

GIẢM NHẤP NHÁY ĐIỆN ÁP TRONG LƯỚI HẠ ÁP BẰNG BÙ NHANH CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG THEO ĐƯỜNG CONG Q-V ĐỂ CẢI THIỆN CHẤT LƯỢNG ĐIỆN NĂNG

REDUCING VOLTAGE FLICKER IN THE LOW-VOLTAGE GRID BY FAST REACTIVE POWER COMPENSATION
FOLLOWING THE Q-V CURVE TO IMPROVE POWER QUALITY

Nguyễn Tiến Dũng^{1,*}

DOI: <https://doi.org/10.57001/hu1h5804.2025.271>

TÓM TẮT

Bài báo đề cập đến vấn đề chất lượng điện năng, những nguyên nhân gây ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng điện năng cũng như tác động của nó đối với sức khỏe và hiệu suất lao động. Bài báo phân tích các giải pháp nhằm nâng cao chất lượng điện năng, trong đó nổi bật là giải pháp bù công suất phản kháng kết hợp với lọc sóng hài để xuất. Ngoài ra, bài báo đề xuất một phương pháp xác định dung lượng bù công suất phản kháng tối ưu dựa trên đường cong Q-V, đồng thời giới thiệu thiết bị giúp cải thiện hiện tượng nhấp nháy điện áp trong lưới hạ áp.

Từ khóa: Chất lượng điện năng, bù công suất phản kháng, dao động điện áp, nhấp nháy điện áp, nhấp nháy ánh sáng.

ABSTRACT

This paper discusses power quality issues, the causes that negatively impact power quality, and their effects on human health and labor productivity. The paper analyzes solutions to enhance power quality, highlighting the proposed reactive power compensation combined with harmonic filtering. A method for determining optimal reactive power compensation capacity based on Q-V curves is proposed. Additionally, the paper introduces a device designed to mitigate voltage flicker in low-voltage grid.

Keywords: Power quality, reactive power compensation, voltage fluctuations, flickering voltage, flashing light.

¹Khoa Điều khiển & Tự động hóa, Trường Đại học Điện Lực

*Email: dungnt@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 26/4/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 24/6/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/7/2025

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong thời đại hiện nay, việc nâng cao chất lượng điện năng không chỉ giúp nâng cao hiệu suất sử dụng và tiết

kiệm năng lượng mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo độ tin cậy và tính ổn định của hệ thống cấp điện. Điều này góp phần tăng cường an ninh năng lượng, hạn chế tối đa các sự cố về điện có thể xảy ra. Mặt khác, chất lượng điện năng tốt còn giúp kéo dài tuổi thọ của các thiết bị điện trong quá trình truyền tải, phân phối và sử dụng điện. Đồng thời, nó cũng giúp tăng khả năng làm việc của các thiết bị sản xuất trong môi trường công nghiệp, giảm thiểu ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe của người lao động và hạn chế các rủi ro về an toàn lao động [1, 2]. Vì vậy, vấn đề đảm bảo và nâng cao chất lượng điện năng không chỉ là mối quan tâm của các nhà quản lý hệ thống điện mà còn là ưu tiên hàng đầu của các nhà sản xuất thiết bị điện, các đơn vị cung cấp điện và cả khách hàng sử dụng điện trong thực tế.

Trong lĩnh vực nghiên cứu chất lượng điện năng, hiện tượng nhấp nháy điện áp (Flicker) là một trong những vấn đề quan trọng cần được quan tâm, đặc biệt là khi xét đến chất lượng điện áp. Trong hầu hết các tiêu chuẩn đánh giá chất lượng điện năng hiện nay, mức độ nhấp nháy điện áp là một trong những tiêu chí đánh giá quan trọng để xác định mức độ ổn định của nguồn điện. Theo các nghiên cứu được thực hiện bởi đơn vị cung cấp điện, phần lớn các khiếu nại từ phía khách hàng liên quan đến chất lượng điện năng đều bắt nguồn từ hiện tượng nhấp nháy điện áp. Cụ thể, tại khu vực nông thôn của Phần Lan, tình trạng Flicker chiếm khoảng 44% trong tổng số các phản hồi tiêu cực từ người tiêu dùng [3]. Điều này cho thấy mức độ ảnh hưởng nghiêm trọng của hiện tượng này đối với đời sống và sản xuất.

Tuy nhiên, tại Việt Nam, hiện tượng nhấp nháy điện áp vẫn còn là một vấn đề khá mới mẻ và chưa nhận được sự

quan tâm đúng mức. Hiện nay, chưa có nhiều nghiên cứu đầy đủ và toàn diện nào về dao động điện áp hay nhấp nháy điện áp để đưa ra các giải pháp khắc phục hiệu quả. Trong khi đó, thực tế cho thấy tình trạng Flicker vẫn đang diễn ra khá phổ biến, đặc biệt là tại các khu vực có phụ tải phi tuyến lớn.

Nghiên cứu [4, 5] đã đề cập đến các vấn đề liên quan đến hiện tượng Flicker, đồng thời thực hiện một số khảo sát và đo đạc thực tế tại một số phụ tải điển hình tại Việt Nam. Kết quả cho thấy tại các khu vực có nhiều phụ tải phi tuyến, mức sóng hài, nhấp nháy điện áp ngắn hạn và dài hạn đều vượt quá mức cho phép hàng chục lần. Điều này ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng điện năng, gây ra các tác động tiêu cực đến thiết bị điện, hệ thống cung cấp điện cũng như quá trình vận hành và sản xuất.

Trước thực trạng trên, tác giả đã tiến hành nghiên cứu và phân tích các nguyên nhân gây ra hiện tượng nhấp nháy điện áp. Dựa trên các kết quả thu thập được, tác giả đề xuất một số giải pháp nhằm khắc phục vấn đề này một cách hiệu quả và tối ưu nhất.

Trong phạm vi của bài báo này, tác giả sẽ tập trung vào việc trình bày giải pháp khắc phục hiện tượng Flicker thông qua phương pháp bù nhanh và trơn công suất phản kháng. Ngoài ra, bài báo cũng sẽ đề cập đến nguyên lý hoạt động, thuật toán điều khiển của thiết bị được đề xuất. Để đánh giá mức độ hiệu quả của thiết bị này, tác giả đã tiến hành thử nghiệm xử lý hiện tượng Flicker đối với máy hàn hồ quang một pha - một loại thiết bị phổ biến trong thực tế và thường gây ra các vấn đề liên quan đến dao động điện áp.

