

Điều khiển PLL kỹ thuật số cho hệ thống quang điện một pha

Lê Thanh Hải - 20191813
GVHD: TS. Trần Thanh Sơn

Ngày 26 tháng 11 năm 2022

Tác giả: Jong-Woo Choi,
Young-Jun Kim, Hwangnam Kim

DOI: 10.1049/ip-epa:20045225

IEE Proc.-Electr. Power Appl.,
Vol. 153, No. 1, January 2006

Scan QR-Code



Các tác giả đến từ Trường Kỹ thuật Điện-Điện tử, Kyungpook, Đại học Quốc gia, Sangyeok-dong, Buk-gu, Daegu, Hàn Quốc.

1 Giới thiệu

2 Phương pháp bắt điểm qua không

3 Phân tích bộ Dò hai pha ảo

4 Thực nghiệm

5 Kết luận

1 Giới thiệu

1 Giới thiệu

Thông tin điện áp lưới, chẳng hạn như tần số, góc pha và biên độ, rất quan trọng trong nhiều hệ thống công nghiệp.

Trong hệ thống ba pha, thông tin về điện áp lưới có thể dễ dàng thu được bằng cách sử dụng phương pháp vectơ.

Tuy nhiên, đối với hệ thống một pha, thông tin điện áp khó có được hơn nhiều.

Thông thường, tần số và góc pha của điện áp một pha thu được bằng cách “bắt điểm qua không”.

Tuy nhiên, phương pháp này không thể cung cấp thông tin điện áp lưới ngay lập tức và rất nhạy cảm với nhiễu.

1 Giới thiệu

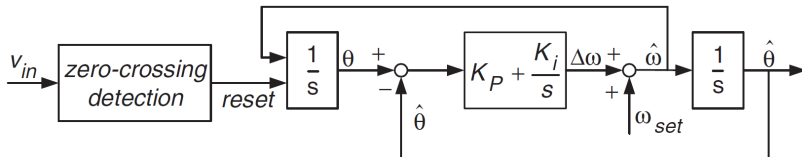
Theo đó, bài báo trình bày một thuật toán vòng khóa pha kỹ thuật số (PLL) mới cho các hệ thống quang điện một pha.

Thuật toán sử dụng hai giai đoạn ảo và hiệu suất của nó được chứng minh trong các điều kiện khác nhau để cho thấy tính hiệu quả của thuật toán được đề xuất.

2 Phương pháp bắt điểm qua không

2 Phương pháp bắt điểm qua không

Hình 1 cho thấy phương pháp bắt điểm qua không, trong đó điểm không được phát hiện sau mỗi nửa chu kỳ. Góc ước lượng $\hat{\theta}$ thu được bằng cách tích phân tần số ước tính $\hat{\omega}$, tần số này được ước tính bằng cách điều khiển chênh lệch góc về 0 trong bộ điều khiển PI. Trong hình 1, ω_{set} là giá trị tần số ban đầu.

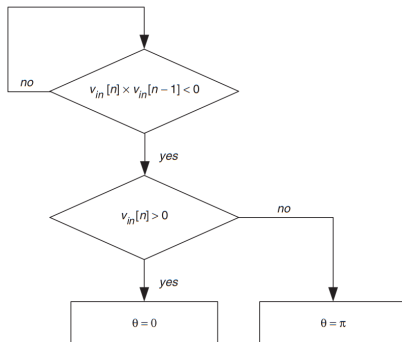


Hình 1: Phương pháp bắt điểm qua không

2 Phương pháp bắt điểm qua không

Hình 2 cho thấy một sơ đồ khối của phương pháp bắt điểm qua không, trong đó giá trị ở thời điểm hiện tại được lấy mẫu cho điện áp lưới được nhân với khoảng thời gian được lấy mẫu trong quá khứ, cho phép phát hiện điểm giao nhau.

Nếu giá trị hiện tại lớn hơn 0 thì góc pha θ bằng 0; ngược lại, góc pha θ là π .



Hình 2: Lưu đồ phương pháp bắt điểm qua không

2 Phương pháp bắt điểm qua không

Tuy nhiên, khuyết điểm của phương pháp này là độ nhạy của nó đối với nhiễu.

