

THIẾT KẾ THAM SỐ VÀ MÔ PHỎNG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN CHO THIẾT BỊ TỰ ĐỘNG ỔN ĐỊNH ĐIỆN ÁP TRONG LƯỚI ĐIỆN HẠ ÁP

Lê Phương Hào¹, Nguyễn Thị Thắm¹

TÓM TẮT

Thiết bị ổn áp có chức năng ổn định điện áp trong giới hạn cho phép. Việc thiết kế và xây dựng hệ thống điều khiển giúp ổn áp hoạt động tự động sẽ khắc phục được các nhược điểm của thiết bị ổn áp điều chỉnh bằng cơ hiện nay. Bài báo này trình bày việc thiết kế thông số chi tiết và mô phỏng thuật toán điều khiển kết hợp PI và Feed-Forward cho thiết bị ổn áp tự động dùng trong mạng điện hạ áp. Quá trình thiết kế được áp dụng cho dải điện áp lưới đầu vào dao động trong khoảng từ 150V đến 290V và cho dải điện áp ra cung cấp cho thiết bị điện luôn nằm trong khoảng từ 210V đến 230V. Quá trình thực hiện được chứng minh bằng việc mô phỏng trên phần mềm matlab/simulink với công suất thiết bị ổn áp 10kVA.

Từ khóa: Ổn áp tự động, điều chỉnh điện áp, điều khiển ổn áp, Feed-forward, PI tuyến tính.

DOI: <https://doi.org/10.70117/hdujs.74.03.2025.559>

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, việc sử dụng nhiều các thiết bị điện với các nhu cầu khác nhau, đặc biệt ở giờ cao điểm gây nên hiện tượng chập chờn điện áp thường xuyên và liên tục, ảnh hưởng đến chất lượng điện năng [1,2]. Để khắc phục được việc này, các thiết bị ổn áp là sự lựa chọn đầu tiên. Ổn áp là một thiết bị điện tử có chức năng duy trì mức điện áp đầu ra ổn định trong giới hạn cho phép, bất kể sự biến động của điện áp đầu vào trong dải hoạt động được xác định [1,3]. Hiện nay, nhiều loại ổn áp đã được phát triển và ứng dụng rộng rãi, bao gồm ổn áp sử dụng rơ le và ổn áp điều khiển bằng động cơ servo.... [4,5]. Tuy nhiên, các thiết bị ổn áp này có nhiều nhược điểm như: thời gian phản ứng chậm do phụ thuộc vào sự vận hành của con người dẫn đến gián đoạn cung cấp điện, cần được bảo trì thường xuyên và phát sinh chi phí [6,7]. Để giải quyết các vấn đề này, bài báo này đề xuất mô hình ổn áp tự động điều chỉnh giá trị điện áp cấp cho tải mà không cần sự vận hành của con người. Quá trình tự động được thực hiện bởi hai bộ điều khiển là PI và feed-forward kết hợp với nhau mà ổn áp điều khiển bằng tay không có được. Sự khác biệt nổi bật của ổn áp tự động là bộ điều khiển Feed-Forward có chức năng tác động nhanh và loại bỏ các nhiễu, và bộ điều khiển PI sẽ giúp đưa giá trị điện áp cung cấp cho tải bằng với giá trị điện áp lưới với sai lệch trong giới hạn cho phép [8,9]. Việc này giúp cho ổn áp tự động đáp ứng được các yêu cầu đặt ra trong thực tế là vận hành thuận tiện và mang lại hiệu suất sử dụng năng lượng tốt. Thiết bị chính của ổn áp tự động là bộ biến đổi (BBĐ) AC-AC và mạch điều khiển. Khi điện áp lưới cao hơn hoặc thấp hơn giá trị độ lệch cho phép của điện áp định mức thì hệ thống điều khiển sẽ lập tức tác động để đưa điện áp cung cấp ra tải có

¹ Khoa Kỹ thuật, Công nghệ và Truyền thông; Email: lephuonghao@hdu.edu.vn

giá trị phù hợp với điện áp định mức. Hệ thống này mang lại những lợi ích vượt trội so với các ổn áp khác như tính chính xác cao, độ tin cậy đảm bảo, thời gian tác động nhanh, không gây ra tổn hao và tiếng ồn. Nội dung của bài báo sẽ tập trung vào việc phân tích cấu trúc, hoạt động, tính toán thiết kế thông số mạch lực và hệ thống điều khiển. Phạm vi của mô hình được thực hiện cho bộ ổn áp 1 pha công suất 10kVA tần số 50Hz, điện áp ra 210-230VAC khi điện áp đầu vào từ 150-290VAC.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

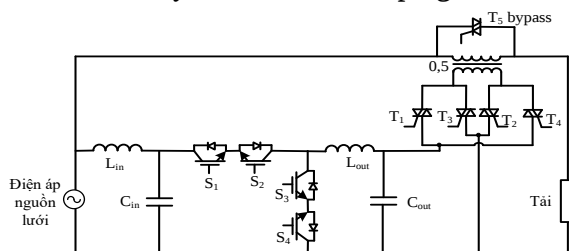
Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng phương pháp điều khiển Feed-Forward và Feedback cho thiết bị ổn áp điện tử. Sau đó thực hiện mô phỏng trên phần mềm Matlab-Simulink và xây dựng thực nghiệm để chứng minh hoạt động của thiết bị.