2. HẠN CHẾ HIỆN TƯỢNG NHẤP NHÁY ĐIỆN ÁP BẰNG GIẢI PHÁP BÙ NHANH CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG

2.1. Đề xuất giải pháp

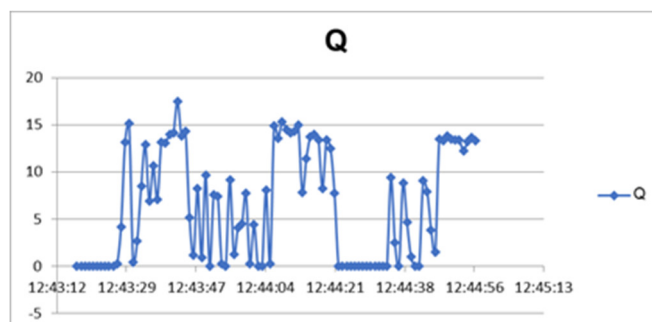
Việc đảm bảo điện áp vận hành ổn định và giảm thiểu tối đa các dao động điện áp là một trong những mục tiêu quan trọng hàng đầu của các nhà quản lý và vận hành hệ thống điện. Từ lâu, các giải pháp kỹ thuật đã được nghiên cứu và đề xuất nhằm duy trì sự ổn định điện áp, đặc biệt trong các hệ thống điện quy mô lớn. Tuy nhiên, để đạt được điều này đòi hỏi chi phí đầu tư rất cao, đồng thời các phương pháp hiện tại vẫn chưa thực sự giải quyết triệt để vấn đề nhấp nháy điện áp trong thực tế.

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã được thực hiện nhằm tìm ra các biện pháp hiệu quả hơn trong việc giảm thiểu dao động điện áp. Tuy nhiên, các giải pháp hiện tại chủ yếu được triển khai bởi các nhà cung cấp điện và tập trung chủ yếu vào hệ thống lưới điện cao áp. Điều này

dẫn đến chi phí sản xuất và giá thành thiết bị cao, trong khi hiệu quả đạt được vẫn chưa thực sự tối ưu. Quan trọng hơn, các giải pháp này mới chỉ được áp dụng cho hệ thống điện ở cấp điện áp cao mà chưa giải quyết triệt để nguyên nhân gốc rễ của dao động điện áp ở lưới hạ áp. Điều này gây ra nhiều thách thức trong việc đảm bảo chất lượng điện năng theo quy định của Thông tư số 39/2015-BCT [7]. Vì vậy, vấn đề nghiên cứu và phát triển một giải pháp khả thi, hiệu quả để khắc phục hiện tượng nhấp nháy điện áp ở lưới điện hạ áp vẫn đang là một bài toán bỏ ngỏ và cần được quan tâm đúng mức.

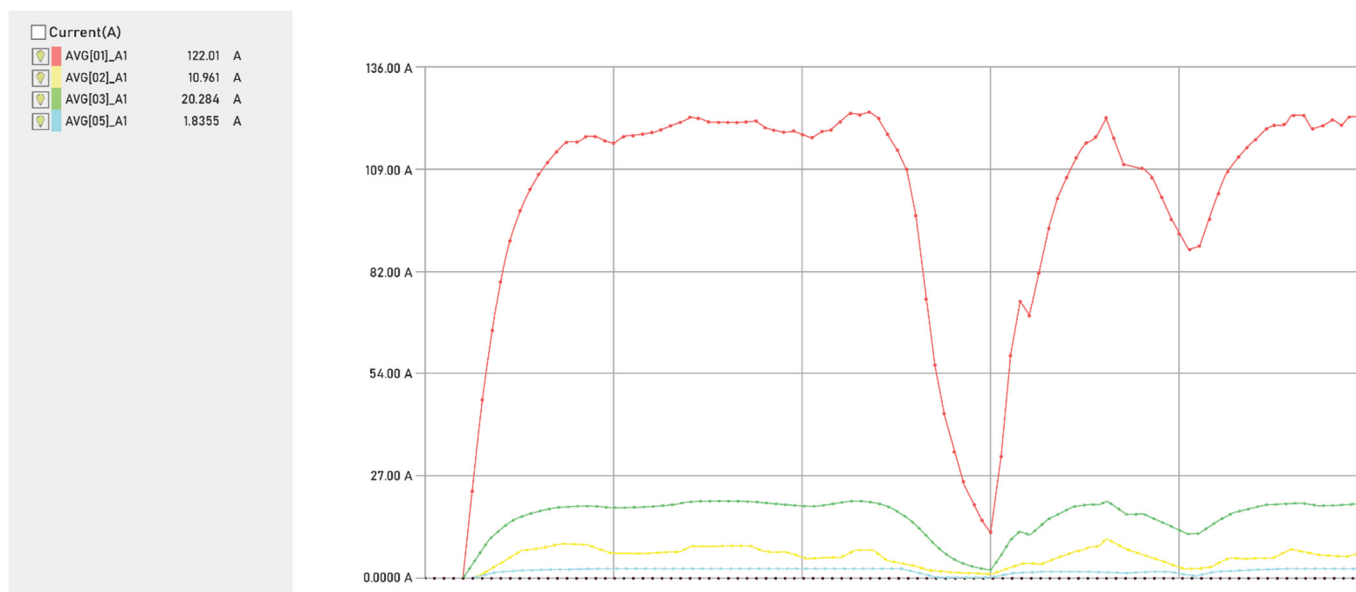
Hiện tượng nhấp nháy điện áp chủ yếu xuất phát từ sự thay đổi của dòng điện trong hệ thống điện. Khi một thiết bị điện có sự thay đổi dòng điện theo chu kỳ hoặc đột ngột, nó sẽ gây ra dao động điện áp trên lưới. Những dao động này trở nên nghiêm trọng hơn khi công suất tiêu thụ của phụ tải biến thiên mạnh, đặc biệt là khi công suất phản kháng thay đổi đáng kể do quá trình đóng, cắt phụ tải hoặc do các đặc tính công nghệ nội tại của các thiết bị điện trong hệ thống.

