

Nghiên cứu thuật toán phát hiện sự cố điện áp lưới trong hệ điều khiển bộ điều áp liên tục

Research on grid fault detection algorithm in the control scheme of the active voltage conditioner

Vũ Thị Ngọc Vân, Vũ Hoàng Phương*, Phạm Quang Đăng, Nguyễn Huy Phương, Nguyễn Quang Địch

¹Trường Điện-Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội

*Corresponding Author E-mail: phuong.vuhoang@hust.edu.vn

Abstract

The development of devices that improving the quality of power system has been the focus of considerable research in recent years. This paper introduces the grid voltage fault detection algorithm for control system of Active Voltage Conditioner (AVC). The algorithms are built with the aim to AVC system works fast, accurately even in non-ideal grid conditions. The algorithms will be presented include phase lock loop algorithm, voltage sag/swell detection algorithm and phase sequence checking algorithm. All algorithms are tested and simulated in MATLAB/Simulink.

Keywords: Active Voltage Conditioner, Voltage Sag/Swell Detection, Phase Lock Loop, Phase Sequence Checking Algorithm

Symbols

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$v_{a,b,c}(t)$	V	Điện áp lưới pha A, B, C
$v_{a,b,c}^*(t)$	V	Điện áp đỉnh tính toán từ pha A, B, C
$v_{a\alpha}(t)$	V	Điện áp ảo trục giao pha A
$v_{a\beta}(t)$		
ω_n	Rad/s	Tần số lọc
$\hat{\omega}$	Rad/s	Tần số lưới
$v_{\alpha\beta}$	V	Điện áp trên hệ tọa độ tĩnh
v_{dq}^{+1}	V	Điện áp thứ tự thuận trên hệ tọa độ quay
v_{dq}^{-1}	V	Điện áp thứ tự nghịch trên hệ tọa độ quay

Abbreviations

AVC	Active Voltage Conditioner
VS2D	Voltage Sag/Swell Detection
VOSG	Virtual Othogonal System Generation
SOGI	Second Order Generalized Intergrator
OSG	Orthogonal Signal Generator
PLL	Phase Lock Loop
PSC	Phase Sequence Checking

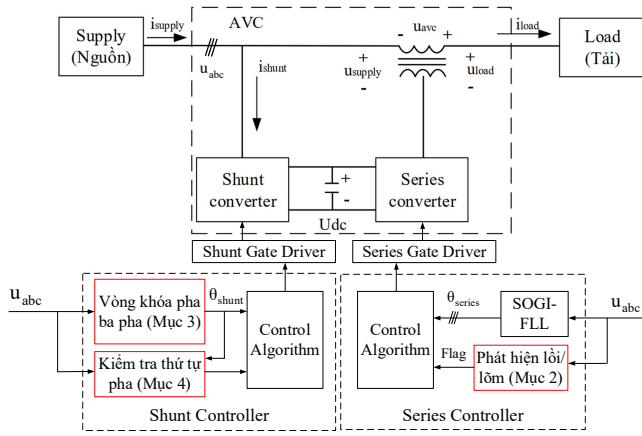
Tóm tắt

Ngày nay việc nghiên cứu phát triển các thiết bị đảm bảo chất lượng điện năng luôn được nhiều nhà khoa học quan tâm. Bài báo giới thiệu

thuật toán phát hiện sự cố điện áp lưới ứng dụng cho bộ điều áp liên tục AVC. Thuật toán được xây dựng với mục đích làm cho hệ thống AVC hoạt động nhanh, chính xác ngay cả với điều kiện lưới điện không lý tưởng. Thuật toán phát hiện sự cố điện áp lưới được trình bày bao gồm: thuật toán vòng khóa pha, thuật toán phát hiện sự cố lỗi/lỗi điện áp và thuật toán kiểm tra thứ tự pha. Hoạt động của các thuật toán kể trên được kiểm chứng qua phần mềm mô phỏng MATLAB/Simulink.

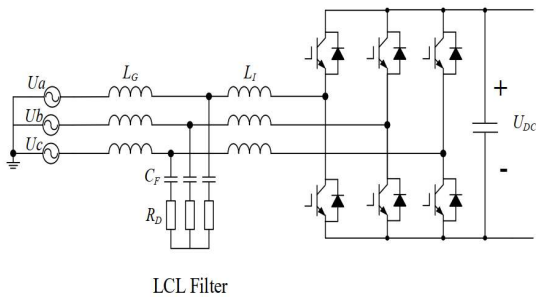
1. Giới thiệu

Theo IEEE Std. 1159 - 1995, sự cố lồi/lõm điện áp được định nghĩa là hiện tượng điện áp hiệu dụng bị suy giảm trong khoảng 10% - 90% hay vượt quá 110% so với điện áp định mức trong khoảng thời gian ngắn, từ một nửa chu kỳ điện áp lưới cho đến một phút [1]. Mặc dù sự cố lồi/lõm điện áp chỉ xảy ra trong một khoảng thời gian ngắn nhưng nó có thể làm phụ tải nhạy cảm dừng hoạt động, gây ra những thiệt hại không nhỏ trong quá trình sản xuất của các nhà máy. Để khắc phục tình trạng này, nhiều giải pháp khác nhau đã được đề xuất trong đó có việc sử dụng bộ cấp nguồn liên tục (UPS) [9-10], hoặc bộ lọc tích cực (Active Filter) [11-12]. Phương án sử dụng bộ nguồn UPS chống biến thiên điện áp lưới đã được sử dụng trong những năm trước đây nhưng có nhược điểm hiệu suất thấp cũng như đòi hỏi chi phí vận hành cao. Trong khi đó, giải pháp dùng bộ lọc tích cực ngăn chặn sự cố biến động điện áp có nguyên nhân từ sóng hài dòng điện lại tồn tại nhược điểm là chỉ lọc được sóng hài do bản thân các phụ tải của nhà máy sinh ra mà không thể lọc sóng hài do các phụ tải khác ngoài lưới tác động tới. Bộ bù áp liên tục AVC đề xuất trong [13-16], được coi là giải pháp tối ưu được sử dụng bởi sự hiệu quả cũng như lợi ích về mặt kinh tế mà nó đem lại so với các phương án cũ.