3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

3.1. Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của thiết bị ổn áp tự động

3.1.1. Cấu tạo

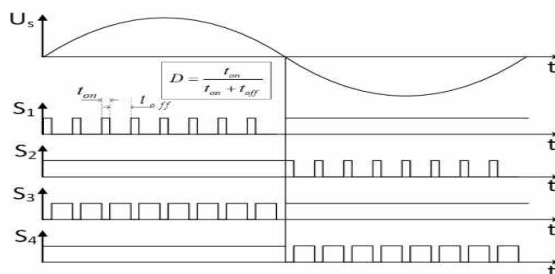
Cấu trúc của thiết bị ổn áp tự động được thể hiện như Hình 1, gồm hai phần chính là BBĐ AC-AC (có các bộ lọc điện áp, 04 van IGBT) và máy biến áp (MBA). Quá trình được thực hiện với mạch cầu H gồm 4 van TRIAC để đảo pha điện áp bù trong trường hợp điện áp cao, sau đó qua MBA cách ly để bù vào điện áp nguồn.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý bộ AC-AC

3.1.2. Nguyên lý hoạt động

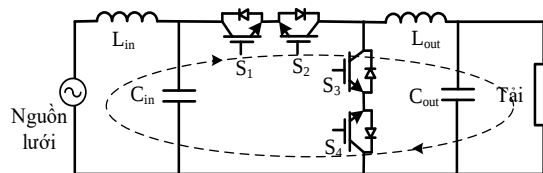
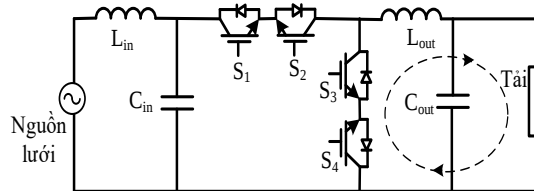
Khi hoạt động, các van bán dẫn IGBT được cấp xung từ bộ điều khiển thông qua phương pháp PWM với hệ số điều chế là D như hình 2 để tạo dạng sóng đầu ra giống với dạng sóng đầu vào.



Hình 2. Giản đồ xung cấp cho các van IGBT

Bảng 1. Bảng tín hiệu đóng mở van IGBT và Triac

Mode	Pha	IGBT				Triac			
		S1	S2	S3	S4	T1	T3	T2	T4
Điện áp thấp	+	1	1	0	1	1	0	1	0
		0	1	1	1	1	0	1	0
	-	1	1	1	0	1	0	1	0
		1	0	1	1	1	0	1	0
Điện áp cao	+	1	1	0	1	0	1	0	1
		0	1	1	1	0	1	0	1
	-	1	1	1	0	0	1	0	1
		1	0	1	1	0	1	0	1

**Hình 3. Mạch vòng dòng điện khi mở van S1-S2****Hình 4. Mạch vòng dòng điện khi mở van S1-S2**

Trong nửa chu kỳ dương của điện áp lưới, van S2 luôn dẫn dòng, trong khi tín hiệu điều chế PWM được cấp cho van S1, S2 dẫn liên tục, và tín hiệu điều chế điều khiển van S4 là tín hiệu đảo pha của tín hiệu điều khiển van S1. Khi van S1 dẫn, dòng điện chạy qua van S1 và S2, sau đó đi qua cuộn cảm L_{out} và cung cấp năng lượng cho tải, là cuộn sơ cấp của máy biến áp bù (như minh họa trong hình 3). Trong chu kỳ phát xung tiếp theo, khi van S1 ngừng dẫn (khóa), dòng điện trong cuộn cảm L_{out} được duy trì nhờ tính chất cảm kháng, và tiếp tục đi qua tải thông qua cặp van S3 và S4. Khi van S3 dẫn, việc điều khiển dòng điện được thực hiện thông qua đóng ngắt của van S4. Van S3 được mở suốt chu kỳ. Dòng điện duy trì qua tải như hình 4. Tương tự như vậy đối với nửa chu kỳ âm của điện áp lưới. Quá trình này được thể hiện chi tiết bởi các trạng thái đóng mở van IGBT và TRIAC như bảng 1. Các van bán dẫn IGBT trong ổn áp tự động được điều khiển thông qua các xung PWM, như minh họa trong hình 2, nhằm đảm bảo dạng sóng điện áp đầu ra tương tự dạng sóng điện áp đầu vào. Điều này được thực hiện bằng cách điều chỉnh hệ số điều chế D của xung PWM. Điện áp đầu ra được phép dao động trong khoảng $\pm 5\%$ so với giá trị danh định. Do đó, khi điện áp nguồn đầu vào nằm trong dải 210–230 VAC, bộ biến đổi AC-AC sẽ không kích hoạt hoạt động. Lúc này điện áp tải sẽ được nối trực tiếp với điện áp nguồn nhờ van Bypass T_5 . Khi điện áp nguồn nằm ngoài dải cho phép, bộ biến đổi AC-AC sẽ tạo ra một điện áp bù tương ứng bằng cách điều chỉnh hệ số điều chế DDD của tín hiệu PWM