Đối với máy hàn hồ quang, đây là một thiết bị tiêu biểu gây ra hiện tượng nhấp nháy điện áp. Mặc dù công suất tác dụng của máy hàn thường rất nhỏ, chỉ từ 1 - 3kW, nhưng công suất phản kháng của nó lại lớn hơn rất nhiều. Sự dao động mạnh mẽ của công suất phản kháng chính là nguyên nhân chính dẫn đến hiện tượng nhấp nháy điện áp (hình 1) [4].



Hình 1. Dao động công suất phản kháng của máy hàn hồ quang một pha

Ngoài ra, do đặc thù của hồ quang điện, máy hàn hồ quang không chỉ gây ra dao động mạnh của công suất phản kháng mà còn tạo ra sóng hài, chủ yếu là sóng hài bậc 2 và bậc 3 (hình 2) [4]. Trong đó, sóng hài bậc 2 chiếm 8%, còn sóng hài bậc 3 chiếm 16% so với sóng cơ bản. Mặc dù các sóng hài bậc cao hơn có biên độ nhỏ hơn, nhưng chúng vẫn có tác động nhất định đến hệ thống điện. Khi các sóng hài này tác động lên những thiết bị khác trong lưới điện, chúng có thể gây ra hiện tượng méo dạng điện áp, khiến mức độ nhấp nháy điện áp trở nên nghiêm trọng hơn.



Hình 2. Phổ sóng hài của máy hàn hồ quang một pha

Từ những phân tích trên, có thể thấy rằng để xử lý hiệu quả hiện tượng nhấp nháy điện áp, cần xem xét một giải pháp toàn diện nhằm điều chỉnh nhanh công suất phản kháng kết hợp với lọc sóng hài bậc 2 và bậc 3. Giải pháp này không chỉ giúp ổn định điện áp mà còn cải thiện chất lượng điện năng, giảm méo dạng điện áp và nâng cao hiệu quả vận hành hệ thống điện.

Việc sử dụng thiết bị bù nhanh công suất phản kháng sẽ giúp giảm thiểu sự biến thiên của điện áp, từ đó hạn chế hiện tượng Flicker do máy hàn hồ quang gây ra. Đồng thời, việc bổ sung bộ lọc sóng hài sẽ giúp giảm thiểu các thành phần sóng hài bậc 2 và 3, ngăn chặn sự méo dạng điện áp và bảo vệ hệ thống điện khỏi những tác động tiêu cực của các sóng hài này.

Như vậy, giải pháp tổng thể cần được triển khai là một hệ thống bù công suất phản kháng kết hợp với lọc sóng hài, đảm bảo sự ổn định điện áp và nâng cao chất lượng điện năng trong hệ thống. Giải pháp này không chỉ giúp hạn chế hiện tượng nhấp nháy điện áp mà còn tạo ra môi trường làm việc an toàn và hiệu quả hơn cho các thiết bị điện trong hệ thống lưới điện hạ áp.

Trong bối cảnh công nghệ ngày càng phát triển nhanh chóng, các thiết bị bù công suất phản kháng hiện nay đã có thể điều chỉnh công suất phản kháng gần như tức thời với độ chính xác cao và chi phí thấp hơn đáng kể so với trước đây. Điều này mở ra cơ hội lớn để kiểm soát hiện tượng nhấp nháy điện áp (Flicker) một cách hiệu quả hơn. Nếu có thể xác định rõ quy luật thay đổi công suất phản kháng của các phụ tải gây ra hiện tượng Flicker, chúng ta hoàn toàn có thể triển khai các biện pháp điều chỉnh phù hợp nhằm khắc phục triệt để vấn đề này.

Theo các nghiên cứu khoa học và hướng dẫn về các chỉ tiêu chất lượng điện năng, khả năng cảm nhận ánh sáng của mắt người có cơ chế tương tự một bộ lọc dải thông với phạm vi tần số từ 0,5Hz đến 35Hz. Đặc biệt, mức độ nhạy cảm cao nhất với sự biến đổi thông lượng ánh sáng xảy ra trong khoảng tần số từ 8Hz đến 9Hz [3]. Khi xét đến nguồn sáng từ đèn sợi đốt, trong dải tần số này, mắt người có thể phát hiện nhấp nháy ánh sáng ngay cả khi biên độ dao động điện áp chỉ khoảng 0,3% so với giá trị điện áp trung bình.

Chính vì thế, để hạn chế hiện tượng nhấp nháy điện áp, các thiết bị cần có khả năng điều chỉnh điện áp một cách cực nhanh, với thời gian tác động không vượt quá 3 chu kỳ điện (tương đương 60ms đối với hệ thống điện 50Hz). Trong thực tế, một trong những thiết bị được sử dụng phổ biến để giảm dao động điện áp là thiết bị bù công suất phản kháng tĩnh tốc độ cao (Static Var Compensator - SVC) với cấu hình FC-TCR. Tuy nhiên, loại thiết bị này có một số hạn chế nhất định, đặc biệt là:

- Không đáp ứng tốt yêu cầu về tốc độ điều chỉnh, do tụ điện được thiết kế cố định.
- Tạo ra lượng sóng hài đáng kể, do việc điều chỉnh công suất thông qua cuộn kháng không trơn tru.
- Cần có thêm bộ lọc sóng hài, nhằm đảm bảo tuân thủ các tiêu chuẩn chất lượng điện năng cũng như nâng cao hiệu quả trong việc giảm thiểu nhấp nháy điện áp.

Từ những phân tích về ưu điểm và nhược điểm của các thiết bị bù công suất phản kháng hiện có, bài viết đề cập đến thiết bị bù SVC cải tiến. Thiết bị này không chỉ nâng cao hiệu suất bù công suất phản kháng mà còn tích hợp bộ lọc sóng hài bậc 2 và bậc 3 bằng phương pháp sử dụng

các bộ lọc thụ động, giúp hạn chế dao động điện áp với thời gian phản ứng nhanh hơn 60ms.