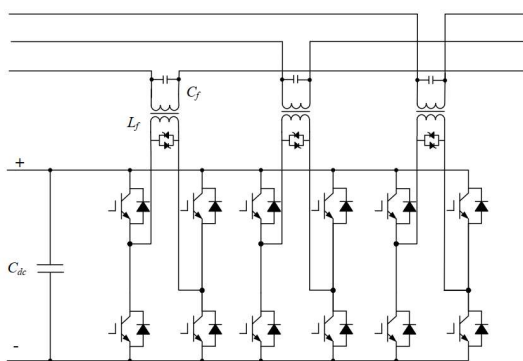


Hình 1: Sơ đồ cấu trúc các thành phần chính của AVC

Sơ đồ cấu trúc của một hệ thống AVC được cho trong Hình 1. Hai thành phần chính trong hệ thống bù áp liên tục bao gồm bộ biến đổi phía lưới (Shunt Converter và bộ biến đổi phía tải (Series Converter. Bộ biến đổi phía lưới (Shunt) có cấu trúc tương tự như một bộ chỉnh lưu tích cực ba pha ba nhánh van, đóng vai trò biến đổi điện áp xoay chiều từ lưới điện để tạo ra điện áp một chiều cho biến đổi đằng sau. Trong khi đó, bộ biến đổi phía tải (Series), cấu tạo từ ba sơ đồ cầu một pha, có tác dụng tạo ra điện áp thích hợp để chèn vào lưới điện thông qua máy biến áp nối tiếp. Do đặc điểm của hệ thống AVC, cả bộ shunt và bộ series đều kết nối với lưới điện, dẫn đến việc tính toán góc pha để từ đó phát hiện sự cố trở thành một yêu cầu cấp thiết. Các thuật toán vòng khóa pha cơ bản có thể xác định được góc pha lưới trong trường hợp lưới lý tưởng. Tuy nhiên khi lưới gặp sự cố (lỗi, lờm điện áp trên một, hai pha hay lưới tồn tại các thành phần sóng hài bậc cao) thì những thuật toán này không còn hoạt động chính xác. Do đó, các phương pháp mới cần phải được nghiên cứu để giải quyết vấn đề này.



Hình 2: Cấu trúc mạch lực bộ Shunt



Hình 3: Cấu trúc mạch lực bộ Series

Một phương pháp thông dụng để phát hiện điện áp lờm/lờm thường dựa trên phân tích Fourier, điện áp hiệu dụng hay phát hiện điện áp đỉnh đã được nghiên cứu trong [2-3]. Nhược điểm chính của các phương pháp này là sử dụng dữ liệu trước đó để phát hiện lờm/lờm điện áp nên thời gian tác động chậm. Một phương pháp khác xác định thời gian bắt đầu và kết thúc của lờm/lờm điện áp sử dụng tín hiệu nhỏ được trình bày trong [4]. Phương pháp này đã cho kết quả hoạt động tốt khi xảy ra hiện tượng lờm điện áp.

Trong bài báo này, ba thuật toán tập trung vào việc phát hiện sự cố điện áp lưới cho bộ biến đổi Shunt và Series trong hệ thống AVC được giới thiệu. Vị trí của các thuật toán này cũng được thể hiện thông qua sơ đồ trong Hình 1. Đầu tiên là một thuật toán phát hiện sự lờm/lờm dựa trên cơ sở điện áp trực giao ảo áp dụng cho bộ biến đổi Series. Tiếp theo là một thuật toán vòng khóa pha cho bộ biến đổi Shunt dựa trên cơ sở tách đồng bộ kép giúp bắt nhanh và chính xác góc pha của hệ thống ngay cả trong các trường hợp lưới không lý tưởng để hệ bù được đúng thời điểm lờm, lờm điện áp. Cuối cùng, một thuật toán xác định thứ tự pha cho lưới điện ba pha bằng phần mềm nhằm kiểm tra trước khi hệ thống đi vào hoạt động cũng sẽ được trình bày.

2. Thuật toán phát hiện sự cố lờm/lờm điện áp lưới

2.1. Mô tả thuật toán

Xét một hệ thống điện áp ba pha ABC từ lưới, điện áp trên từng pha lần lượt là $v_a(t)$, $v_b(t)$ và $v_c(t)$. Theo tư tưởng của thuật toán, ta sẽ tạo ra các điện áp trực giao ảo của từng pha. Ví dụ trên pha A, từ điện áp ban đầu $v_a(t)$ ta sẽ tạo ra các điện áp ảo $v_{a\alpha}(t)$ và $v_{a\beta}(t)$. Để thực hiện công việc đó, ta sử dụng khâu tích phân bậc hai (SOGI). Khâu SOGI có bản chất là một khâu lọc thông dải tăng vô hạn [5-6], hàm truyền đạt như công thức (1) dưới đây

$$H_{SOGI} = \frac{\omega_n s}{s^2 + \omega_n^2} \quad (1)$$

Áp dụng khâu SOGI vào mục đích tạo điện áp trực giao ảo theo sơ đồ trong Hình 4. Khi đó, ta xác định các hàm truyền đạt của hệ kín.

Đối với đáp ứng $v_{a\alpha}$:

$$H_{\alpha} = \frac{v_{a\alpha}}{v_a} = \frac{k\omega_n s}{s^2 + k\omega_n s + \omega_n^2} \quad (2)$$

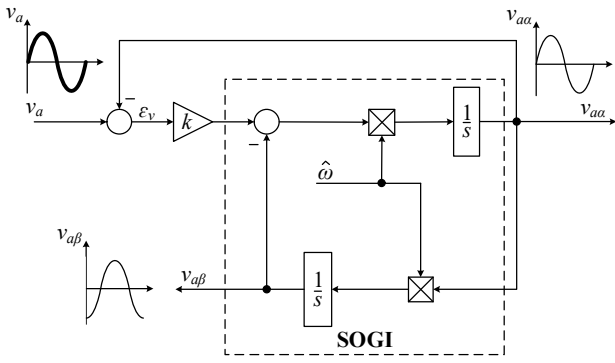
Đối với đáp ứng $v_{a\beta}$:

$$H_{\beta} = \frac{v_{a\beta}}{v_a} = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + k\omega_n s + \omega_n^2} \quad (3)$$

Trong đó:

- ω_n là tần số lọc của SOGI, được chọn bằng với tần số của điện áp lưới $\hat{\omega}$.

