiễu với dải tần đáng kể (kHz) [4].

b) **Bộ lọc sóng hài [9]:**

Hai giải pháp lọc sóng hài đã, đang và sẽ được áp dụng rộng rãi trong thực tế tùy theo ứng dụng cụ thể, đó là lọc sóng hài thụ động và lọc sóng hài tích cực.

+) **Bộ lọc sóng hài thụ động:** Là thiết bị kiểm soát sóng hài phổ biến nhất. Bộ lọc sử dụng các tụ điện và cuộn cảm tạo thành mạch LC song song với nguồn điện. Thiết kế phức tạp hơn gồm nhiều mạch LC có thể được sử dụng để lọc sóng hài với hiệu quả cao hơn.

+) **Bộ lọc sóng hài tích cực:** Bộ lọc được thiết kế dựa trên các van bán dẫn công suất (IGBT, SiC MOSFET) và được điều khiển dựa trên phương pháp điều chế độ rộng xung (PWM). Bộ lọc tích cực tạo ra các sóng hài có cực tính nghịch đảo để triệt tiêu các biến dạng thực tế. Ngoài tác dụng lọc sóng hài, bộ lọc sóng hài tích cực còn được sử dụng để hiệu chỉnh hệ số công suất, bù mất cân bằng.



Hình 2. Bộ lọc sóng hài tích cực

3) **Máy biến áp cách ly:** Được sử dụng để cách ly các tải nhạy cảm khỏi quá độ và nhiễu xuất phát từ nguồn cấp. Nó mang lại mức độ lọc cao và giảm các nhiễu thông thường [4]. Tuy nhiên, máy biến áp cách ly không thể cải thiện được vấn đề dao động điện áp và mất điện [10].

4) **Bộ điều chỉnh điện áp:** Được thiết kế để duy trì mức điện áp đầu ra không đổi khi có thay đổi đến mức nghiêm trọng ở điện áp đầu vào. Chúng được cài đặt tại những nơi có điện áp phía đầu vào thay đổi và tổng tổn thất năng lượng là khá nhiều. Các bộ điều chỉnh điện áp có thể được kể ra như: bộ chuyển nấc (Tap changer), bộ nâng-hạ áp, máy biến áp điện áp không đổi (CVT).

5) **Hệ máy phát-động cơ (Motor Generator - MG):** Máy phát, động cơ được ghép đồng trục nhằm bảo vệ hệ thống khỏi nhiễu, quá độ điện áp và sụt áp [11].

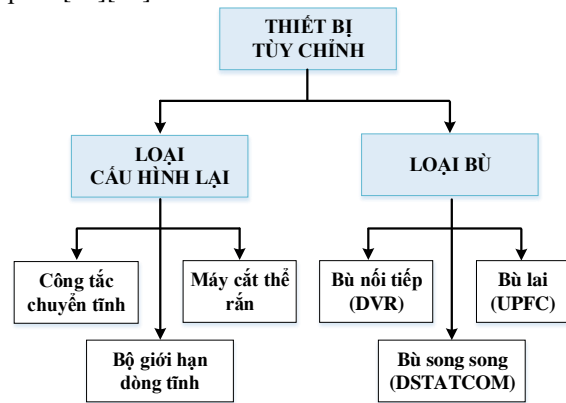
6) **Nguồn công suất vạn năng (UPS):** Đảm bảo tính an toàn trong tình trạng mất điện, cắt điện, đồng thời giảm nhiễu và bảo vệ quá áp trên cơ sở công nghệ được sử dụng như: Off-line UPS, UPS tương tác lưới, On-line UPS [12].

**2.2. Hệ thống lưu trữ năng lượng ESS**

Hệ thống lưu trữ năng lượng được sử dụng chủ yếu cho mục đích bảo vệ các thiết bị nhạy cảm trong tình trạng mất điện nguồn. Có hai loại lưu trữ: trực tiếp và gián tiếp như Ắc quy, UPS, SMES...[13]. Năng lượng lưu trữ cung cấp cho hệ thống đủ để phục hồi phần năng lượng bị mất. Lưu trữ năng lượng đã được phát triển và sử dụng trong nhiều thập kỷ với nhiều dạng khác nhau, được phân loại rộng rãi thành điện hóa (ắc quy chì, Pin natri-lưu huỳnh, pin dòng chảy, pin lithium), hóa học (pin nhiên liệu), cơ khí (bánh đà lưu trữ năng lượng – Flywheel, và điện (siêu tụ, lưu trữ năng lượng từ tính siêu dẫn -SMES).