2.2. Sơ đồ nguyên lý và thuật toán điều khiển thiết bị bù SVC cải tiến

2.2.1. Sơ đồ nguyên lý

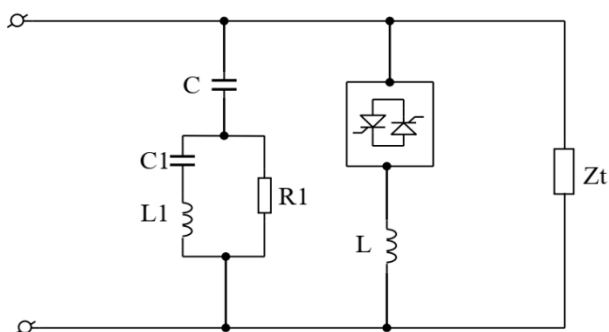
Thông thường, một thiết bị SVC tiêu chuẩn bao gồm các thành phần sau: Tụ điện cố định (Fixed Capacitor - FC); Thyristor đóng cắt tụ điện (TSC - Thyristor Switched Capacitor); Bộ lọc sóng hài đơn bậc 3, 5, 7 (Single-tuned Harmonic Filters); Thyristor điều chỉnh cuộn kháng (TCR - Thyristor Controlled Reactor).

Tuy nhiên, khi ứng dụng vào việc hạn chế hiện tượng Flicker của máy hàn hồ quang một pha, một số thay đổi quan trọng đã được thực hiện nhằm tối ưu hiệu quả của thiết bị. Cụ thể, thay vì sử dụng các bộ lọc dạng đơn, tác giả đã thay thế bằng bộ lọc kiểu tụ (C-type filter) kết hợp với TCR.

Việc cải tiến này mang lại nhiều lợi ích vượt trội như:

- Giảm thiểu hiệu quả sóng hài bậc 2 và bậc 3 - hai thành phần sóng hài có ảnh hưởng lớn đến sự méo dạng điện áp và làm trầm trọng thêm hiện tượng nhấp nháy điện áp.
- Tăng khả năng bù công suất phản kháng nhanh chóng và hiệu quả hơn, giúp ổn định điện áp trên lưới tốt hơn so với cấu hình SVC truyền thống.
- Cải thiện khả năng điều chỉnh điện áp, giúp hệ thống điện hoạt động ổn định hơn, đặc biệt trong các trường hợp có tải phi tuyến gây dao động công suất lớn.

Về mặt cấu trúc, thiết bị bù SVC cải tiến bao gồm: Cuộn kháng L1 được nối tiếp với tụ điện C1; Điện trở R1 mắc song song với tụ C1 và L1; Tụ điện thứ hai C mắc nối tiếp với cụm trên. Bộ lọc kiểu tụ (C-type filter) mắc song song với cuộn kháng L được điều khiển bằng thyristor, đảm bảo công suất của chúng cân bằng nhau (hình3) [6].



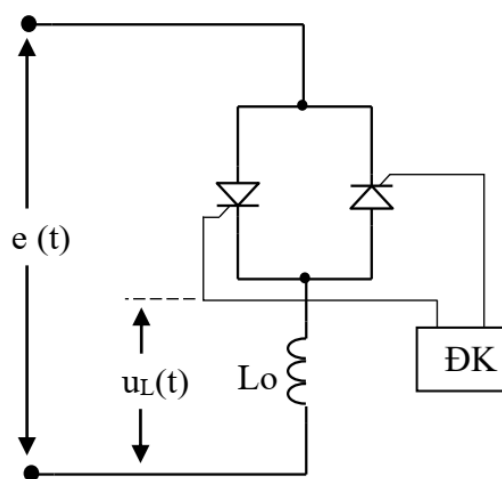
Hình 3. Sơ đồ nguyên lý thiết bị SVC cải tiến để xuất

Cấu hình này cho phép thiết bị hoạt động linh hoạt hơn, giảm thiểu dao động điện áp, đồng thời giữ được sự

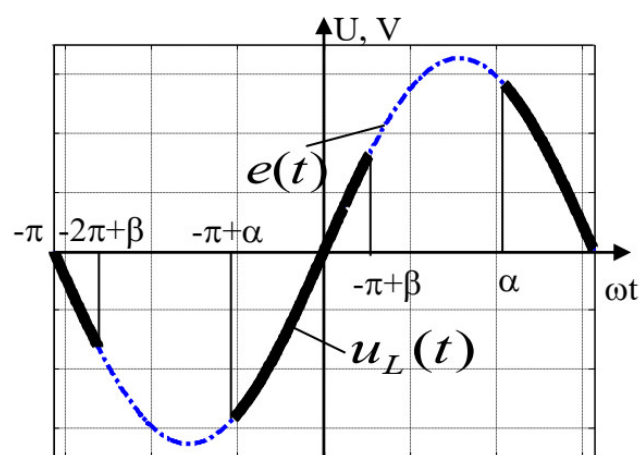
ổn định của hệ thống điện, ngay cả khi có sự thay đổi công suất tải đột ngột.

Trong sơ đồ nguyên lý cải tiến của thiết bị SVC (Static Var Compensator), một thay đổi quan trọng là bộ lọc dạng tụ C và cuộn kháng được thiết kế với công suất bằng nhau, đồng thời được mắc song song. Cuộn kháng này được điều khiển bằng thyristor, cho phép kiểm soát chính xác mức độ bù công suất phản kháng một cách linh hoạt hơn so với các thiết bị truyền thống. Quá trình điều khiển công suất yêu cầu sự phối hợp giữa việc đóng cắt bộ lọc kiểu tụ và điều chỉnh góc mở của thyristor trong cuộn kháng.

Để điều chỉnh liên tục công suất phản kháng, thiết bị sử dụng bộ điều khiển TCR với cấu trúc gồm một cuộn kháng mắc nối tiếp với hai thyristor đấu kiểu đối song (anti-parallel), như thể hiện trong (hình 4) [8].