- k là hệ số khuếch đại quyết định băng thông của SOGI bằng hai lần hệ số tắt dần $k = 2\zeta$.



Hình 4: Cấu trúc tạo điện áp trực giao ảo áp dụng SOGI

Như vậy, nhờ khâu tạo điện áp trực giao sử dụng SOGI (OSG-SOGI) từ điện áp ban đầu là tổng hợp của sóng hài cơ bản với các sóng hài bậc cao, ta đã tạo được hai tín hiệu điện áp trực giao, biên độ bám với tín hiệu ban đầu và đặc biệt là giảm thiểu được các thành phần sóng hài bậc cao. Điều này được kiểm chứng trong [5] và [6].

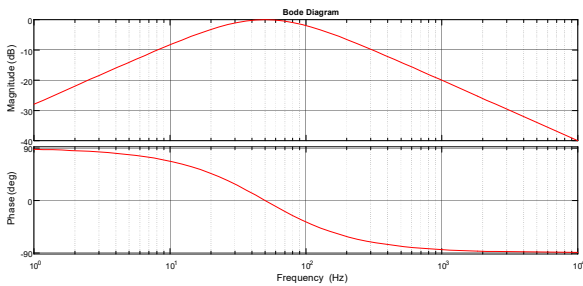
Biên độ thành phần cơ bản của điện áp lưới được tính như công thức (4), (5), (6).

$$v_a(t)^* = \sqrt{v_{a\alpha}(t)^2 + v_{a\beta}(t)^2} \quad (4)$$

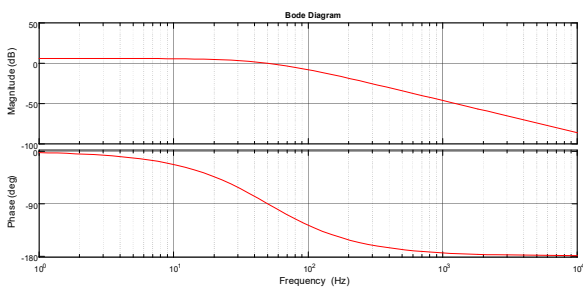
$$v_b(t)^* = \sqrt{v_{b\alpha}(t)^2 + v_{b\beta}(t)^2} \quad (5)$$

$$v_c(t)^* = \sqrt{v_{c\alpha}(t)^2 + v_{c\beta}(t)^2} \quad (6)$$

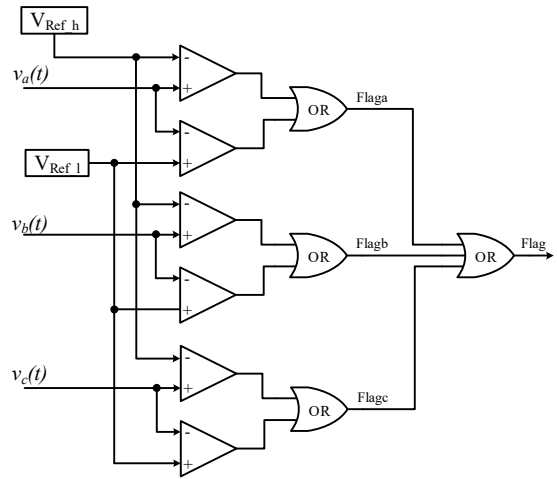
Khi đã tính toán được biên độ điện áp lưới trên từng pha, ta có thể xác định được các sự cố lôm/lỗi điện áp thông qua việc so sánh giữa giá trị điện áp tính được từ các công thức (4), (5), (6) với giá trị điện áp chuẩn.



Hình 5: Đồ thị Bode hàm truyền H_α



Hình 6: Đồ thị Bode hàm truyền H_β



Hình 7: Sơ đồ phát hiện lôm/lỗi điện áp

Với sự cố lôm/lỗi điện áp trên bất kỳ pha nào của lưới điện sẽ được thuật toán phát hiện và thông báo qua tín hiệu Flag.

2.2. Mô phỏng thuật toán phát hiện sự cố lôm/lỗi điện áp

Để kiểm chứng tính đúng đắn, thuật toán được mô phỏng trên MATLAB/Simulink.

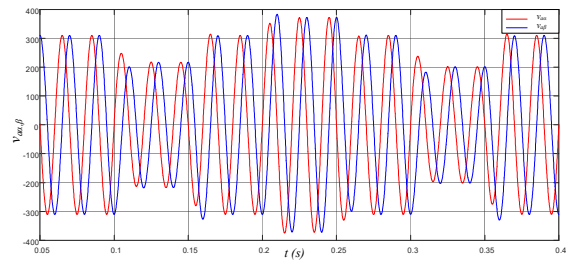
Thiết lập lưới điện:

- Điện áp định mức: $V_{Ref} = 380V$ (1pu)
- Tần số: $f = 50 \pm 1Hz$
- Sóng hài bậc 5: 5%
- Sóng hài bậc 7: 5%
- Điện áp ngưỡng:

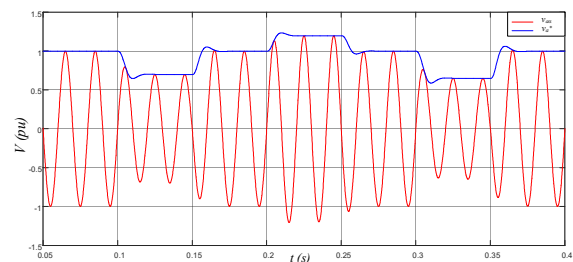
$$V_{Ref_h} = 110\% V_{Ref}, V_{Ref_l} = 90\% V_{Ref}$$

Các sự cố điện áp:

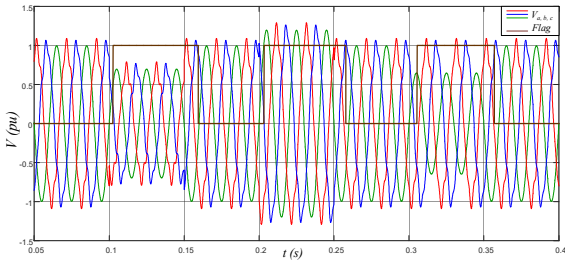
- Sự cố 1: lôm ba pha 30%, thời điểm 0.1s - 0.15s
- Sự cố 2: lỗi ba pha 20%, thời điểm 0.2s - 0.25s
- Sự cố 3: lôm một pha 35%, thời điểm 0.3s - 0.35s



Hình 8: Các điện áp trực giao ảo của pha A



Hình 9: Điện áp định được tính từ pha A (pu)



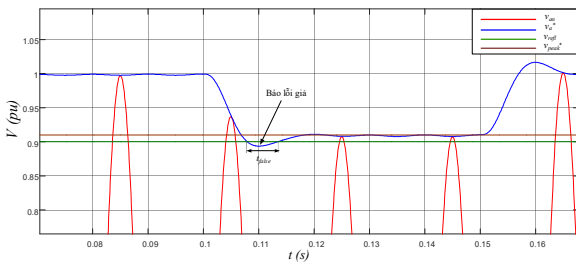
Hình 10: Tín hiệu phát hiện lôm/lỗi điện áp

Bảng 1: Thời gian phát hiện lôm/lỗi điện áp

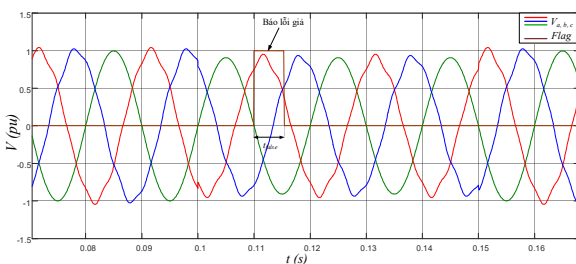
Sự cố	Trễ bật báo lỗi (ms)	Trễ tắt báo lỗi (ms)
1	2.7	9.4
2	3.4	7.9
3	5.4	7.0

Các kết quả mô phỏng được chỉ ra từ Hình 8 đến Hình 10. Ta có thể thấy rằng, từ điện áp một pha của lưới điện ta đã tạo thành công hệ thống điện áp trực giao được giảm thiểu các thành phần sóng hài bậc cao nhờ sử dụng khâu OSG - SOGI. Từ đó có thể tính toán được biên độ điện áp và xác định được sự cố lôm/lỗi điện áp một cách đơn giản.

Tuy nhiên, để đạt được tốc độ phát hiện sự cố nhanh, thuật toán sẽ phải đánh đổi bằng việc hoạt động thiếu chính xác trong một số trường hợp sự cố điện áp khác nghiệt. Nguyên nhân hoạt động thiếu chính xác của thuật toán trong một số trường hợp được xác định bởi độ quá điều chỉnh của tín hiệu điện áp định tính toán được. Dưới đây tác giả đưa ra một ví dụ tiêu biểu về hiện tượng “báo lỗi giả”. Mặc dù điện áp lưới thực tế có sự biến động nhưng chưa thực sự được coi là một sự cố lôm/lỗi điện áp nhưng do tín hiệu điện áp hiệu dụng tính toán v_a^* có độ quá điều chỉnh vượt ra khỏi ngưỡng v_{refl} (Hình 11) làm tín hiệu phát hiện sự cố lôm/lỗi điện áp thay đổi lên mức “1” trong khoảng thời gian $t_{false} = 4ms$ (Hình 12).



Hình 11: Hiện tượng “báo lỗi giả” trên pha A



Hình 12: Tín hiệu báo lỗi giả của thuật toán

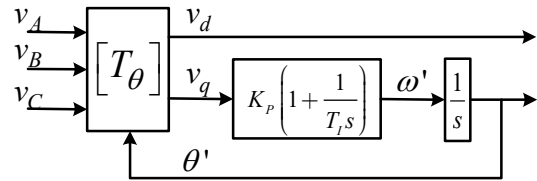
Khi ta nắm được thời gian báo lỗi giả t_{false} thì hiện tượng “báo lỗi giả” sẽ được kiểm soát. Bằng việc cài thêm một

khoảng thời gian t_{false} vào thời gian trễ bật báo lỗi khi lập trình cho thuật toán.

Như vậy, dựa trên kết quả mô phỏng và những giả thiết tác giả đưa ra, thuật toán phát hiện sự cố lôm/lỗi điện áp này đảm bảo cho thời gian báo lỗi nhỏ hơn một nửa chu kỳ điện áp lưới với độ tin cậy cao. Đồng thời có thể có một sự khảo sát kỹ lưỡng về lưới điện cần áp dụng cho hệ thống AVC để cải thiện được thời gian phát hiện sự cố, nâng cao chất lượng hệ thống AVC.

3. Thuật toán vòng khóa pha ba pha

3.1. Mô tả thuật toán



Hình 13: Cấu trúc cơ bản vòng khóa pha ba pha

Ý tưởng xây dựng thuật toán vòng khóa pha ba pha dựa trên cấu trúc Khung tọa độ quay đồng bộ. Với hệ thống lưới điện ba pha, qua phép biến đổi Clarke và Park, ta có thể biểu diễn điện áp qua hai thành phần trên khung tọa độ quay dq [7].

Nếu vec-tơ điện áp tổng hợp quay đồng bộ với trục d của khung tọa độ, thì góc quay của trục d đồng thời cũng là góc của vec-tơ điện áp. Hệ quả khi đó, điện áp trên trục q bằng 0. Hay nói cách khác, phương pháp này xác định góc pha của điện áp lưới bằng cách điều khiển điện áp trên trục q bằng 0. Điện áp v_q được đưa qua bộ điều khiển là bộ PI có vai trò xác định góc pha từ điện áp sai lệch. Với $[T_\theta] = [T_{dq}][T_{\alpha\beta}]$ là ma trận của phép biến đổi Clarke và Park; hàm truyền hệ kín được xác định:

$$G_k = \frac{\Theta'(s)}{\Theta(s)} = \frac{G_h}{1 + G_h} = \frac{K_p s + \frac{K_p}{T_i}}{s^2 + K_p s + \frac{K_p}{T_i}} \quad (7)$$