điều khiển và thông qua máy biến áp (MBA) để cung cấp điện áp bù cho tải. Hệ thống các Triac T1, T2, T3, và T4 được sử dụng để điều chỉnh pha của điện áp bù. Việc thay đổi góc pha trên cuộn thứ cấp (cuộn bù) của MBA được thực hiện thông qua quá trình đóng cắt các cặp van Triac. Do đó, bộ ổn áp có thể làm việc được trong cả trường hợp điện áp nguồn thấp hoặc cao hơn điện áp đặt. Khi điện áp nguồn nhỏ hơn điện áp cho phép (150V-210V): T1 và T2 ở trạng thái đóng; T3 và T4 ở trạng thái mở; điện áp nguồn và điện áp bù cùng pha; điện áp tải bằng điện áp nguồn cộng điện áp bù thêm như hình 5a.



Hình 5. Vector điện áp nguồn và điện áp bù: (a) khi điện áp nguồn thấp và (b) khi điện áp nguồn cao

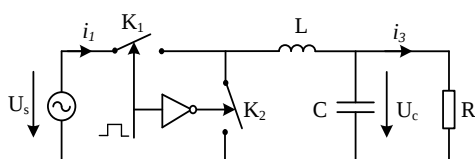
Khi điện áp nguồn vượt ngưỡng cho phép (230 V - 290 V), các van T1 và T2 ở trạng thái ngắt, trong khi các van T3 và T4 ở trạng thái dẫn. Trong cấu hình này, điện áp nguồn và điện áp bù có pha ngược nhau, dẫn đến điện áp tải được xác định bằng hiệu của điện áp nguồn và điện áp bù, như minh họa trong hình 5b.

2.2. Thiết kế thông số cho mô hình ổn áp tự động công suất 10 kVA

2.2.1. Mô hình hoạt động của ổn áp tự động

Phương trình điện áp nguồn và điện áp đầu ra của BBD AC-AC như công thức (1).

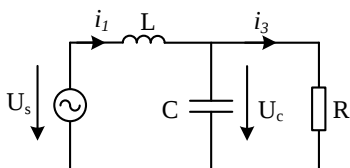
$$\begin{cases} U_s(t) = U_{sm} \sin(\omega t) \\ U_c(t) = U_{cm} \sin(\omega t) \end{cases} \quad (1)$$



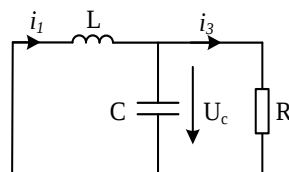
Hình 6. Sơ đồ tương đương các van công suất

Trong nửa chu kỳ dương của điện áp lưới, van S2 và van S3 luôn dẫn dòng, và trong nửa chu kỳ âm, trạng thái này được đảo ngược. Do đó, trong sơ đồ thay thế tương đương (hình 6), cặp van S1-S2 có thể được xem như một khóa tương đương K1, trong khi cặp van S3-S4 được coi là khóa tương đương K2. Xét hai trạng thái của BBD với tải thuần trở R.

Trạng thái 1: Khóa K₁ dẫn, K₂ mở ta được sơ đồ tương đương như hình 7.



Hình 7. Sơ đồ tương đương trạng thái 1



Hình 8. Sơ đồ tương đương trạng thái 2

Áp dụng định luật Kirchoff, thu được hệ phương trình mô tả mạch như hệ phương trình (2).

$$\begin{cases} u_c(t) = Ri_3(t) \\ L \frac{di_1}{dt} = u_s(t) - u_c(t) \\ C \frac{du_c(t)}{dt} = i_1(t) - i_3(t) = i_1(t) - \frac{u_c(t)}{R} \end{cases} \quad (2)$$

Trạng thái 2: Khóa K_1 mở, K_2 dẫn, ta được sơ đồ tương đương như Hình 8. Áp dụng định luật Kirchoff, thu được hệ phương trình (3).

$$\begin{cases} u_c(t) = Ri_3(t) \\ L \frac{di_1(t)}{dt} = -u_c(t) \\ C \frac{du_c(t)}{dt} = i_1(t) - i_3(t) = i_1(t) - \frac{u_c(t)}{R} \end{cases} \quad (3)$$

Do các khóa K_1 và K_2 hoạt động với các trạng thái ngược nhau, vì vậy ta chọn hàm đóng cắt $h=1$ khi K_1 dẫn; $h=0$ khi K_1 mở. Do đó hệ phương trình mô tả mạch như phương trình (4).

$$\begin{cases} L \frac{di_1(t)}{dt} = hu_s(t) - u_c(t) \\ C \frac{du_c(t)}{dt} = i_1(t) - \frac{u_c(t)}{R} \end{cases} \quad (4)$$

Trong một chu kỳ đóng cắt, tiến hành trung bình các biến, và Laplace hóa thu được phương trình hàm truyền giữa điện áp đầu ra BBĐ và hệ số điều chế D như (5).