(a)



(b)

Hình 4. Nguyên lý làm việc của thiết bị TCR (a) và điện áp trên cuộn cảm (b)

Giả sử điện áp đặt trên thiết bị TCR (Thyristor Controlled Reactor) có dạng:

$$e(t) = \sqrt{2}E \sin \omega t \quad (1)$$

Điện áp đặt trên cuộn kháng được tính dựa vào biểu thức điều khiển thyristor. Khi điều khiển cuộn kháng thông qua góc mở α , dòng điện trong cuộn kháng không còn là một sóng hình sin thuần túy mà có dạng bị cắt xén, tạo ra các thành phần sóng hài.

$$u_L(t) = \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t] \quad (2)$$

Theo chuỗi Fourier, các hệ số a_n và b_n được tính theo công thức Euler:

$$a_n = \frac{\sqrt{2}E}{\pi} \left[\int_{-\pi}^{-2\pi+\beta} \sin \omega t \cos n\omega t d\omega t + \int_{-\pi+\alpha}^{-\pi+\beta} \sin \omega t \cos n\omega t d\omega t + \int_{\alpha}^{\pi} \sin \omega t \cos n\omega t d\omega t \right] \quad (3)$$

$$= \frac{\sqrt{2}E}{\pi} [1 - (-1)^n] \left[\frac{\cos(n-1)\beta - \cos(n-1)\alpha}{2(n-1)} - \frac{\cos(n+1)\beta - \cos(n+1)\alpha}{2(n+1)} \right]$$

$$b_n = \frac{\sqrt{2}E}{\pi} \left[\int_{-\pi}^{-2\pi+\beta} \sin \omega t \sin n\omega t d\omega t + \int_{-\pi+\alpha}^{-\pi+\beta} \sin \omega t \sin n\omega t d\omega t + \int_{\alpha}^{\pi} \sin \omega t \sin n\omega t d\omega t \right] \quad (4)$$

$$= \frac{\sqrt{2}E}{\pi} [1 - (-1)^n] \left[\frac{\sin(n-1)\beta - \sin(n-1)\alpha}{2(n-1)} - \frac{\sin(n+1)\beta - \sin(n+1)\alpha}{2(n+1)} \right]$$

Từ công thức trên có thể thấy, các thành phần sóng hài phụ thuộc vào góc mở α và β , do đó việc điều chỉnh góc mở sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến sóng hài phát sinh trong hệ thống.

Giá trị công suất phản kháng Q của cuộn kháng L được xác định bởi:

$$Q = \frac{E^2}{\pi^2 \omega L} (2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha)^2 \quad (5)$$

$$= \frac{Q_L}{\pi^2} (2\pi - 2\alpha + \sin 2\alpha)^2$$

Từ công thức trên, ta thấy rằng:

Khi góc mở α thay đổi trong phạm vi $90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$, công suất phản kháng Q sẽ giảm dần từ Q_L xuống 0.

Điều này cho phép chúng ta kiểm soát lượng công suất phản kháng bù vào hệ thống bằng cách điều chỉnh α một cách linh hoạt.

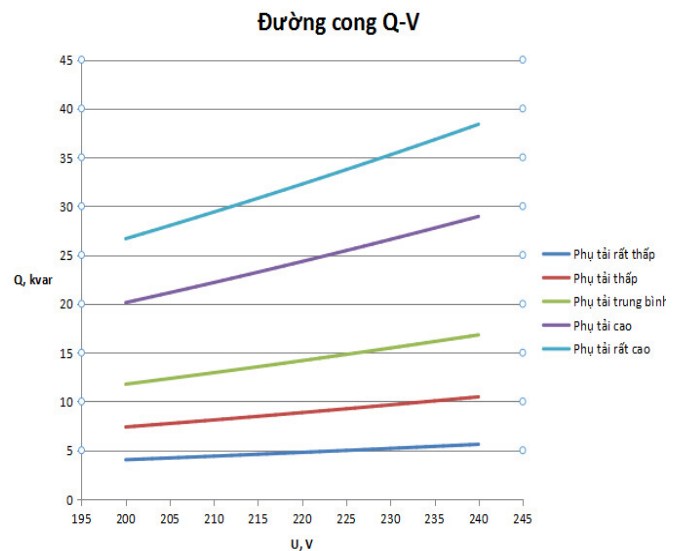
Như vậy, bằng cách điều chỉnh góc mở của thyristor trong TCR, thiết bị có thể điều chỉnh trơn công suất phản kháng một cách linh hoạt và nhanh chóng, giúp giảm thiểu nhấp nháy điện áp hiệu quả hơn.

Bên cạnh đó, do sự kết hợp giữa bộ lọc dạng tụ C và cuộn kháng, thuật toán điều khiển cần phải đồng bộ giữa hai phần tử này nhằm đảm bảo sự phối hợp nhịp nhàng trong quá trình bù công suất phản kháng và giảm sóng hài.

2.2.2. Thuật toán điều khiển

Thiết bị bù công suất phản kháng tĩnh tốc độ cao (SVC) thuộc nhóm các thiết bị FACTS (Flexible AC Transmission System) [9] được mắc song song với phụ tải. Chức năng chính của thiết bị là nâng cao hệ số công suất [5], điều chỉnh điện áp hoặc bù công suất phản kháng theo đường cong đặc trưng Q-V.

Đường cong Q-V thể hiện mối quan hệ giữa công suất phản kháng và điện áp tại điểm đặt thiết bị (V2) với các giá trị công suất tác dụng khác nhau [4, 6]. Đây là một công cụ quan trọng trong nghiên cứu ổn định hệ thống điện. Các nghiên cứu [10, 11] chỉ ra rằng đường cong Q-V có dạng parabol, và các phép đo thực nghiệm có được đặc tính này đối với máy hàn hồ quang một pha có dạng (hình 5) [6].



Hình 5. Đặc tính Q-V của máy hàn hồ quang một pha theo thời gian

Dựa trên bảng 1 [6], phương trình đường cong Q-V được mô tả dưới dạng:

$$Q = aV^2 + bV + c \quad (6)$$

trong đó, các hệ số a , b , c thay đổi theo mức phụ tải.

Bảng 1. Các thông số của đường cong Q-V

Mô tả	Hệ số a	Hệ số b	Hệ số c	Đặc điểm
Phụ tải rất thấp	0,0899	-0,1330	1350	Công suất phản kháng lớn do tải nhẹ, yêu cầu bù ít.
Phụ tải thấp	0,1754	-0,1119	1153	Công suất bù tăng lên để ổn định điện áp.
Phụ tải trung bình	0,2869	-0,0873	918	Hệ số phi tuyến cao hơn, cần bù linh hoạt hơn.
Phụ tải cao	0,5012	-0,0218	238	Điện áp dao động mạnh, cần bù nhanh và hiệu quả.
Phụ tải rất cao	0,7657	-0,0103	119	Dao động điện áp nghiêm trọng, yêu cầu bù công suất lớn và thời gian phản ứng nhanh.