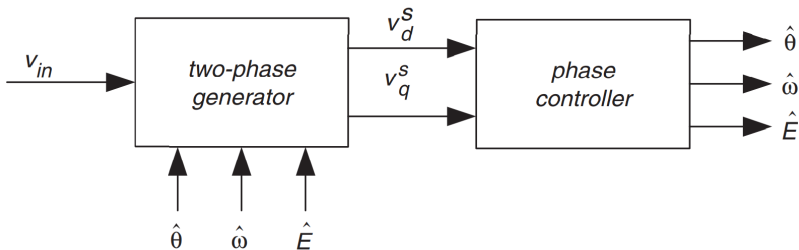
Nếu nhiễu tác động vào điện áp lưới, một lỗi phát hiện pha xảy ra, vì điểm không sẽ được phát hiện nhiều lần.

3 Phân tích bộ Dò hai pha ảo

3 Phân tích bộ Dò hai pha ảo

Bộ dò pha được chia thành hai phần:

- **Bộ tạo hai pha ảo:** Tạo ra V_d^s và V_q^s vuông pha nhau.
- **Bộ điều khiển pha:** Điều chỉnh V_d^s và V_q^s để tạo ra góc pha ước tính $\hat{\theta}$, tần số ước tính $\hat{\omega}$ và biên độ ước tính \hat{E} .



Hình 3: Bộ Dò 2 pha ảo

3.1 Bộ tạo hai pha ảo

Biểu thức điện áp đầu vào trong hình 3:

$$v_{in} = E \sin(\omega t) = E \sin(\theta)$$

Hai đầu ra của bộ tạo hai pha ảo:

$$v_q^s = E \sin(\omega t) = v_{in}$$

$$v_d^s = E \cos(\omega t)$$

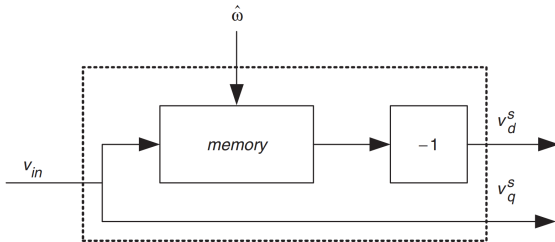
(a) Phương pháp sử dụng bảng bộ nhớ

v_{in} được lưu giữ vào bộ nhớ mỗi chu kỳ và giá trị của v_{in} ở $1/4$ chu kỳ trước sẽ được nhân với -1

$$v_d^s = -v_{in} \left(t - \frac{\pi}{2\hat{\omega}} \right) = -E \sin \left(\omega t - \frac{\omega}{\hat{\omega}} \frac{\pi}{2} \right) \cong E \cos \omega t$$

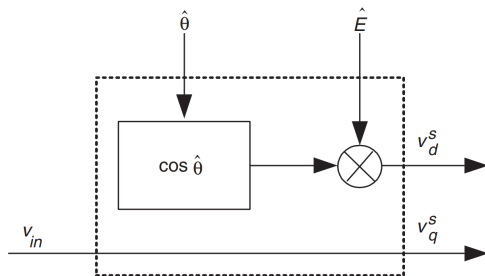
$$v_q^s = v_{in} = E \sin(\omega t)$$

Khi $E \cong \hat{E}$ và $\theta \cong \hat{\theta}$, v_d^s và v_q^s lệch pha nhau $\pi/2$.



Hình 4: 4: Phương pháp sử dụng bảng bộ nhớ

(b) Phương pháp sử dụng góc pha và biên độ ước tính



Hình 5: Phương pháp sử dụng góc pha và biên độ ước tính

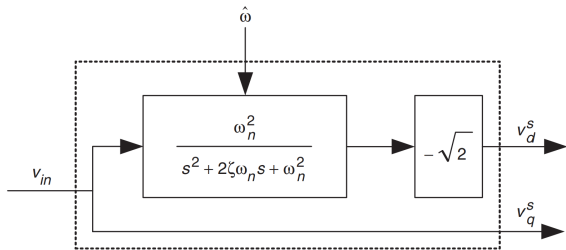
Phương pháp này nhân biên độ ước lượng được (\hat{E}) với $\cos \hat{\theta}$ để thu được

$$v_d^s = \hat{E} \cos \hat{\theta}$$

$$v_q^s = E \sin(\omega t) = v_{in}$$

(c) Phương pháp sử dụng bộ lọc bậc 2

v_d^s và v_q^s được tạo ra bằng cách cho v_{in} đi qua bộ lọc thông thấp (LPF) bậc 2.