$$\Rightarrow G_{u_c,d}(s) = \frac{U_{sm}}{LCs^2 + \frac{L}{R}s + 1} \quad (5)$$

2.2.2. Tính chọn thông số máy biến áp

Do tần số PWM (f_s) lớn hơn nhiều lần tần số lưới (f_{Us}) nên tại một chu kỳ đóng cắt, coi điện áp nguồn U_s là không đổi. MBA được thiết kế khi làm việc tốt ở trạng thái tải nặng nề nhất. Đó là điện áp nguồn ở mức tối hạn và công suất tải là lớn nhất. Từ đó, tính được dòng điện chạy qua thứ cấp MBA như (6).

$$I_{sec} = I_{load} = \frac{S_{load}}{U_{load}} = \frac{10000}{220} = 45.5(A) \quad (6)$$

Do đó, công suất MBA cần thiết kế: $S_{MBA} = 70 \times 45.5 = 3185(VA)$

Vì thiết kế MBA chịu được quá tải trong thời gian ngắn, chọn hệ số dự trữ công suất là $k = 1.1$. Do đó công suất MBA cần thiết kế là: $S_{MBA} = 3185 \times 1.1 = 3503(VA)$. Để BBĐ làm việc tốt, tạo ra điện áp bù đủ (70V) ngay cả khi điện áp nguồn vào thấp (150V) thì tỉ số MBA cần chọn là: $K_{BA} \geq \frac{70}{150} = 0.467$. Chọn $K_{BA} = 0.5$ để dòng điện chảy qua các van công suất phía sơ cấp máy biến áp là nhỏ nhất, Điện áp cuộn sơ cấp cần thiết kế là: $u_{pri} = 2 \times 70 = 140(V)$

2.2.3. Tính toán chọn van Triac

Với cấu trúc 4 van TRIAC mắc thành cầu H, điện áp đặt lên các van Triac này cần chịu đựng là điện áp lớn nhất mà BBĐ AC-AC tạo ra là 140V. Từ đó ta cần chọn các van triac có điện áp chịu đựng lớn hơn giá trị $140\sqrt{2} = 197.98(V)$. Chọn hệ số dự trữ cho dòng điện và điện áp của TRIAC 5 là $k = 1.5$. Ta chọn được van phù hợp là 70TPS16, chịu dòng điện 70A, điện áp đánh thủng 1600V.

2.2.4. Chọn van IGBT

Điện áp thiết kế lớn nhất đặt lên các van IGBT: $U_{IGBT} = U_{smax} = 290\sqrt{2} = 410(V)$

Dựa vào các điều kiện và hệ số dự trữ ta chọn được van IGBT 60N100 với dòng điện 60A, điện áp đánh thủng 1000V

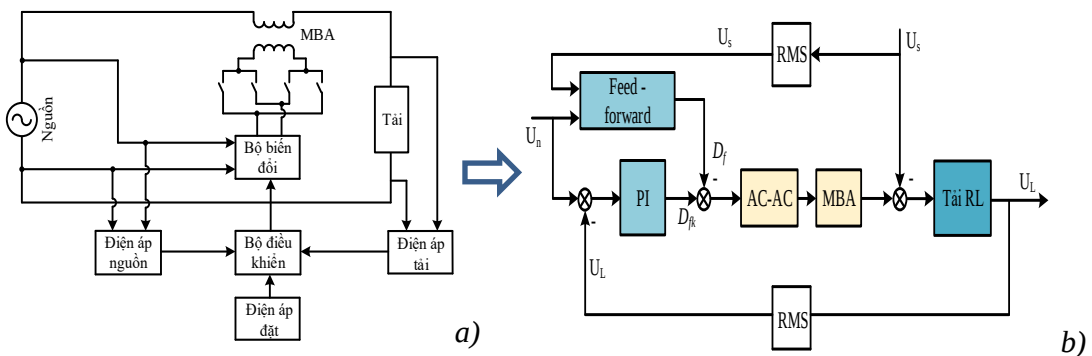
2.2.5. Tính toán mạch lọc đầu vào, đầu ra

Chọn tần số cắt $f_c = 5000Hz$ ta có: $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 5000Hz \Rightarrow LC = 1.0132 \times 10^{-9}$

Tính toán tương tự cho mạch lọc đầu ra chọn được $L_{out} = 1mH/25A$, $C_{out} = 10\mu F/450V$.

2.3. Xây dựng cấu trúc điều khiển cho mô hình ổn áp tự động

Mô hình điều khiển của hệ thống được trình bày như hình 9a. Và cấu trúc điều khiển của ổn áp tự động 1 pha được trình bày như hình 9b, do các khâu đo điện áp nguồn và tải có tính trễ, làm ảnh hưởng tới đáp ứng của bộ điều khiển PI. Do đó, để điện áp trên tải nhanh chóng trở về điểm làm việc an toàn cho tải, trong bài báo này sẽ kết hợp hai bộ điều khiển Feed-forward và PI làm việc cùng nhau. Bộ điều khiển Feed-Forward có ưu điểm là phản ứng nhanh. Tuy nhiên, bộ điều khiển này không có khả năng triệt tiêu sai lệch tĩnh do bản chất chỉ là bộ điều khiển truyền thẳng.