Với dữ liệu trên, ta có thể xác định chính xác lượng công suất phản kháng cần bù theo từng mức tải.

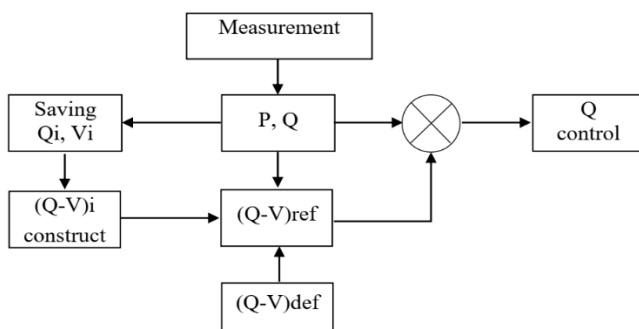
Thiết bị SVC cải tiến sẽ điều chỉnh theo các thông số này để giảm thiểu hiện tượng Flicker và ổn định điện áp.

Thuật toán điều khiển sẽ dựa trên phương trình Q-V để tính toán và điều chỉnh góc mở thyristor α trong TCR, từ đó kiểm soát công suất bù một cách chính xác.

Mô hình toán học Q-V giúp dự đoán lượng công suất phản kháng cần bù cho từng mức phụ tải.

Thiết bị SVC cải tiến có thể được thiết kế dựa trên sơ đồ khối (hình 6), với khả năng điều chỉnh bù công suất phản kháng theo thời gian thực.

Tích hợp thuật toán điều khiển thích ứng sẽ giúp hệ thống phản ứng nhanh, giảm nhấp nháy điện áp một cách hiệu quả.



Hình 6. Sơ đồ khối điều khiển theo đường cong Q-V

Thuật toán điều khiển trong thiết bị SVC cải tiến được thiết kế nhằm tự động điều chỉnh công suất phản kháng để hạn chế dao động điện áp (hình 7). Dưới đây là quy trình hoạt động của thuật toán:

Ban đầu: Thiết bị sử dụng đường cong (Q-V)def làm đường cong mặc định.

Đo lường: Các cảm biến đo điện áp (V) và công suất phản kháng (Q) từ hệ thống.

Lưu dữ liệu: Giá trị Q_i , V_i đo được sẽ được ghi nhận để cập nhật đường cong Q-V theo thời gian.

So sánh với đường cong tham chiếu (Q-V)ref: Nếu có sự chênh lệch đáng kể giữa đường cong mới và đường cong tham chiếu, hệ thống sẽ cập nhật đường cong mới, đảm bảo thiết bị luôn bù công suất phản kháng một cách chính xác.

Quá trình điều chỉnh công suất phản kháng trong thiết bị SVC cải tiến diễn ra theo hai bước:

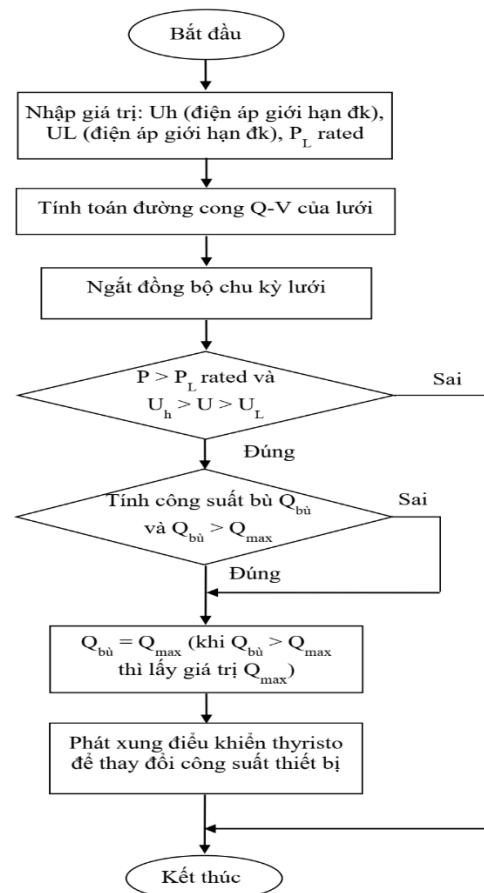
Bước 1: Đóng mở bộ lọc dạng tụ (C-type filter)

Bộ lọc C-type được sử dụng để bù công suất phản kháng nhanh chóng.

Hệ thống sẽ tính toán mức công suất bù cần thiết và lựa chọn mức đóng/mở phù hợp của tụ điện C.

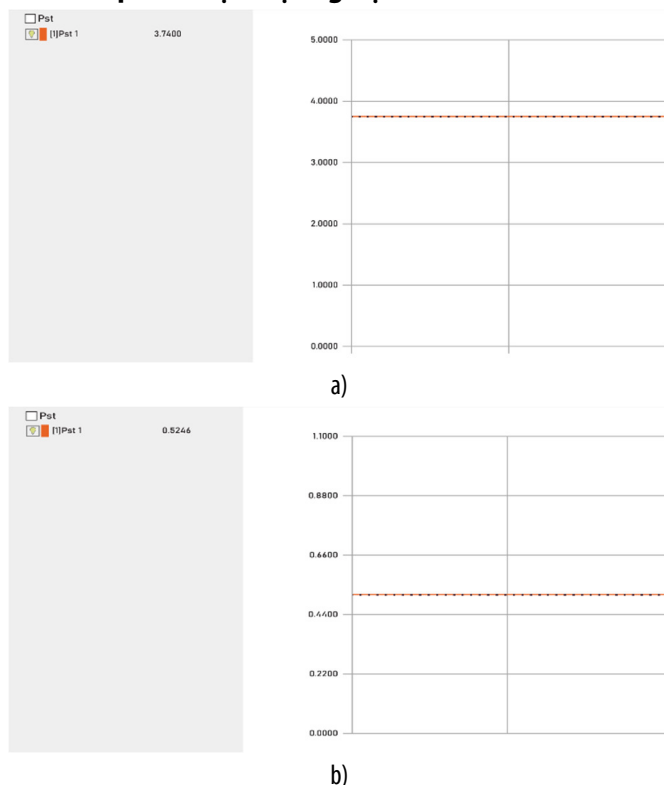
Bước 2: Điều chỉnh góc mở thyristor (α) trong TCR

Nếu công suất phản kháng cần bù không thể đạt được bằng cách điều chỉnh tụ điện, hệ thống sẽ điều chỉnh góc α của thyristor trong cuộn kháng (L).