**2.3. Thiết bị công suất tùy chỉnh**

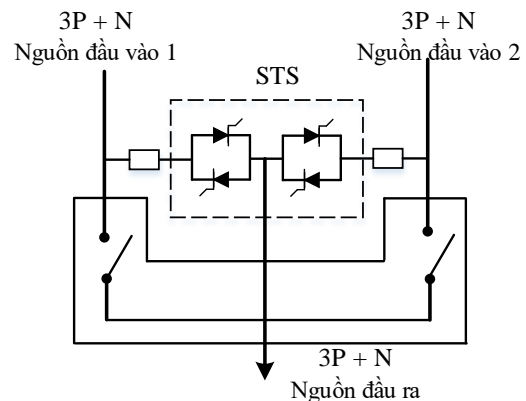
Các thiết bị công suất tùy chỉnh được phát triển để đáp ứng yêu cầu cao hơn về chất lượng điện năng. Những thiết bị này cung cấp nguồn điện ổn định cho người tiêu dùng và nâng cao chất lượng dịch vụ của hệ thống phân phối [14][15]



Hình 3. Phân loại các thiết bị công suất tùy chỉnh

1) **Loại cấu hình lại:** Là các thiết bị dựa trên Thyristor hoặc GTO nhằm hạn chế dòng điện sự cố và cung cấp khả năng xả năng lượng trong mạch.

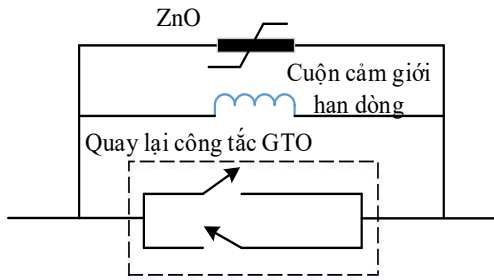
+) **Công tắc chuyển mạch tĩnh Static Transfer Switch (STS) (Hình 4):** Là thiết bị chuyển mạch tĩnh tự động được thiết kế để truyền các tải trọng quan trọng giữa nguồn điện xoay chiều độc lập mà không bị gián đoạn hoặc có thời gian chuyển mạch dưới một chu kỳ (20ms). STS bao gồm các bộ chỉnh lưu điều khiển bằng van bán dẫn công suất (SCR), các mạch điều khiển và cảm biến để giám sát các nguồn đầu vào và giúp cho các tải quan trọng được kết nối với nguồn thứ cấp khi nguồn chính bị hỏng. Không giống như công tắc cơ, công tắc chuyển mạch tĩnh không có bộ phận chuyển động dẫn đến không có tổn thất do ma sát, hao mòn. Nó có thể chuyển mạch tải nhanh gấp 20 lần so với thiết bị chuyển tự động thông thường (nhỏ hơn 4 ms) [16].



Hình 4. Hệ thống STS

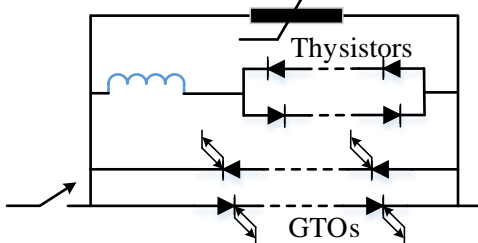
STS được sử dụng trong các trung tâm dữ liệu internet, trung tâm viễn thông, hệ thống an ninh sân bay và nhiều hoạt động điện thiết yếu khác trên toàn thế giới. Tuy nhiên, STS cũng có một số nhược điểm như tần số chuyển mạch chỉ tối đa 40 Hz do sử dụng các van SCR hoặc Triac. Bên cạnh đó, tồn tại các vấn đề liên quan đến van bán dẫn như làm mát, tổn thất dẫn đến giảm hiệu quả [17].

+) **Bộ giới hạn dòng điện tĩnh (Static Current Limiter - SCL)** (Hình 5): Được sử dụng chủ yếu để hạn chế giá trị cao của dòng điện sự cố khi mang một trở kháng cao trong tình trạng sự cố và trở kháng thấp trong điều kiện hoạt động bình thường.