Thiết kế bộ điều khiển với mong muốn hàm truyền hệ kín có đáp ứng của khâu dao động bậc hai theo phương trình (8):

$$G_k(s) = \frac{2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (8)$$

Trong đó: ω_n là tần số riêng hệ tắt dần, ζ là hệ số tắt dần.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K_p}{T_i}}; \zeta = \frac{\sqrt{K_p T_i}}{2} \quad (9)$$

Thời gian xác lập [8]:

$$t_x = T_{1\%} = \frac{\ln\left(\frac{1}{1\%}\right)}{\zeta\omega_n} = \frac{4.6}{\zeta\omega_n} \quad (10)$$

Tuy nhiên, khi lưới điện không cân bằng, thuật toán hoạt động không còn chính xác nữa. Nguyên nhân, khi lưới mất cân bằng, ta có thể phân tích điện áp lưới thành tổng của các thành phần cân bằng: thứ tự thuận, thứ tự nghịch và thứ tự không. Đối với hệ ba pha ba dây, thành phần thứ tự không bị triệt tiêu, do đó ta chỉ quan tâm đến thành phần thứ tự thuận và thứ tự nghịch. Biểu diễn qua giản đồ vec-tơ cho thấy rằng, sự chuyển động tương đối giữa hai thành phần thuận-nghịch sẽ gây nên dao động với tần số góc 2ω cho thành phần còn lại. Do đó, thay vì thành phần một chiều, thành phần thứ tự thuận dao động với tần số góc 2ω nên việc xác định góc pha không còn chính xác. Để khắc phục điều này, cấu trúc vòng khóa pha được bổ sung thêm khâu *Tách kênh khung đồng bộ kép*, để tách riêng thành phần một chiều và thành phần dao động của điện áp thứ tự nghịch, thứ tự thuận.

3.2. Xây dựng bộ Tách kênh khung đồng bộ kép

Phân tích lưới điện ba pha trên hệ tọa độ dq được biểu diễn theo công thức (11):

$$\mathbf{v}_{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \mathbf{v}^+_{\alpha\beta} + \mathbf{v}^-_{\alpha\beta} = V^+ \begin{bmatrix} \cos(\omega t + \phi^+) \\ \sin(\omega t + \phi^+) \end{bmatrix} + V^- \begin{bmatrix} \cos(-\omega t + \phi^-) \\ \sin(-\omega t + \phi^-) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Điện áp thứ tự thuận được xác định:

$$\mathbf{v}_{dq^+} = \begin{bmatrix} v_{d^+} \\ v_{q^+} \end{bmatrix} = [T_{dq^+}] \cdot \mathbf{v}_{\alpha\beta} \quad (12)$$

Điện áp thứ tự nghịch được xác định:

$$\mathbf{v}_{dq^-} = \begin{bmatrix} v_{d^-} \\ v_{q^-} \end{bmatrix} = [T_{dq^-}] \cdot \mathbf{v}_{\alpha\beta} \quad (13)$$

Trong đó:

$$[T_{dq^+}] = [T_{dq^-}]^T = \begin{bmatrix} \cos(\theta') & \sin(\theta') \\ -\sin(\theta') & \cos(\theta') \end{bmatrix} \quad (14)$$

với θ' là góc pha được tính từ vòng khóa pha. Từ đó, ta xây dựng được công thức về mối quan hệ giữa điện áp thứ tự thuận và thứ tự nghịch.

$$\begin{cases} \mathbf{v}_{dq^+} = \begin{bmatrix} v_{d^+} \\ v_{q^+} \end{bmatrix} = V^+ \begin{bmatrix} \cos(\phi^+) \\ \sin(\phi^+) \end{bmatrix} + V^- \cos(\phi^-) \begin{bmatrix} \cos(2\omega t) \\ -\sin(2\omega t) \end{bmatrix} + V^- \sin(\phi^-) \begin{bmatrix} \sin(2\omega t) \\ \cos(2\omega t) \end{bmatrix} \\ \mathbf{v}_{dq^-} = \begin{bmatrix} v_{d^-} \\ v_{q^-} \end{bmatrix} = V^- \begin{bmatrix} \cos(\phi^-) \\ \sin(\phi^-) \end{bmatrix} + V^+ \cos(\phi^+) \begin{bmatrix} \cos(2\omega t) \\ \sin(2\omega t) \end{bmatrix} + V^+ \sin(\phi^+) \begin{bmatrix} -\sin(2\omega t) \\ \cos(2\omega t) \end{bmatrix} \end{cases} \quad (15)$$

Từ công thức (15), cấu trúc bộ Tách kênh khung đồng bộ kép được đưa ra như Hình 14.

Hình 14 là sơ đồ của khâu Tách kênh khung đồng bộ kép cho thành phần thứ tự thuận, thành phần thứ tự nghịch được xây dựng tương tự với vai trò các vec-tơ điện áp được đảo ngược lại.

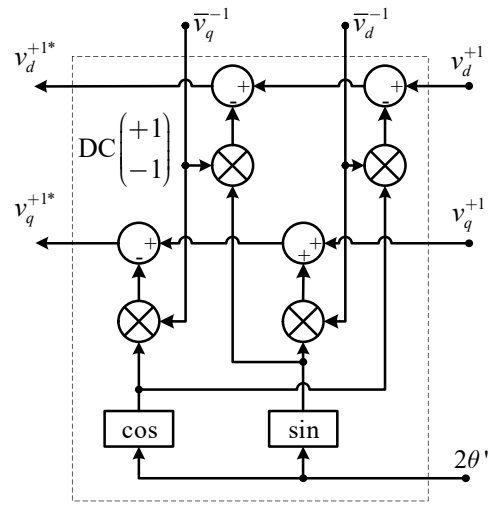
Thành phần xoay chiều của khung đồng bộ thứ tự thuận xác định dựa trên điện áp thứ tự nghịch trên tần số cơ bản và ngược lại. Do đó, để loại bỏ thành phần dao động với tần số góc 2ω , cần phân hồi thành phần ở tần số cơ bản. Bộ lọc

thông thấp LPF được đưa vào để loại bỏ các thành phần sóng hài bậc cao. Bộ lọc được lựa chọn là khâu Quán tính bậc nhất, có phương trình:

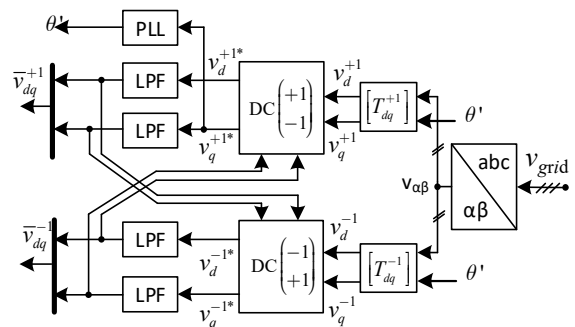
$$LPF(s) = \frac{\omega_f}{s + \omega_f} \quad (16)$$

Cấu trúc tổng thể của vòng khóa pha lúc này được xây dựng như Hình 15.