Hình 9. a) Mô hình điều khiển; b) Cấu trúc điều khiển của ổn áp tự động 1 pha

2.3.1. Thiết kế bộ điều khiển Feed-Forward

Để điện áp đầu ra bằng điện áp đặt thì lượng điện áp cần bù hoặc bớt đi được thể hiện như công thức (7).

$$U_2 = U_{sec} = |U_s - U_n| \quad (7)$$

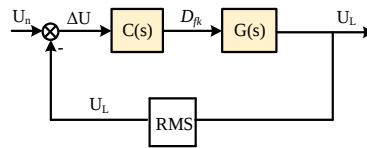
Với U_s và U_n lần lượt là điện áp hiệu dụng của nguồn đầu vào và điện áp đặt U_n . Với hệ số MBA đã $K_{BA} = 0.5$, ta có điện áp yêu cầu đầu ra của bộ biến đổi AC-AC như phương trình (8).

$$U_c = \frac{1}{K_{BA}} U_{sec} = 2|U_s - U_n| \quad (8)$$

Từ (11), (12) tính được hệ số điều chế của bộ Feed-Forward như phương trình (9).

$$\begin{cases} U_c = D_f U_s \\ U_c = 2|U_s - U_n| \end{cases} \Rightarrow D_f = 2 \frac{|U_s - U_n|}{U_s} \quad (9)$$

2.3.2. Thiết kế bộ điều khiển FeedBack



Hình 10. Cấu trúc bộ điều khiển FeedBack

Thay các giá trị LC đã tính toán ở phần 3.5, thu được hàm truyền giữa điện áp đầu ra BBD AC-AC với hệ số điều chế D như phương trình (10).

$$G_s = \frac{U_{sm}}{2 \times 10^{-8} s^2 + 4.132 \times 10^4 s + 2} \quad (10)$$

Thấy rằng, tử số của (10) tồn tại một thành phần biến số U_{sm} (điện áp nguồn hiệu dụng), đại lượng này ta đã xác định được thông qua phép đo điện áp nguồn. Vì vậy, ta tách G_s ra thành 2 thành phần riêng biệt như phương trình (11).

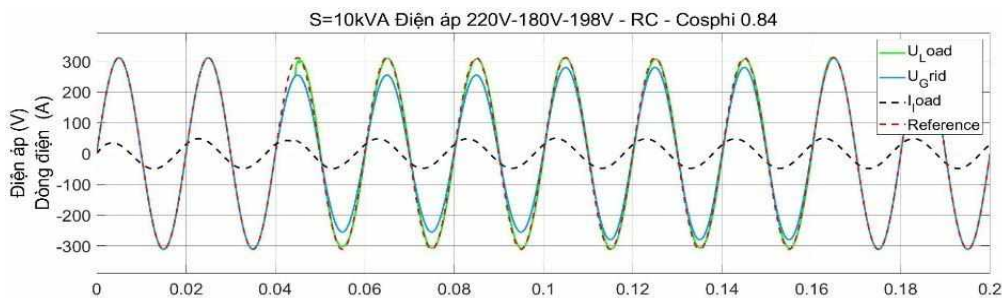
$$\begin{cases} G_{s1} = U_{sm} \\ G_{s2} = \frac{1}{2 \times 10^{-8} s^2 + 4.132 \times 10^4 s + 2} \end{cases} \quad (11)$$

Sau quá trình tính toán ta chọn được bộ điều khiển: $C_s = \frac{0.8195s + 12890}{s}$

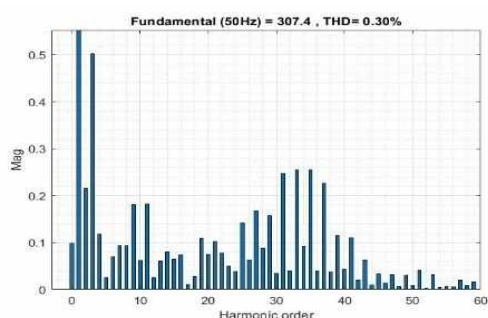
2.4. Mô phỏng hệ thống

2.4.1. Tải RC

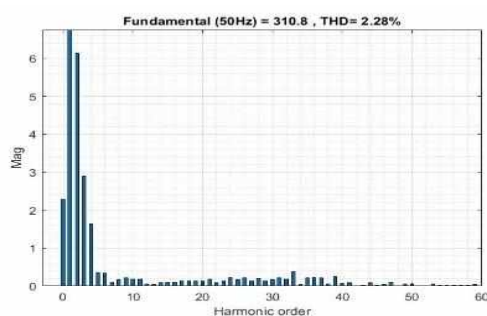
Kết quả mô phỏng khi điện áp nguồn dao động thấp - thấp tại 0.04s và 0.1s như hình 11.