Hệ số giảm chấn

$$\zeta = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Tần số cộng hưởng

$$\omega_n = \hat{\omega} = \omega$$

Hình 6: Phương pháp sử dụng bộ lọc bậc 2

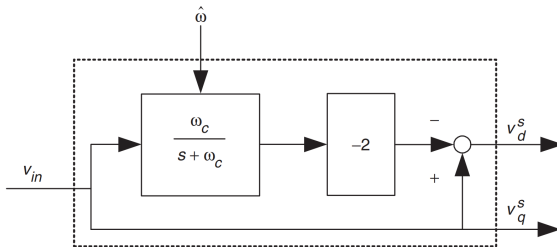
Phương pháp này thu được

$$v_d^s \cong (-\sqrt{2}) \left(\frac{E}{\sqrt{2}} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \right) = E \cos \omega t$$

(d) Phương pháp sử dụng bộ lọc bậc 1

Phương pháp này tạo ra v_d^s và v_q^s bằng cách cho v_{in} đi qua bộ lọc thông thấp (LPF) bậc 1.

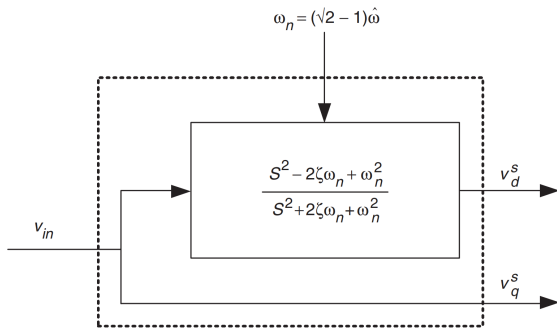
$$\begin{aligned} v_d^s &= v_{in} - 2 \frac{E}{\sqrt{2}} \times \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) \\ &= E \sin(\omega t) - 2 \frac{E}{\sqrt{2}} \times \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) = E \cos(\omega t) \end{aligned}$$



Hình 7: Phương pháp sử dụng bộ lọc bậc 1

(e) Phương pháp sử dụng bộ lọc thông dải

Cho v_{in} đi qua bộ lọc thông dải sẽ thu được v_d^s và v_q^s .



Hệ số giảm chấn

$$\zeta = 1$$

Tần số cộng hưởng

$$\omega_n = (\sqrt{2} - 1)\hat{\omega}$$

$$\text{và } \omega \cong \hat{\omega}$$

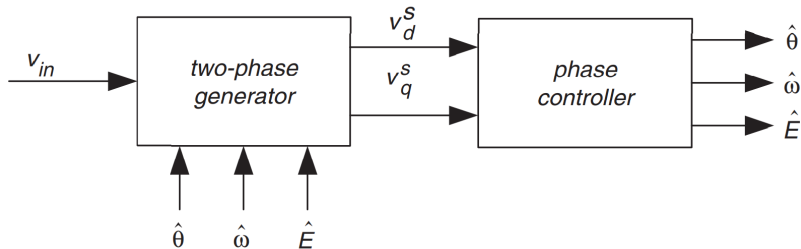
Hình 8: Phương pháp sử dụng bộ lọc thông dải

$$v_d^s = \hat{E} \cos \hat{\theta} \cong E \cos \theta$$

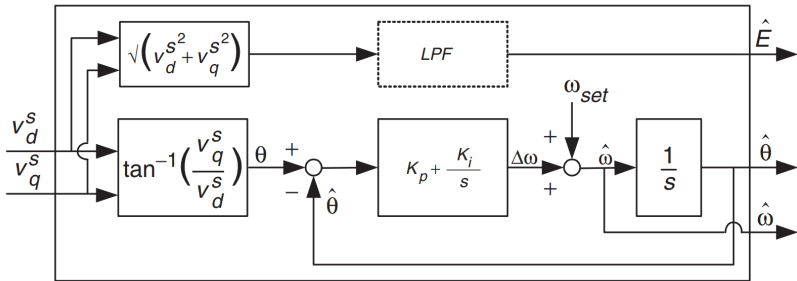
3.2 Bộ điều khiển pha

Trong hình dưới, bộ điều khiển pha tạo ra góc pha ước tính $\hat{\theta}$, tần số ước tính $\hat{\omega}$ và biên độ ước tính \hat{E} bằng cách sử dụng v_d^s và v_q^s .