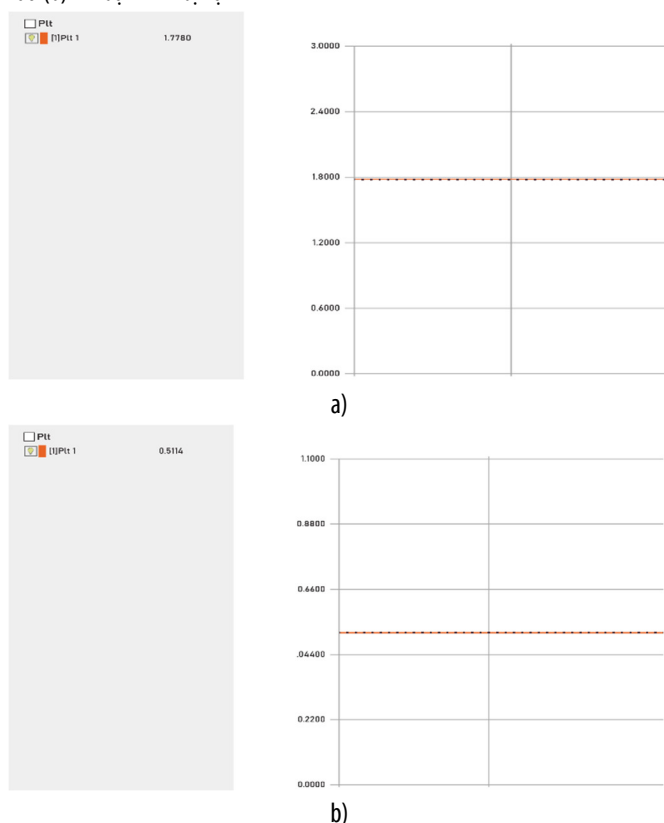


Hình 7. Lưu đồ thuật toán điều khiển thiết bị SVC cải tiến hạn chế hiện tượng Flicker

2.3. Kết quả đo đặc thực nghiệm



Hình 8. Kết quả đo giá trị Pst của máy hàn hồ quang một pha trước (a) và sau (b) khi đặt thiết bị hạn chế flicker



Hình 9. Kết quả đo giá trị Plt của máy hàn hồ quang một pha trước (a) và sau (b) khi đặt thiết bị hạn chế flicker

Để đánh giá hiệu quả khả năng hoạt động của thiết bị hạn chế flicker theo điều kiện thực tế, tác giả đã lắp đặt thử nghiệm cho máy hàn hồ quang một pha có công suất lớn nhất 47kW, hệ số công suất kháng 0,6 do Việt Nam sản xuất [6]. Khi đó kết quả đo đặc thực nghiệm cho kết quả như hình 8 - 11.

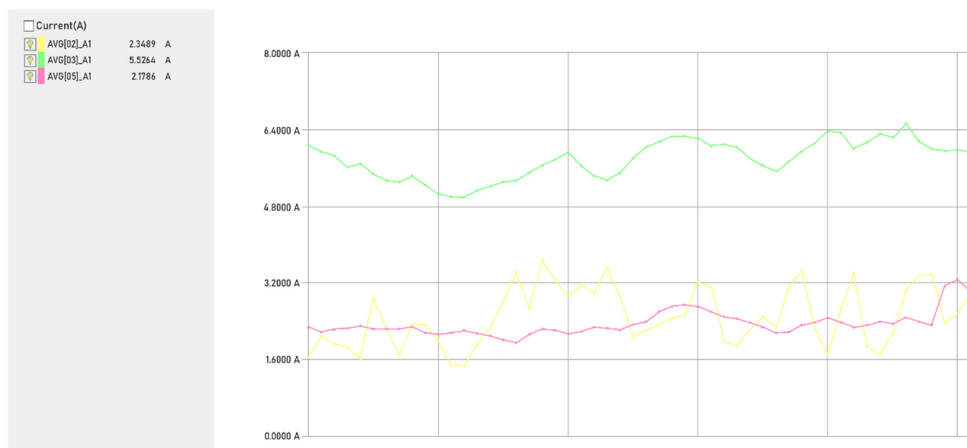
Kết quả đo đặc được thể hiện trong (bảng 2) cho thấy thiết bị hạn chế Flicker cải tiến không chỉ giúp giảm hiện tượng nhấp nháy điện áp mà còn cải thiện đáng kể chất lượng điện năng, đặc biệt ở các khía cạnh sau:

- Chỉ số nhấp nháy ngắn hạn (Pst) giảm từ 3,7 xuống còn 0,52, thấp hơn giới hạn cho phép của Thông tư số 39/2015-BCT ($Pst < 1$), đảm bảo chất lượng điện áp theo quy định.
- Sóng hài bậc 2 giảm từ 10A xuống còn 2,3A (~77%), giúp giảm méo dạng điện áp và tác động tiêu cực đến hệ thống điện.
- Sóng hài bậc 3 giảm từ 20A xuống còn 5,3A (~73,5%), góp phần hạn chế tổn hao năng lượng và nhiễu điện từ trong hệ thống.
- Hệ số công suất ($\cos\phi$) cải thiện đáng kể, từ mức 0,3 - 0,6 lên 0,8 - 0,95, giúp tăng hiệu suất sử dụng điện và giảm tổn hao công suất phản kháng.