Hình 11. Đáp ứng hệ thống khi điện áp nguồn thấp - thấp tải RC

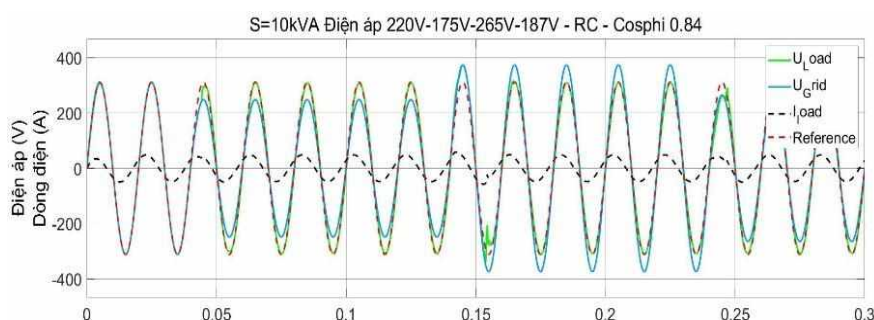


Hình 12. THD điện áp đầu ra khi điện áp nguồn thấp - thấp

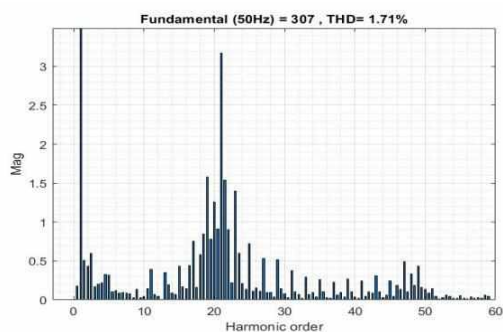


Hình 13. THD điện áp đầu ra khi điện áp nguồn thấp - thấp trong 1 chu kỳ quá độ

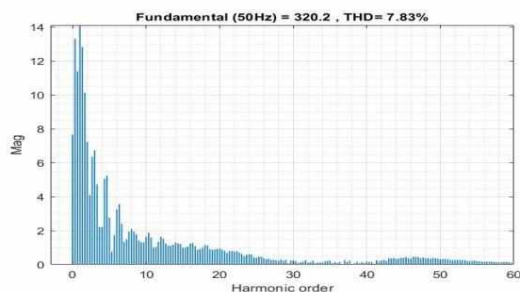
Kết quả mô phỏng khi điện áp nguồn dao động ổn định - thấp - cao - thấp như hình 14.



Hình 14. Đáp ứng hệ thống khi điện áp nguồn ổn định - thấp - cao - thấp tải RC



Hình 15. THD điện áp đầu ra khi điện áp nguồn ổn định - thấp - cao - thấp

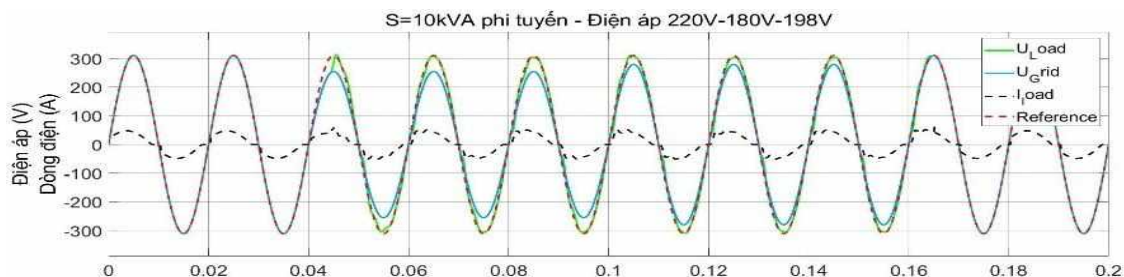


Hình 16. THD điện áp ra khi điện áp nguồn ổn định - thấp - cao - thấp trong 1 chu kỳ quá độ

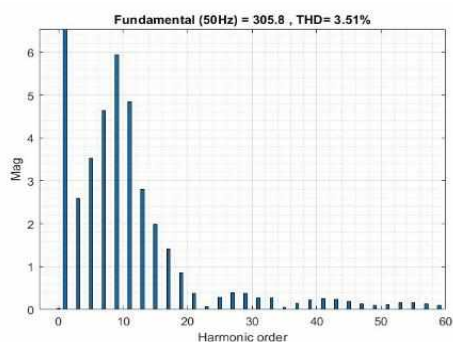
Các hình 11 và 14 là kết quả mô phỏng với tải RC khi điện áp nguồn dao động. Kết quả cho thấy rằng bộ điều khiển tác động nhanh để đưa điện áp trên tải về giá trị ổn định mong muốn với thời gian dưới 1 chu kì lưới đúng theo yêu cầu thiết kế ban đầu. Giá trị sai lệch điện áp nằm trong dải cho phép 5%, dạng điện áp khá bám tín hiệu đặt. Điện áp quá độ đầu ra bị dao động, tuy nhiên chỉ xảy ra nhanh trong 1 chu kỳ lưới. Kết quả đánh giá THD ở các hình 12, 13, 15 và 16 cho thấy trong các kịch bản tỉ lệ sóng hài THD thấp khi thiết bị làm việc ổn định (dưới 6,5%) và trong chu kỳ quá độ (dưới 15%).