Hình 5. Hệ thống SCL

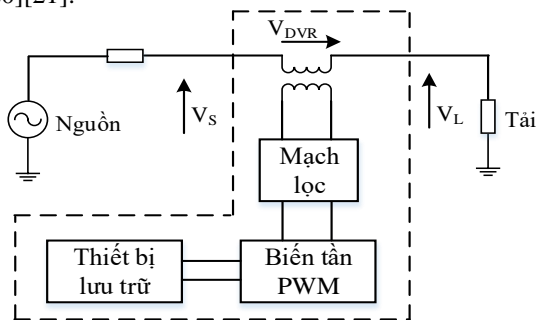
+) **Bộ ngắt dòng tĩnh (Static Circuit Breaker - SCB)** (Hình 6): Là thiết bị sử dụng công nghệ chuyển mạch dựa trên các van bán dẫn công suất GTO hoặc thyristor. Mạch có độ nhạy cao, tác động nhanh để đảm bảo an toàn khỏi khỏi tia lửa điện và tình trạng ngắn mạch [18][19].



Hình 6. Bộ giới hạn dòng tĩnh

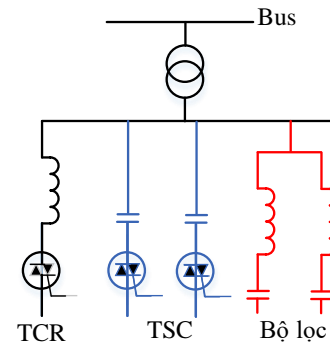
2) **Loại bù:** Các bộ bù được sử dụng để nâng cao hệ số công suất, nhằm mục đích lọc, cân bằng dòng tải, điều chỉnh điện áp. Có nhiều loại bù khác nhau, trong đó các bộ bù được sử dụng phổ biến trong thực tế hiện nay phải kể đến bộ khôi phục điện áp động (DVR), bộ bù công suất tĩnh (SVC), bộ bù đồng bộ tĩnh (STATCOM), bộ bù chất lượng điện năng lai (HPQ) và bộ bù công suất hợp nhất (UPFC).

+) **Bộ khôi phục điện áp động (Dynamic Voltage Restorer - DVR)**: Là một thiết bị nguồn tùy chỉnh, có thể bảo vệ các thiết bị nhạy cảm khỏi nhiễu điện áp và cải thiện chất lượng điện trong hệ thống phân phối điện. Bộ DVR hoạt động bằng cách bổ sung điện áp bị thiếu hụt khi điện áp bị sụt giảm, nghĩa là thiết bị sẽ bơm điện áp vào hệ thống để đưa điện áp trở lại mức mà tải yêu cầu. Việc tạo điện áp đạt được nhờ hệ thống chuyển mạch kết hợp với máy biến áp được mắc nối tiếp với tải, như minh họa ở Hình 7 [20][21].



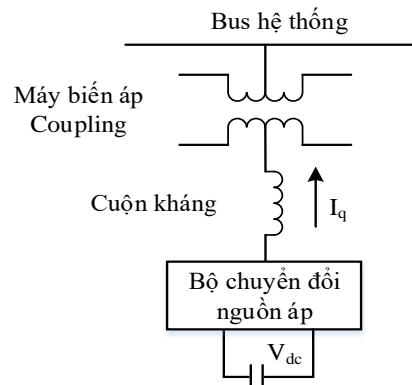
Hình 7. Hệ thống DVR

+) **Bộ bù công suất tĩnh (Static Var Compensator – SVC)**: Là thiết bị dùng để cung cấp công suất phản kháng tác động nhanh trên mạng truyền tải điện cao áp. SVC có thể điều chỉnh điện áp, hệ số công suất, sóng hài và ổn định hệ thống. Bộ SVC được tùy chỉnh để phù hợp với nhu cầu cụ thể của từng khách hàng. SVC bao gồm một số nhánh cố định hoặc chuyển mạch, trong đó ít nhất một nhánh bao gồm thyristor và sự kết hợp các nhánh có thể thay đổi rất nhiều tùy theo yêu cầu. SVC thường bao gồm sự kết hợp của ít nhất hai trong số các thiết bị như cuộn kháng có điều khiển bằng thyristor (TCR), cuộn kháng chuyển mạch bằng thyristor (TSR) và các bộ lọc, như minh họa trong Hình 8.