Để xác định thông số bộ lọc, ta dựa trên quan hệ giữa \bar{v}_d^{+1} và v_d^{+1*} . Với các giá trị khác nhau của tần số gây ω_f ta thu được các đường đặc tính khác nhau; với $\omega_f = \frac{\omega}{\sqrt{2}}$ thì đường đặc tính có độ quá điều chỉnh và thời gian xác lập là nhỏ nhất.



Hình 14: Bộ Tách kênh khung đồng bộ kép



Hình 15: Cấu trúc tổng thể vòng khóa pha ba pha sử dụng bộ Tách kênh khung đồng bộ kép

3.3. Mô phỏng vòng khóa pha

Sử dụng phần mềm MATLAB/Simulink để mô phỏng hoạt động của vòng khóa pha. Các thông số được cài đặt:

- Điện áp lưới: $U_{dm} = 380$ V
- Tần số lưới: $f = 50 \pm 1$ Hz
- Chu kỳ trích mẫu: 0.1 ms
- Thời gian xác lập: $t_x = 2$ ms
- Thông số bộ điều khiển:

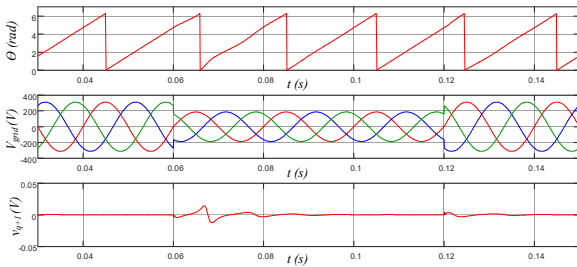
$$K_p = \frac{9,2}{t_x} = \frac{9,2}{0,002} = 4600 \quad (17)$$

$$K_i = \frac{4,6K_p}{t_x} = \frac{4,6 \cdot 4600}{0,002} = 1058 \cdot 10^4 \quad (18)$$

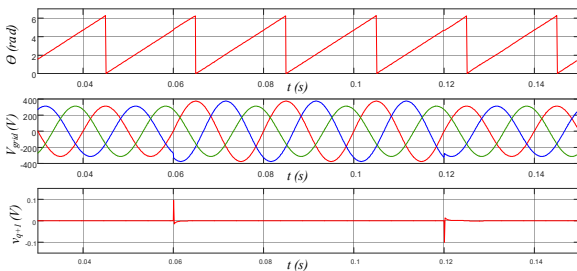
- Tần số gây bộ lọc LPF:

$$\omega_f = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} = 222,1(\text{rad} / \text{s}) \quad (19)$$

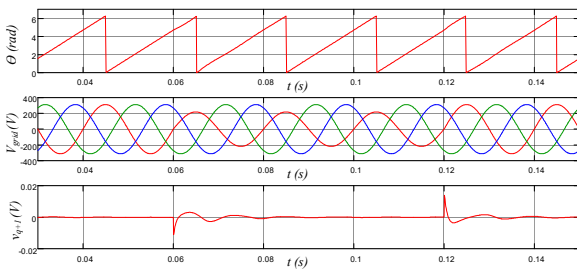
Đồ thị mô phỏng thể hiện góc pha xác định được của vòng khóa pha, điện áp lưới, và sự thay đổi của điện áp v_q ; trong ba trường hợp, lỗi ba pha cân bằng, lỗi điện áp hai pha, lỗi một pha.



Hình 16: Trường hợp lỗi ba pha cân bằng, độ lỗi: 40%



Hình 17: Trường hợp lỗi hai pha, độ lỗi: 20%



Hình 18: Trường hợp lỗi một pha, độ lỗi: 30%

Với đối tượng điều khiển là v_q , qua mô phỏng có thể thấy rằng, với các sự cố lỗi khác nhau thì biến động của v_q là khác nhau. Tuy nhiên giá trị của nó rất nhỏ so với điện áp lưới, giá trị đó thể hiện sai lệch góc pha của vectơ điện áp tổng hợp khi xảy ra mất cân bằng. Mô phỏng cho thấy bộ điều khiển hoạt động tốt, v_q trở về 0 trong 2ms.

Bộ điều khiển PI được sử dụng vừa thể hiện vai trò của khâu lọc thông thấp, vừa điều khiển v_q về 0, triệt tiêu sai lệch tĩnh.

Đối với cấu trúc này của vòng khóa pha, biến cơ bản được sử dụng là góc pha của điện áp lưới. Để đánh giá sự nhạy cảm

của vòng khóa pha với sự thay đổi tần số lưới, $\Delta\omega_p$ là dải tần số mà tại đó vòng khóa pha luôn có thể khóa chính xác góc pha nhưng quá trình diễn ra có thể chậm hơn. Đối với bộ PI thì vùng tần số này tiến tới vô cùng. Thời gian cần thiết để vòng khóa pha khóa được góc pha khi có sự biến động của tần số đầu vào có thể được tính theo (20):

$$T_p = \frac{\pi^2}{16} \frac{\Delta\omega_{in}^2}{\zeta\omega_n^3} \quad (20)$$

Như vậy, với thời gian cho phép giả sử là 2ms như mô phỏng, dải tần biến động được phép là rất lớn: $\Delta f_{in} = 1413(\text{Hz})$.