- (a) Phương pháp sử dụng hàm arctan
- (b) Phương pháp sử dụng khung đồng bộ



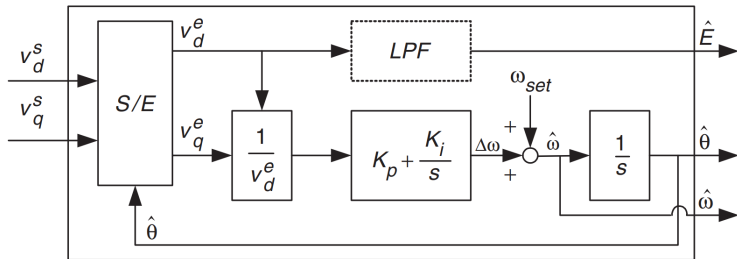
(a) Phương pháp sử dụng hàm arctan



Hình 9: Phương pháp sử dụng hàm arctan

$$\theta^* = \tan^{-1} \left(\frac{v_d^s}{v_q^s} \right)$$
$$\hat{E} = \sqrt{(v_d^s)^2 + (v_q^s)^2}$$

(b) Phương pháp sử dụng khung đồng bộ



Hình 10: Phương pháp sử dụng khung đồng bộ

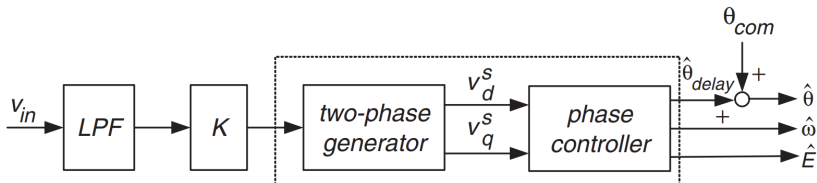
$$v_d^e = v_d^s \cos \hat{\theta} + v_q^s \sin \hat{\theta}$$

$$v_q^e = -v_d^s \sin \hat{\theta} + v_q^s \cos \hat{\theta}$$

$$v_d^e = E \cos \hat{\theta} - \theta \cong E$$

$$v_q^e = E \sin \theta - \hat{\theta} \cong E(\theta - \hat{\theta})$$

3.3 Triển khai trong thực tế



Hình 11: Cấu hình tổng thể

Trong điều kiện thực tế, khi bộ lọc được đưa vào để giảm nhiễu, người ta sẽ thêm khâu khuếch đại với HSKĐ K ; góc bù θ_{com} được thêm vào để bù trễ pha do LPF gây ra.

Hàm truyền của LPF là $F(s)$ thì

$$K = \frac{1}{|F(j\hat{\theta})|}$$

$$\theta_{com} = |F(j\hat{\theta})|$$

4 Thực nghiệm

4 Thực nghiệm

Các thí nghiệm đã được thực hiện để đánh giá mọi phương pháp liên quan đến đáp ứng động, phản hồi trạng thái ổn định, đáp ứng với sự sụt giảm điện áp và phản ứng với sự xuất hiện sóng hài (bậc ba và bậc năm).

Trong các thí nghiệm, biên độ của điện áp đầu vào là 220V RMS, tần số là 60 Hz và biên độ đỉnh của sóng hài đưa vào là 30V với tần số là 1kHz. Bộ điều khiển bắt đầu khi góc pha của điện áp đầu vào là π .

Khi bơm lên một thành phần sóng hài, biên độ của điện áp đầu vào là 220V RMS, tần số là 60 Hz và các thành phần sóng hài bậc ba và thứ năm được đưa vào.

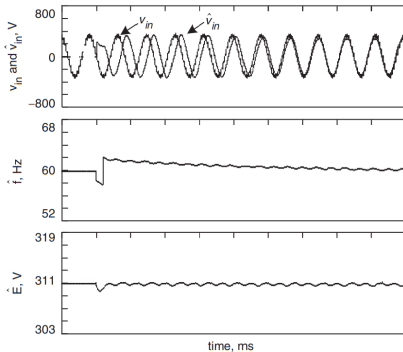
Phương trình sau đây được đưa ra sử dụng biên độ ước tính \hat{E} và góc pha ước tính $\hat{\theta}$: $\hat{v}_{in} = \hat{E} \sin \hat{\theta}$