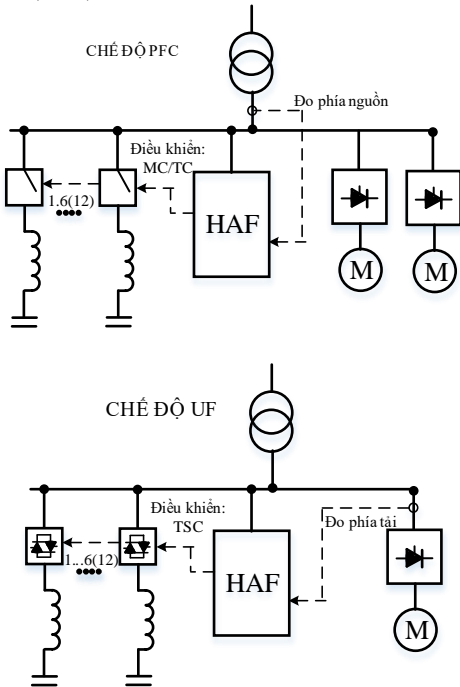
Hình 8. Bộ bù công suất tĩnh

+) **Bộ bù đồng bộ tĩnh (Static Synchronous Compensator - STATCOM)** (Hình 9): Là thiết bị hoạt động nhanh có khả năng cung cấp hoặc hấp thụ dòng điện phản kháng và từ đó điều chỉnh điện áp tại điểm kết nối với lưới điện. Nó được xếp là một trong các thiết bị hệ thống truyền tải AC linh hoạt (FACTS). Công nghệ này dựa trên bộ biến đổi nguồn áp nhiều cấp (VSC) sử dụng van bán dẫn công suất (IGBT, SiC MOSFET) với cấu trúc dạng mô đun. Với khả năng đáp ứng nhanh giúp công nghệ STATCOM này rất thuận tiện cho việc duy trì điện áp khi có sự cố mạng, tăng cường độ ổn định điện áp trong thời gian ngắn. Ngoài ra, STATCOM có thể cung cấp hiệu chỉnh hệ số công suất, điều khiển công suất phản kháng, giảm chấn dao động công suất tần số thấp, lọc sóng hài chủ động, giảm thiểu nhấp nháy và cải thiện chất lượng điện năng. Bộ STATCOM được dùng trong các ứng dụng điển hình như truyền tải điện, phân phối điện, mạng lưới điện của các nhà máy công nghiệp nặng, lò hồ quang, hệ thống đường sắt cao tốc và các hệ thống điện khác, trong đó độ ổn định điện áp và chất lượng điện là vô cùng quan trọng [22][23].



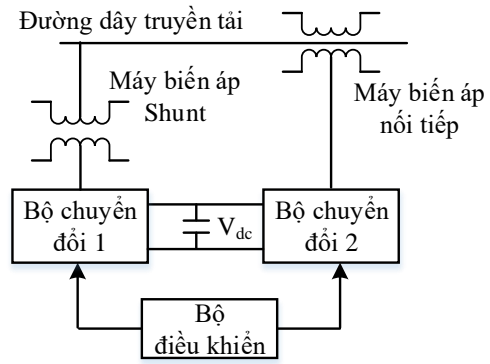
Hình 9. Cấu trúc cơ bản của STATCOM

+) *Bộ bù chất lượng điện năng lai (Hybrid Power Quality - HPQ)* (Hình 10): Đây là giải pháp kết hợp hai công nghệ hiện có: bù công suất phản kháng (dùng các bộ tụ điện, điện cảm truyền thống) và lọc sóng hài tích cực. Các tụ điện đáp ứng hầu hết các nhu cầu về công suất phản kháng điện dung. Trong khi đó, bộ lọc sóng hài tích cực (AHF) xử lý bù công suất phản kháng điện cảm/điện dung, lọc dòng điện hài và ổn định dòng điện không cân bằng. Bộ HPQ có hai chế độ làm việc phụ thuộc vào từng ứng dụng cụ thể. Đối với tải nặng như cầu cảng nâng hạ, các động cơ cỡ lớn khởi động trực tiếp thì bộ HPQ làm việc ở chế độ đáp ứng nhanh (UF mode). Khi được sử dụng cho tải thông thường như các bơm, biến tần – động cơ thì bộ HPQ có thể làm việc ở chế độ hiệu chỉnh hệ số công suất (PFC).