2.4.2. Tải phi tuyến (chỉnh lưu cầu diode và tụ điện)

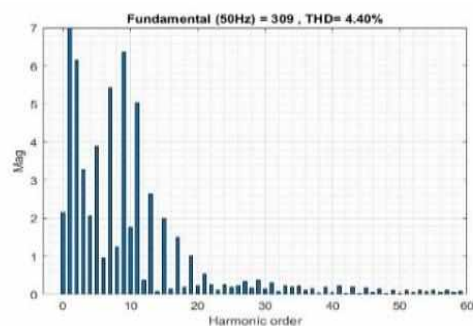
Kết quả mô phỏng khi điện áp nguồn dao động thấp - thấp tại 0.04s và 0.1s như hình 17.



Hình 17. Đáp ứng hệ thống khi điện áp nguồn thấp - thấp tải phi tuyến

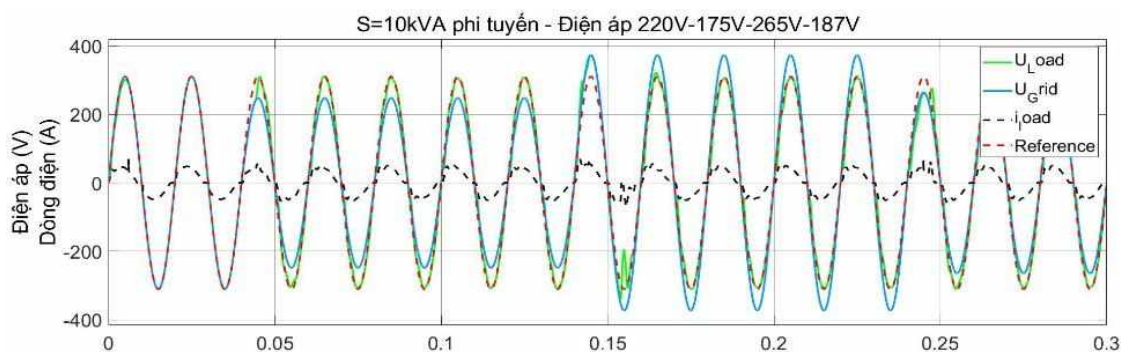


Hình 18. THD điện áp đầu ra khi điện áp nguồn thấp - thấp tải phi tuyến



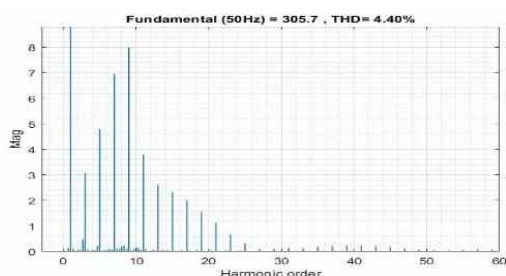
Hình 19. THD điện áp ra khi điện áp nguồn thấp - thấp tải phi tuyến trong chu kỳ quá độ

Kết quả mô phỏng khi điện áp nguồn dao động ổn định - thấp - cao - thấp

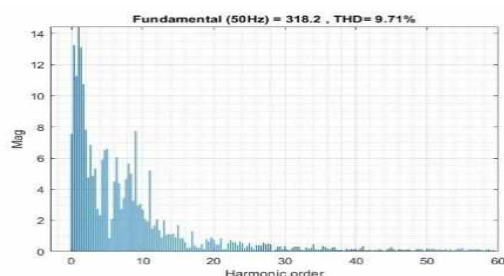


Hình 20. Đáp ứng hệ thống khi điện áp nguồn ổn định - thấp - cao - thấp tải phi tuyến

Các hình 17 và 20 là kết quả mô phỏng với tải phi tuyến khi điện áp nguồn dao động. Tương tự như trường hợp tải RC, kết quả cho thấy rằng bộ điều khiển tác động nhanh để đưa điện áp trên tải về giá trị ổn định mong muốn với thời gian dưới 1 chu kỳ lưới. Giá trị sai lệch điện áp nằm trong dải cho phép $\pm 5\%$, dạng điện áp khá bám tín hiệu đặt.



Hình 21. THD điện áp đầu ra khi điện áp nguồn ổn định - thấp - cao - thấp tải phi tuyến



Hình 22. THD điện áp đầu ra khi điện áp nguồn ổn định - thấp - cao - thấp tải phi tuyến trong 1 chu kỳ quá độ