Cấu trúc vòng khóa pha ba pha đã xác định được góc pha chính xác, nhanh, và hoạt động ổn định, dựa trên các phép số học đơn giản cho khả năng cài đặt dễ dàng vào vi điều khiển

4. Thuật toán kiểm tra thứ tự pha

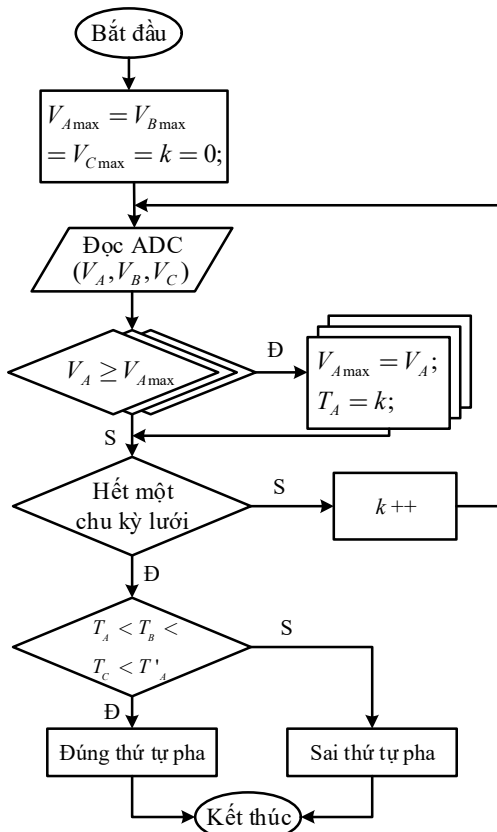
Thứ tự pha được quy ước như công thức (21). Nếu mắc sai so với quy ước, tức là có hai trong ba pha bị sai thứ tự, từ trường tổng hợp sẽ có chiều quay ngược lại. Trên thực tế có rất nhiều cách để kiểm tra thứ tự pha, sử dụng các mạch điện tương tự đơn giản,... các sản phẩm thương mại là các đồng hồ chỉ thị thứ tự pha. Tuy nhiên để tích hợp với hệ thống AVC, thuật toán kiểm tra thứ tự pha bằng phần mềm trên vi điều khiển được đưa ra.

$$\begin{cases} V_A = V_{\max} \cos(\omega t) \\ V_B = V_{\max} \cos(\omega t - \frac{2\pi}{3}) \\ V_C = V_{\max} \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \end{cases} \quad (21)$$

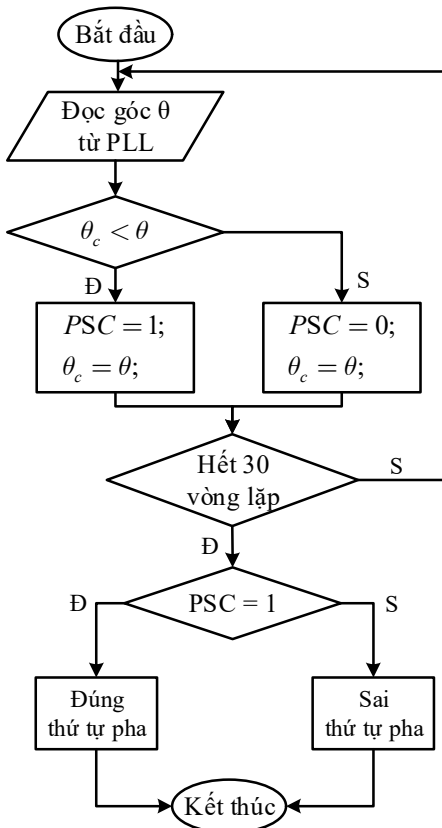
4.1. Thuật toán thứ nhất: Kiểm tra chiều quay tương đối của ba pha

Cơ sở lý thuyết: dựa trên quy ước về chiều quay của ba pha. Áp dụng mối liên hệ giữa dao động điều hòa và chuyển động tròn đều, trong mỗi chu kỳ lưới, mỗi pha chỉ qua giá trị biên dương một lần duy nhất. Theo quy ước về chiều quay, thì thứ tự các pha qua đỉnh (góc pha bằng 0) lần lượt là A, B, C hoặc, B, C, A hoặc C, A, B tùy theo vị trí ban đầu của ba pha.

Áp dụng trong hệ thống AVC, giá trị điện áp tức thời của ba pha được đo liên tục về hệ thống, thông qua việc đọc ADC và một bộ Timer, ta có thể xác định được thời điểm các pha đạt giá trị lớn nhất: T_A, T_B, T_C . Lưu đồ thuật toán được thể hiện qua Hình 19.



Hình 19: Lưu đồ thuật toán xác định thứ tự pha dựa trên chiều quay tương đối của ba pha



Hình 20: Lưu đồ thuật toán xác định thứ tự pha dựa trên chiều thay đổi góc pha của vec-tơ điện áp lưới

4.2. Thuật toán thứ hai: dựa trên sự thay đổi góc pha của vec-tơ tổng hợp điện áp lưới

Cơ sở lý thuyết: lưới điện ba pha có thể biểu diễn dưới một vec-tơ điện áp duy nhất, gọi là vec-tơ điện áp tổng hợp. Nếu các pha được mắc đúng thứ tự, góc pha của vec-tơ điện áp tổng hợp sẽ thay đổi theo chiều tăng dần từ 0 đến 2π trong một chu kỳ điện áp lưới. Nếu sai thứ tự pha, góc pha của vec-tơ điện áp tổng hợp sẽ thay đổi từ 2π về 0 trong một chu kỳ lưới. Dựa trên việc kiểm tra sự thay đổi của góc pha vec-tơ điện áp tổng hợp, ta có thể biết được các pha được mắc đúng thứ tự hay không. Do cài đặt trên vi điều khiển, nên thông tin về góc pha được lấy từ mô-đun vòng khóa pha ba pha đã được trình bày ở trên.