Hình 10. Bộ bù lai

+) *Bộ bù dòng công suất hợp nhất (Unified Power Flow Compensator\_UPFC)* (Hình 11): Là một thiết bị điện để cung cấp khả năng bù công suất phản kháng tác động nhanh trên mạng truyền tải điện cao áp. Nó sử dụng hai bộ biến tần nguồn áp (VSI) ghép với một tụ điện ở giữa để tạo ra dòng điện đưa vào đường dây truyền tải qua máy biến áp nối tiếp. Thành phần nối tiếp của UPFC duy trì điện áp tải và giảm thiểu các nhiễu loạn phía nguồn cung cấp như sụt/tăng điện áp thoáng qua, nhấp nháy điện áp, mất cân bằng điện áp và sóng hài. Các thành phần song song giúp duy trì cân bằng dòng điện và giảm thiểu các vấn đề liên quan đến hệ số công suất thấp, dòng điện hài và mất cân bằng tải [24][25]. Bộ UPFC cho phép điều khiển đồng thời các tham số như góc pha, điện áp đường dây truyền tải và trở kháng của hệ thống phân phối.



Hình 11. Cấu trúc cơ bản của UPFC

Các lợi ích mang lại của thiết bị tùy chỉnh và các giải pháp tương ứng của vấn đề chất lượng điện năng được mô tả ở bảng 3 và bảng 4 tương ứng.

Bảng 3. Các lợi ích của thiết bị tùy chỉnh

Thiết bị	Lợi ích
STS	Bảo vệ tránh hiện tượng sụt áp/tăng áp thoáng qua. Cấp nguồn cho tải từ các nguồn khác nhau
SCL; SCB	Được sử dụng để hạn chế dòng điện sự cố. Ngắt hệ thống ra khỏi mạng bị sự cố.
SVC	Bù công suất phản kháng, giảm thiểu nhấp nháy điện áp, nâng cao hệ số công suất cho các ứng dụng công suất lớn
STATCOM	Cải thiện hệ số công suất, giảm thiểu sóng hài, cân bằng dòng điện tải, giảm hiệu ứng nhấp nháy điện áp.
DVR	Bảo vệ khỏi hiện tượng sụt áp/quá áp thoáng qua. Cân bằng và điều chỉnh điện áp. Loại bỏ nhấp nháy.
HPQ	Cho phép vận hành đồng thời hiệu chỉnh hệ số công suất truyền thống và lọc sóng hài chủ động trong cùng một giải pháp, hiệu quả bù cao hơn so với các hệ thống bù truyền thống, tối ưu hóa việc sử dụng đàn tụ bù => tăng tuổi thọ đàn tụ bù, cải thiện chất lượng điện năng
UPFC	Cân bằng điện áp và dòng điện. Kiểm soát công suất phản kháng và công suất tác dụng.

Bảng 4. Giải pháp tương ứng cho vấn đề chất lượng điện năng

Vấn đề chất lượng điện năng	Giải pháp tương ứng
Dao động tức thời (Transient)	TVSS, STATCOM
Dao động điện áp (Voltage variation)	Bộ điều chỉnh điện áp (CVT, Tap changer, Buck-boost regulator), DVR, SVC, STATCOM, SPFC, UPS
Méo dạng sóng điện áp/dòng điện	Lọc sóng hài (thụ động, tích cực), DVR, STATCOM, UPFC

(Waveform distortion)	
Nhấp nháy điện áp (Flicker)	SVC, STATCOM, DVR, UPFC

### III. CÁC TIÊU CHUẨN CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG

Chất lượng điện năng thường được đo lường dựa trên các tiêu chuẩn. Dựa vào các tiêu chuẩn này chúng ta có thể đánh giá chất lượng cung cấp điện. Các tiêu chuẩn đảm bảo rằng các phép đo nhất quán, hỗ trợ xác định các loại vấn đề về chất lượng điện đang tồn tại và đảm bảo rằng các hệ thống điện đáp ứng các tiêu chuẩn chất lượng và độ tin cậy cụ thể. Bên cạnh đó, các tiêu chuẩn cung cấp các hướng dẫn để đánh giá và nâng cao chất lượng điện năng. Một số tiêu chuẩn quốc tế liên quan đến chất lượng điện năng được liệt kê trong bảng 5.