4 Thực nghiệm

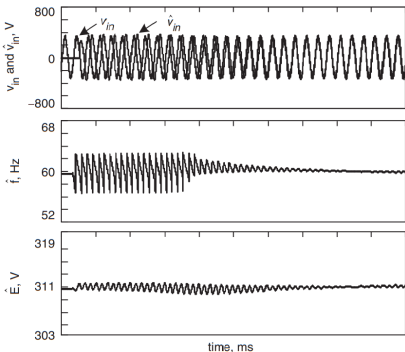
PP	Bộ tạo hai pha ảo	Bộ điều khiển pha
1	PPSD bảng bộ nhớ	PPSD hàm arctan
2	PPSD góc pha và biên độ ước tính	PPSD hàm arctan
3	PPSD bộ lọc bậc 2	PPSD hàm arctan
4	PPSD bộ lọc bậc 1	PPSD hàm arctan
5	PPSD bộ lọc bậc thông dải	PPSD hàm arctan
6	PPSD bảng bộ nhớ	PPSD khung đồng bộ
7	PPSD góc pha và biên độ ước tính	PPSD khung đồng bộ
8	PPSD bộ lọc bậc 2	PPSD khung đồng bộ
9	PPSD bộ lọc bậc 1	PPSD khung đồng bộ
10	PPSD bộ lọc bậc thông dải	PPSD khung đồng bộ

Bảng 1: Sự kết hợp của bộ tạo 2 pha và bộ điều khiển pha.