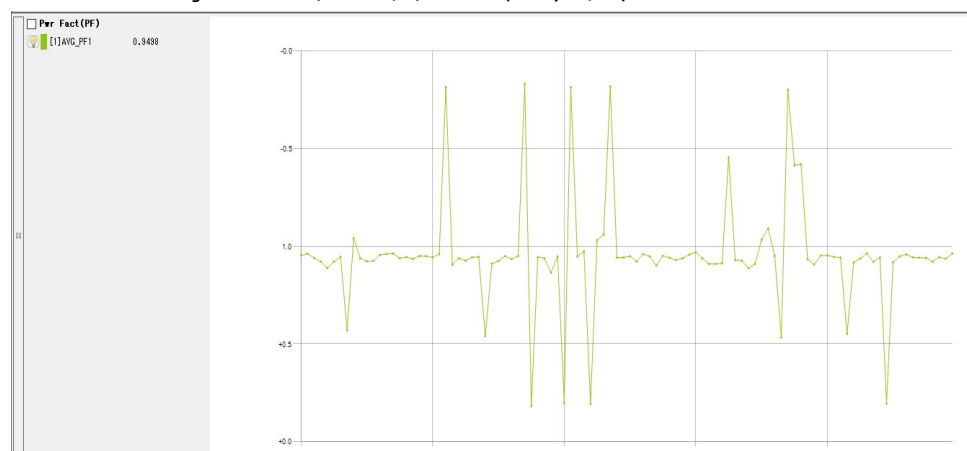
Bảng 2. Thông số kết quả đo trước và sau khi đặt thiết bị hạn chế Flicker

Thông số	Không có thiết bị hạn chế Flicker	Có thiết bị hạn chế Flicker	Mức cải thiện (%)
Độ lệch điện áp tối đa (%)	5,80	2,10	≈ 63,8
Chỉ số nhấp nháy ngắn hạn (Pst)	3,70	0,52	≈ 85,9
Chỉ số nhấp nháy dài hạn (Plt)	1,21	0,55	≈ 54,5
Tổng sóng hài điện áp THD (%)	7,30	3,20	≈ 56,2
Sóng hài bậc 2 (A)	10,00	2,30	≈ 77,0
Sóng hài bậc 3 (A)	20,00	5,30	≈ 73,5
Hệ số công suất ($\cos\phi$)	0,3 - 0,6	0,8 - 0,95	Tăng đáng kể

Như vậy, thiết bị SVC cải tiến không chỉ giúp giảm nhấp nháy điện áp mà còn nâng cao chất lượng điện năng tổng thể, cải thiện hiệu suất hệ thống và đảm bảo tuân thủ các tiêu chuẩn về chất lượng điện.



Hình 10. Phổ sóng hài sau khi đặt thiết bị hạn chế nhấp nháy điện áp



Hình 11. Hệ số công suất sau khi đặt thiết bị hạn chế nhấp nháy điện áp

3. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích nguyên nhân gây ra hiện tượng nhấp nháy điện áp trong hệ thống điện nói chung và cho máy hàn hồ quang một pha nói riêng. Các tiêu chuẩn đánh giá hiện tượng nhấp nháy điện áp cũng được nhóm tác giả giới thiệu. Trong bài báo, tác giả cũng đã phân tích những hậu quả của hiện tượng nhấp nháy điện áp đến sức khỏe con người, đến hiệu quả làm việc của thiết bị điện cũng như đến chất lượng điện năng.

Các kết quả xử lý hiện tượng nhấp nháy điện áp đối với máy hàn hồ quang một pha cho thấy thiết bị mang lại hiệu quả rất tốt cả về chất lượng điện năng, tiết kiệm điện năng cũng như giá thành. Thông qua các kết quả nghiên cứu này, nhóm tác giả sẽ tiếp tục hướng tới việc thử nghiệm hạn chế hiện tượng flicker đối với các phụ tải lớn hơn nhằm đưa ra giải pháp toàn diện giải quyết vấn đề nhấp nháy điện áp trong hệ thống điện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Trần Đình Long, *Sổ tay tra cứu chất lượng điện năng*. Hội điện lực Việt Nam, 2014.

[2]. Bùi Anh Tuấn, Đinh Ngọc Quang, *Nghiên cứu, chế tạo thiết bị bù công suất phản kháng trong lưới điện hạ áp dựa trên nguyên lý lai*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Công Thương, Hà Nội, 2014.

[3]. Hoàng Đăng Khoa, Đinh Ngọc Quang, Bùi Anh Tuấn, *Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo thiết bị hạn chế hiện tượng nhấp nháy ánh sáng do dao động điện áp gây ra bởi các cơ sở công nghiệp sử dụng động cơ điện 3 pha tại Việt Nam*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Công Thương, Hà Nội, 2017.

[4]. Bùi Anh Tuấn, Đinh Ngọc Quang, *Nghiên cứu khảo sát hiện tượng nhấp nháy điện áp tại một số phụ tải điển hình và biện pháp khắc phục*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Công Thương, Hà Nội, 2015.

[5]. Bùi Anh Tuấn, Lê Thị Vân Anh, Đinh Ngọc Quang, Hoàng Đăng Khoa, "Phân tích, khảo sát và đánh giá hiện tượng nhấp nháy điện áp tại một số phụ tải được lựa chọn ở Việt Nam," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ năng lượng - Trường Đại học Điện lực*, 11/2016.

[6]. Nguyễn Tiến Dũng, Bùi Anh Tuấn, *Nghiên cứu, chế tạo thiết bị hạn chế nhấp nháy điện áp (Flicker) cho máy hàn hồ quang một pha*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ Công Thương, Hà Nội, 2019.

[7]. Thông tư số 39/2015/TT-BCT ngày 18/11/2015 của Bộ Công Thương Quy định hệ thống điện phân phối.

[8]. V. Yarlagaadda, K. R. M. Rao, B. V. S. Ram, "Hardware Circuit Implementation of Automatic Control of Static Var Compensator (SVC) using Micro Controller," *Int. J. Instrum. Control Autom.*, 159-162, 2011. doi: 10.47893/IJICA.2011.1029.

[9]. Fedor Nepsha, Vyacheslav Voronin, Roman Belyaevsky, Vladimir Efremenko, Kirill Varnavskiy, "Application of FACTS Devices in Power Supply Systems of Coal Mines," *E3S Web Conf.*, 174, 03026, 2020. doi: 10.1051/e3sconf/202017403026.

[10]. Snehal B. Bhaladhare, "P-V, Q-V Curve - A Novel Approach for Voltage Stability Analysis," in *National Conference on Innovative Paradigms in Engineering & Technology*, (NCIPET), 2013.

[11]. Abdullah M. Shaalan, Mohammed Abdulqader Surrati, "Effect of SVC on Composite Power System Reliability Level," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 1, 6, 2012.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Tien Dung

Faculty of Control and Automation, Electric Power University, Vietnam