Bảng 5. Tiêu chuẩn điện năng

Tiêu chuẩn chất lượng điện năng	Hướng dẫn tương ứng
IEEE-519	Giới hạn dòng điện và điện áp hài tại điểm điều khiển chung PCC [26][27]
IEC 61000-3-2 (1995-03)	Giới hạn dòng điện hài cho các thiết bị có dòng vào < 16A [26]
IEC/TS 61000-3-4 (1998-10)	Giới hạn dòng điện hài cho các thiết bị có dòng vào > 16A [27]
IEEE Standard 141-1993	An toàn tính mạng, bảo quản tài sản, độ tin cậy, tính đơn giản, điều chỉnh điện áp trong giới hạn dung sai, chăm sóc và bảo trì, tính linh hoạt [28]
IEEE Standard 1159-1995	Giám sát chất lượng điện năng (hệ AC), định nghĩa của thuật ngữ chất lượng điện năng. Ảnh hưởng của chất lượng điện năng kém lên lưới điện và thiết bị, và kết quả đo của hiện tượng điện từ [29].
IEEE Standard 1250-1995	Nhiều điện áp tức thời trong hệ thống AC; các ảnh hưởng của chúng tới thiết bị nhạy cảm, mới và sự giảm thiểu các ảnh hưởng này; giới hạn độ méo sóng hài [30]
IEEE Standard P1564	Hiệu suất sụt áp đặc trưng [31]
IEC/TS 61000-4-15	Nhấp nháy điện áp đặc trưng [32]
IEEE Standard P1409	Hướng dẫn phát triển công nghệ năng lượng tùy chỉnh để cải thiện các vấn đề chất lượng điện năng [30][33][34]
IEEE Standard P1547	Kết nối phát điện phân phối với hệ thống điện [33][34]
IEEE Standard P1564a	Cho phép thiết bị chịu được độ sụt điện áp với tính ổn định cao hơn [35].