Đối với các trường hợp có sự quá độ của máy biến áp, thời gian đáp ứng chậm hơn (khoảng 1.5 chu kỳ), tuy nhiên chỉ sau 1 chu kỳ, điện áp đã nằm trong ngưỡng tiêu chuẩn $\pm 5\%$. Kết quả đánh giá THD ở các hình 18, 19, 21, 22 cho thấy, trong các kịch bản tỉ lệ sóng hài THD thấp khi thiết bị làm việc ổn định (dưới 6,5%) và trong chu kỳ quá độ (dưới 15%), có thể chấp nhận được với tải phi tuyến. Quy định về sóng hài điện áp tại Khoản 2, Điều 7/Thông tư 39/2015/TT-BCT ngày 18/11/2015 của Bộ Công Thương quy định “Với cấp Trung và Hạ áp, tổng độ biến dạng sóng hài không được vượt quá 6,5% với phụ tải chất lượng cao, và không vượt quá 15% với phụ tải không yêu cầu chất lượng cao”. Các kết quả của bài báo đều thu được các trị số THD dưới 6,5%. Chỉ riêng trường hợp quá độ như hình 16 và hình 22. Tuy nhiên chỉ số là chỉ xảy ra trong 1 chu kỳ quá độ và lập tức trở về trạng thái thường.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã giới thiệu về mô hình và cách thiết kế tham số của thiết bị ổn áp tự động, đồng thời cũng nêu rõ quá trình làm việc của hệ thống ổn áp tự động. Quá trình thực hiện được kiểm chứng bằng mô hình thiết bị làm việc ở mạng điện hạ áp có điện áp định mức là 220V. Các kịch bản thực hiện trên mô phỏng được xây dựng trên quá trình dao động khác nhau của điện áp lưới giống như trong thực tế. Qua kiểm tra với các tải khác nhau, hệ thống đã cơ bản đáp ứng tốt các yêu cầu đặt ra. Các cơ sở lý thuyết, cấu trúc hoạt động nêu ra đã kiểm chứng chính xác thông qua các hình ảnh kết quả, điều này đã thể hiện được chất lượng điều khiển tốt, các giá trị điện áp ổn định, sai số trong dải giới hạn cho phép, thời gian đáp ứng nhanh trong một chu kỳ điện lưới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Nan, T. Hou-jun, L. Jian-yu, Y. Chen, C. Wei-wei, A. Xiao-yu (2010), *Dynamic Voltage Regulator based on PWM AC Chopper Converter: Topology and Control*, WSEAS Transactions on Systems, 9(5) 539-548.
- [2] H. Chamandoust, A. Hashemi, S. Bahramara (2021), *Energy management of a smart autonomous electrical grid with a hydrogen storage system*, Int. J. Hydrogen Energy 46(34) 17608-17626.
- [3] T. B. Soeiro, C. A. Petry, J. C. d. S. Fagundes, I. Barbi (2011), *Direct AC-AC Converters Using Commercial Power Modules Applied to Voltage Restorers*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 58(1) 278-288.

- [4] F. M. Serra, L. M. Fernández, O. D. Montoya, W. G. González, J. C. Hernández (2020), *Nonlinear voltage control for three-phase DC-AC converters in hybrid systems: an application of the PI-PBC method*, Electronics, 9(5) 847.
- [5] T. A. Naidu, S. R. Arya, T. H. M. El-Fouly (2020), *Comparative performance of dynamic voltage restorer using adaptive control algorithms with optimized error regulator gains*, Int. Trans. Elect. Energy Syst., early access, article no: e12696.
- [6] R. Nasrollahi, M. Farhadi-Kangarlu (2022), *Sliding mode control of a dynamic voltage restorer based on PWM AC chopper in three-phase three-wire systems*, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 134(4) 107-113.
- [7] B. Ferdi, C. Benachaiba, S. Dib, R. Dehini (2010), *Adaptive PI Control of Dynamic Voltage Restorer Using Fuzzy Logic*, Journal of Electrical Engineering: Theory & Application, 1(3), 165-173.
- [8] F. M Ibanez, F. M. Joshua Eletu, J. M. Echeve (2021), *Input Voltage Feedforward Control Technique for DC/DC Converters to Avoid Instability in DC Grids*, IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 99(6) 234-241.
- [9] P. Gambôa, J. F. Silva, S. F. Pinto (2019), *Input–Output Linearization and PI controllers for AC-AC matrix converter based Dynamic Voltage Restorers with Flywheel Energy Storage: a comparison*, Electric Power Systems, 169(8) 214-228.

PARAMETRIC DESIGN AND SIMULATION CONTROL SYSTEM FOR AUTOMATIC VOLTAGE STABILIZER TO STABILIZE VOLTAGE IN LOW VOLTAGE GRID

Le Phuong Hao, Nguyen Thi Tham

ABSTRACT

Voltage stabilizers have the function of stabilizing voltage within the allowable limit. The design and creation of a control system that helps the voltage stabilizer operate automatically will overcome the disadvantages of mechanically regulated voltage stabilizers. This paper presents the selection of detailed parameters and simulation of the combined PI and Feed-Forward control algorithm for automatic voltage stabilizers used in low-voltage power grids. The design process is applied to the input grid voltage range ranging from 150V to 290V and to the output voltage range supplied to electrical equipment that is always between 210V and 230V. The implementation process is demonstrated by simulating on matlab/simulink software with a 10kVA voltage stabilizer capacity.

Keywords: *Electronic voltage stabilizer, Automatic voltage adjustment, Electronic voltage stabilizer control, Feed-forward, Linear PI.*

* Ngày nộp bài: 22/5/2024; Ngày gửi phản biện: 25/5/2024; Ngày duyệt đăng: 10/03/2025

* Bài báo là kết quả nghiên cứu từ đề tài NCKH cấp cơ sở (mã số ĐT-2023-17) của Trường Đại học Hồng Đức.