Như vậy, về lý thuyết, việc kiểm tra thứ tự pha có thể hoàn thành sau hai chu kỳ trích mẫu (với điều kiện là vòng khóa pha đã bắt được góc pha chính xác). Tuy nhiên để tăng tính chính xác, tránh các điểm nhạy cảm giao giữa hai chu kỳ, ta sẽ không xét góc pha trong khoảng $\pm 15^\circ$, và xét sự thay đổi góc pha trong một khoảng thời gian dài hơn hai chu kỳ trích mẫu của ADC. Lưu đồ thuật toán được thể hiện qua Hình 20. Nhận xét: hai thuật toán được đưa ra đều thỏa mãn việc kiểm tra thứ tự pha bằng phần mềm trên vi điều khiển. Thuật toán nhất nhất được viết với chương trình đơn giản, nhưng cần ít nhất một chu kỳ lưới để hoàn thành, thuật toán thứ hai kết hợp với vòng khóa pha nên có chương trình phức tạp hơn, tuy nhiên lại phù hợp trong việc kết hợp giữa các mô-đun trong hệ thống AVC, và có thời gian hoàn thành khá nhanh tùy thuộc đáp ứng của vòng khóa pha. Việc lựa chọn cài đặt thuật toán nào còn tùy thuộc vào mục đích sửa dụng để kiểm tra bước đầu trước khi đưa hệ thống vào hoạt động, hay bảo vệ thứ tự pha nhanh chóng và chính xác. Để đảm bảo yêu cầu đặt ra thì hai thuật toán này cần phải cải thiện thêm nữa.

5. Kết luận

Bài báo đã đưa ra ba thuật toán ứng dụng cho hệ thống điều áp liên tục. Thuật toán xác định lôm/lỗi điện áp nhằm mục đích phát hiện kịp thời sự cố xảy ra, tăng tính động học của hệ thống. Thuật toán vòng khóa pha ba pha đã xác định được góc pha chính xác của thành phần thứ tự thuận trong thời gian ngắn, từ đó giúp hệ bù chính xác thời điểm lôm/lỗi điện áp. Thuật toán xác định thứ tự pha đã đảm bảo yêu cầu, được cài đặt đơn giản trên vi điều khiển, tích hợp với các khâu khác của hệ thống và xác định được thứ tự pha trong một khoảng thời gian ngắn cho phép. Các thuật toán bước đầu đã đảm bảo yêu cầu đặt ra, tuy nhiên để cải thiện hơn nữa hoạt động của hệ thống, vẫn cần phải nghiên cứu thêm và cải thiện hoạt động của các thuật toán này cũng như kết hợp chúng trong một hệ thống tổng thể.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nielsen, John Godsk (2002) Design and control of a Dynamic Voltage Restorer, Aalborg: Institut for Energiteknik, Aalborg Universitet.
- [2] X. Xiangning, X. Yonghai, and L. Lianguang, "Simulation and analysis of voltage sag mitigation using active series voltage injection," in Proc. Int. Conf. Power System Technology, 2000, pp. 1317-1322.
- [3] N. S. Tunaboylu, E. R. Collins, Jr., and P. R. Chaney, "Voltage disturbance evaluation using the missing voltage technique," in Proc. 8th Int. Conf. Harmonics and Quality of Power, 1998, pp. 577-582.

- [4] A. C. Parsons, W. M. Grady, and E. J. Powers, "A wavelet-based procedure for automatically determining the beginning and end of transmission system voltage sags," in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting, 1999, pp. 1310–1315
- [5] Angelo Baggini (2008) Handbook of Power Quality. John & Sons Ltd, The Atrium Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
- [6] Ciobotaru and Mihai (2009) Reliable Grid Condition Detection and Control of Single-Phase Distribution Power Generation System. Aalborg: Institut for Energiteknik, Aalborg Universitet.
- [7] Remus Teodorescu, Marco Liserre, Pedro Rodríguez (2011) Grid Converters For Photovoltaic And Wind Power Systems. Remus Teodorescu, Marco Liserre and Pedro Rodríguez © 2011 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-0573-3.
- [8] Nguyễn Doãn Phước (2005) Lý thuyết điều khiển tuyến tính. NXB Khoa học & Kỹ thuật.
- [9] M.H.J.Bollen, Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions, IEEE Press Series on Power Engineering, New York. 2000
- [10] Massimo Bongiorno (2004) Control of Voltage Source Converters for Voltage Dip Mitigation in Shunt and Series Configurations. thesis for the degree of licentiate of engineering, Department of Electric Power Engineering Chalmers University of Technology
- [11] M. Baszynski, K. Sowa, and S. Pirog, "An Active Power Filter with Energy Storage and Double DC Conversion for Power Surge Compensation," Electronics, vol. 9, no. 9, p. 1489, Sep. 2020, doi: 10.3390/electronics9091489.
- [12] V. Khadkikar, A. Chandra, A. O. Barry and T. D. Nguyen, "Analysis of Power Flow in UPQC during Voltage Sag and Swell Conditions for Selection of Device Ratings," 2006 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Ottawa, ON, Canada, 2006, pp. 867-872, doi: 10.1109/CCECE.2006.277324.
- [13] P. Vu, V. T. N. Van, Q. Nguyen, N. Q. Dich, and M. Tran, "Design and Implementation of Active Voltage Conditioner in Low-Voltage Distribution System," J. Electr. Syst., vol. 16, no. 4, pp. 569–581, 2020.
- [14] Vu Hoang Phuong, Tran Trong Minh, Vu Thi Ngoc Van, Nguyen Huy Phuong, Nguyen Quang Dich "A Linear control for Active voltage conditioner", The 3rd ASEAN Smart Grid Congress & The 5th International Conference on Sustainable Energy.
- [15] Vu Thi Ngoc Van, Nguyen Dinh Ngoc, Nguyen Huy Phuong, Vu Hoang Phuong, Nguyen Quang Dich, Tran Trong Minh, "Fully DSP-Based Control of an Active Voltage Conditioner", Journal of Science and Technology (Smart Systems and Devices), ISSN 2734-9373, Volume 1, Issue 1, Page 116-123, 5/2021.
- [16] Vu, Phuong & Dinh, N. & Hoang, Nhat & Nguyen, Quan & Nguyen, D. & Tran, M.. (2018). A generalized parameter tuning method of proportional-resonant controllers for dynamic voltage restorers. International Journal of Power Electronics and Drive Systems. 9. 1709-1717. 10.11591/ijpeds.v9n4.pp1709-1717.