### IV. KẾT LUẬN

Bài báo này giải thích ngắn gọn về “Chất lượng điện năng”. Chất lượng điện kém sẽ tác động nghiêm trọng đến hệ thống điện như: tình trạng quá tải, tạo sóng hài, điện áp dao động, méo dạng sóng và quá nhiệt trong các thiết bị điện... Các vấn đề này gây thiệt hại nặng nề về kinh tế cho nhà sản xuất điện cũng như cho bên sử dụng dịch vụ điện, do đó chúng cần phải được giảm thiểu. Các tiêu chuẩn chất lượng điện năng đã được trình bày, kèm theo đó là các giải pháp phù hợp cho các vấn đề lớn về chất lượng điện năng. Nguồn của vấn đề chất lượng điện năng được xác định theo tiêu chuẩn IEEE và ICE. Mặc dù những vấn đề này không thể được loại bỏ hoàn toàn nhưng có thể được giảm thiểu nhờ các kỹ thuật tiên tiến như: phương pháp sử dụng thiết bị điều hòa năng lượng TVSS, bộ lọc, bộ điều chỉnh điện áp, biến áp cách ly, sử dụng hệ thống tích trữ năng lượng và các thiết bị điện tùy chỉnh (STS, SCL, SCB, DVR, SVC, STATCOM, HPQ và UPFC,...) Bài báo sẽ giúp các nhà nghiên cứu và các công ty truyền tải điện, phân phối điện và sử dụng điện có được tổng quan về các vấn đề chất lượng điện năng, từ đó có thể đưa ra giải pháp công nghệ phù hợp nhất nhằm cải thiện chất lượng điện và nâng cao hiệu quả kinh tế.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Shazma Khan, Balvinder Singh, “A review on Power quality problems and its improvement techniques”, International Conference on Innovations in Power and Advanced Computing Technologies, 978-1-5090-5682-8 /17 IEEE 2017.  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8244882>
- [2] P. M. Balasubramaniam1 and S. U. Prabha, “Power Quality Issues, Solutions and Standards: A Technology Review.” Journal of Applied Science and Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 371380, 2015.  
<http://jase.tku.edu.tw/articles/jase-201512-18-4-08.pdf>
- [3] Manish Srivastava et al, “A review on Power quality problems, Causes and mitigation techniques” International Conference on sustainable technology for power and energy systems, 978-1-6654-5915-0/22 IEEE, 2022.  
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10006587>
- [4] A. de Almeida, L. Moreira, J. Delgado, “Power Quality Problems and New Solutions”, 2003.  
[https://www.researchgate.net/publication/228559771\\_Power\\_Quality\\_Problems\\_and\\_New\\_Solutions](https://www.researchgate.net/publication/228559771_Power_Quality_Problems_and_New_Solutions)
- [5] M. Bollen, “Understanding Power Quality Problems – Voltage Sags and Interruptions”, IEEE Press Series on Power Engineering – John Wiley and Sons, Piscataway, USA, 2000
- [6] M. McGranaghan, “Costs of Interruptions”, in proceedings of the Power Quality 2002 Conference, Rosemont, Illinois, pp 1-8, October 2002
- [7] C. Behera, A. Banik, J. Nandi, S. Dey, G. H. Reddy and A. K. Goswami, “Assessment of Financial Loss Due to Voltage Sag in an Industrial Distribution System,” 2019 IEEE 1st International Conference on Energy, Systems and Information Processing (ICESIP), 2019, pp. 1-6
- [8] Eklas Hossain et al, “Analysis and Mitigation of Power Quality issues in Distributed Generation System using custom Power devices”, 2169-3536, 2018 IEEE.  
[http://www.ieee.org/publications\\_standards/publications/rights/index.html](http://www.ieee.org/publications_standards/publications/rights/index.html)
- [9] K Al - Haddad, B. Singh, A Chandra., “A review of active power filter for the improvement of power quality,” IEEE Transaction on Ind. Electronics, Vol. 46, pages.960–970,

- 1999
- [10] N.R. Watson, J. Arrillaga and S.Chen, “Assessment of power supply system quality”, John Wiley & Sons, 2000.
- [11] Ravikumara Bhimasingu and Y. V. Pavan Kumar, “Power quality improvement in Microgrids via virtual (M-G) set based controlling scheme”, Ind. Electronics Society, IECON 2016 – IEEE-42nd Annual Conference, 2016.
- [12] <http://www.powerqualityworld.com/2011/04/uninterruptible-powersupply-ups.html>.
- [13] B. K. Johnson , P. F. Ribeiro, Y. Liu, B. K. Johnson , M. L. Crow; and A. Arsoy “Energy storage systems for the advanced power system applications”, Proceedings - IEEE, vol. 89, page.12,2001.
- [14] Arindam Ghosh, Gerard Ledwich, “Enhancement of power quality with the help of custom power devices”, kluwer publishers, 2002.
- [15] K. Venkateswara rao, Pudi Sekhar and T.Devaraju “Power quality enhancement using custom power devices”, International Journal of Elect. Engg. Journal Vol. 3 No. 2, pages 745-750 ISSN 2078-2365, 2012.
- [16] A. Sannino, “Induction Motors and STS”, IEEE Magazine Industrial Applications, Page. 50-57, 2023
- [17] Masatoshi Takeda, John J. Paserba, Gregory F. Reed, Tomohikoaritsuka, “Custom power equipment and FACTS for improving the performance of transmission system and the power quality”, Symposium - Specialists in Elect. Operation & Expansion. Planning (VII Sepope), (21-26)/5/2000.
- [18] S. Khalid, B. Dwivedi, N. Kumar, and N. Agrawal, “A review of state of art techniques in active power filters and reactive power compensation,” Nat. J. Technol., vol. 3, no. 1, pp. 10–18, 2007.
- [19] A. Kusko and M. T. Thompson, Power Quality in Electrical Systems. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2007.
- [20] V.K. Ramachandaramurthy, C. Zhan, N. Jenkis and M. Barnes “DVR with a battery energy storage for mitigation of voltage dip” Power Electronics and Variable Speed Drive, Publication No.475, IEEE, 2000.
- [21] Jose Carpio, Manul Valverde, Francisco Jurado, “Voltage sag correction by DVR on the basis of fuzzy logic control”, IEEE Trans, 2003.
- [22] Sabha Raj Arya, Bhim Singh , Ambrish Chandra Ram Niwas, Kamal AlHaddad, on -“ Enhancement of power quality using the DSTATCOM in the distributed system of power generation”, IEEE Trans. Industry Application ,vol-52,page 5203 – 5212, 2016.
- [23] Mr. Lakhwinder Singh and Tejinder Singh Saggi, “The comparative analysis of the custom power devices for the enhancement of power quality in the non-linear loads”, (RAECS) Recent Advances in the Engg. & Computational Sciences, 2nd International Conference, 2015.
- [24] S. Tara Kalyani, G. Tulasiram Das, on- “Simulation of active( real) & reactive power control using upfc connected to the system of transmission line system”, Journal of Theoretical and of Applied Information Technology, 2008 Jatit.
- [25] K.R.Padiyar “Facts controllers used in transmission and distribution of power”, Publishers of New Age International, 2007.
- [26] J. G. Boudrias, “Harmonic mitigation, power factor correction and energy saving with proper transformer and phase shifting techniques,” in Proc. Can. Conf. Elect. Comput. Eng., pp. 133–136, 2004.
- [27] Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 3–4: Limits—Limitation of Emission of Harmonic Currents in Low-Voltage Power Supply Systems for Equipment With Rated Current Greater Than 16 A, Standard IEC TS 61000-3-4:1998, 1998, p. 29
- [28] IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants, IEEE Standard 141-1993, 1994, pp. 1–768
- [29] G. Blajszczak and P. Antos, “Power quality park-idea and feasibility study,” in Proc. Electr. Power Quality Supply Rel. Conf. (PQ), Jun. 2010, pp. 17–22
- [30] IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commerical Applications, ANSI/IEEE Standard 446- 1987, 1987, pp. 1–272
- [31] Part 3: Limits-Section 2: Limits for Harmonic Current Emission, Standard IEC1000-3-2, 1995.
- [32] Flickermeter-Functional and Design Specifications, Standard 61000-4-15, IEC, Geneva, Switzerland, Edition 2.0, 2010-07, 2003.
- [33] IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances, IEEE Standard 1250-1995, 1995, p. 0-1
- [34] IEEE Recommended Practice for Evaluating Electric Power System Compatibility With Electronic Process Equipment, IEEE Standard 1346-1998, 1998, p. 0-1
- [35] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems—Amendment 1, IEEE Standard 1547a-2014 (Amendment to IEEE Standard 1547-2003), 2014, pp. 1–16

### POWER QUALITY PROBLEM, STANDARDS AND SOLUTIONS

**Abstract:** Power quality is becoming an issue of particular concern today with the rapidly increasing number of modern and sensitive loads in power distribution systems. Poor power quality can result from unstable power sources such as renewable energy sources, or by non-linear loads. Electrical equipment and production processes are seriously affected, and economic efficiency is severely impacted, requiring a greater awareness of power quality by all parties involved. This article is a comprehensive review of all the challenges of power quality problems, including their importance, causes, classification, standards prescribed by IEEE and ICE, and quality improvement solutions commonly applied in modern electrical systems. The nature and characteristics of power quality problems are clearly presented with the aim of effectively minimizing them with appropriate solutions.

**Keyword:** Power Quality (PQ), Power Quality issue, Standards of power quality.



**TS. Phạm Thị Thanh Loan** tốt nghiệp đại học, cao học và nhận bằng Tiến sỹ ngành Kỹ thuật điều khiển và Tự động hóa năm 2003, 2005 và 2015 tương ứng tại trường Đại học Bách khoa Hà nội. Năm 2003 chị làm việc như một kỹ sư Tự động hóa tại Trung tâm Công nghệ cao - Viện Máy và Dụng cụ Công nghiệp. Từ năm 2004, TS Loan là giảng viên tại Bộ môn Tự động hóa – Khoa Cơ Điện – Đại học Mỏ Địa chất. Lĩnh vực nghiên cứu bao gồm: Điều khiển quá trình, Điều khiển dự báo, mô hình hóa, năng lượng tái tạo.