4.1 Đáp ứng động



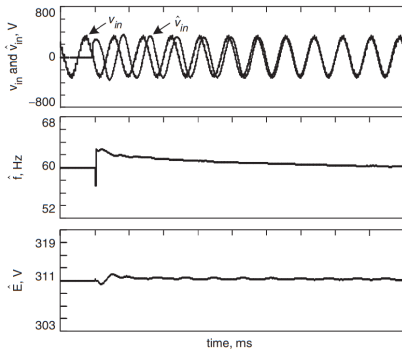
(a) Phương pháp 1



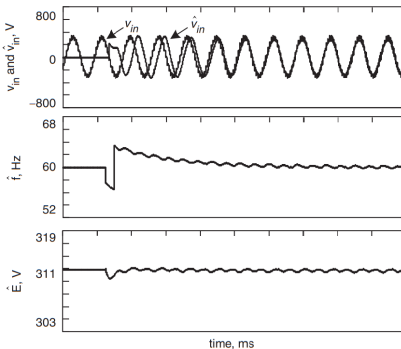
(b) Phương pháp 2

Hình 12: Các đặc điểm ước tính khi khởi động

4.1 Đáp ứng động



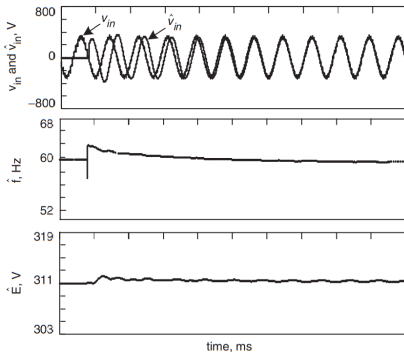
(c) Phương pháp 3



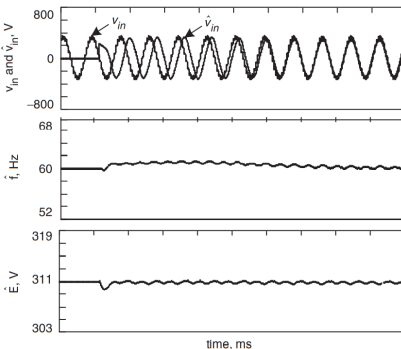
(d) Phương pháp 4

Hình 12: Các đặc điểm ước tính khi khởi động

4.1 Đáp ứng động



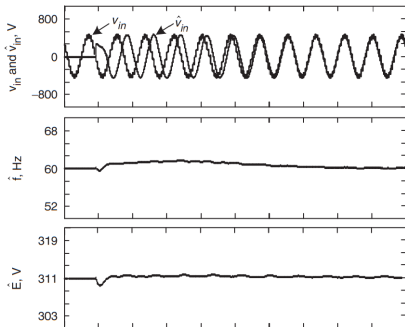
(e) Phương pháp 5



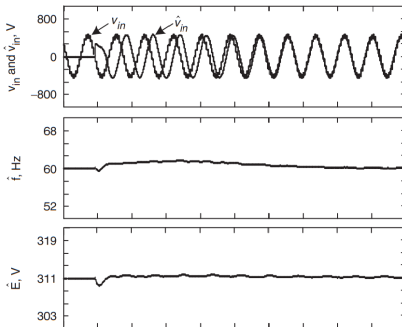
(f) Phương pháp 6

Hình 12: Các đặc điểm ước tính khi khởi động

4.1 Đáp ứng động



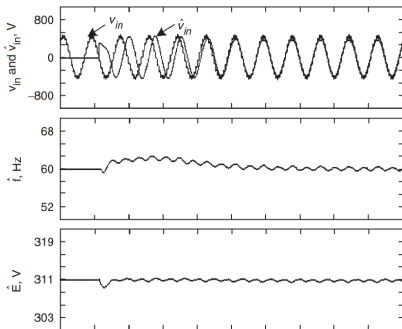
(g) Phương pháp 7



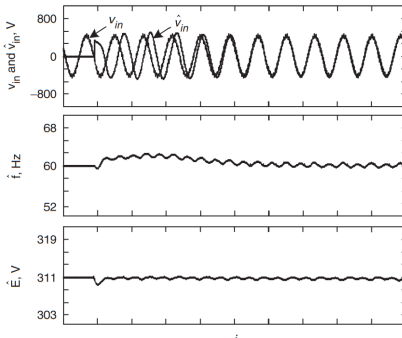
(h) Phương pháp 8

Hình 12: Các đặc điểm ước tính khi khởi động

4.1 Đáp ứng động



(i) Phương pháp 9



(j) Phương pháp 10

Hình 12: Các đặc điểm ước tính khi khởi động

4.1 Đáp ứng động

Method	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Time	120	300	140	100	100	120	250	120	100	100

Bảng 2: So sánh thời gian ước tính.

4.1 Đáp ứng động

Hình 12 cho thấy phản ứng động của các phương pháp được đề xuất.

Góc pha ước tính, biên độ và tần số đều được đồng bộ hóa với giá trị của điện áp đầu vào trong khoảng từ 100 ms đến 300 ms, như thể hiện trong Bảng 2.

Các phương pháp sử dụng góc pha và biên độ ước tính (2 và 7) rất dễ thực hiện, nhưng chúng có đặc tính đáp ứng động rất kém.

Góc pha đồng bộ ở 250–300 ms đối với phương pháp 2 và 7, trong khi các phương pháp khác đồng bộ ở 100–140 ms.

Các phương pháp sử dụng bảng bộ nhớ (1 và 6) cho thấy hiệu suất vừa phải, nhưng chúng gặp khó khăn khi triển khai yêu cầu kích thước bộ nhớ lớn.

4.1 Đáp ứng động

Các phương pháp sử dụng bộ lọc tương đối dễ thực hiện và chúng có hiệu suất tốt.

Các phương pháp sử dụng bộ lọc thông thấp bậc nhất (4 và 9) và bộ lọc thông thấp (5 và 10) cho thấy thời gian ước tính ngắn nhất và các phương pháp sử dụng bộ lọc thông thấp bậc hai (3 và 8) cho thấy ít dao động hơn.

Các phương pháp sử dụng Hàm arctangent (1–5) rất dễ hiểu nhưng gặp khó khăn khi thực hiện trong việc tính toán hàm arctangent.

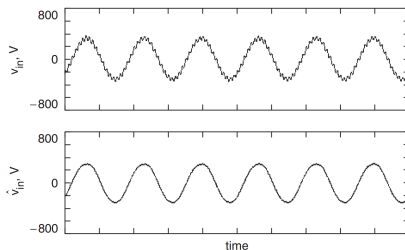
Các phương pháp sử dụng khung đồng bộ (6–10) ưu việt hơn các phương pháp sử dụng hàm arctangent trong việc thực hiện.

Hơn nữa, trong thử nghiệm này, chúng cho thấy hiệu suất tốt hơn một chút so với các phương pháp sử dụng hàm arctangent.

4.2 Phản hồi ở trạng thái ổn định

Hình 13 cho thấy đáp ứng trạng thái ổn định cho phương pháp sử dụng bộ lọc bậc hai cho bộ phát hai pha và khung đồng bộ cho pha. Bất chấp nhiễu, biên độ và góc pha của điện áp đầu vào ước tính đã được đồng bộ hóa thành công với điện áp đầu vào.

Trong khi đó, với các phương pháp khác, điện áp đầu vào ước tính đã bám theo điện áp đầu vào thực, cho kết quả tương tự.

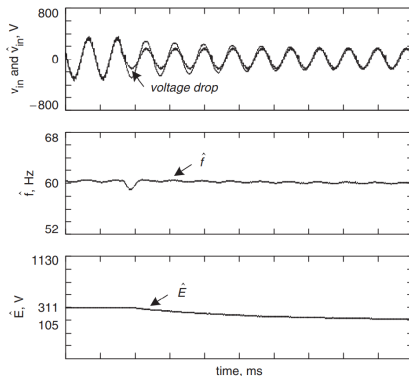


Hình 13: Đặc tính ước tính ở trạng thái ổn định

4.3 Đáp ứng với độ sụt giảm điện áp

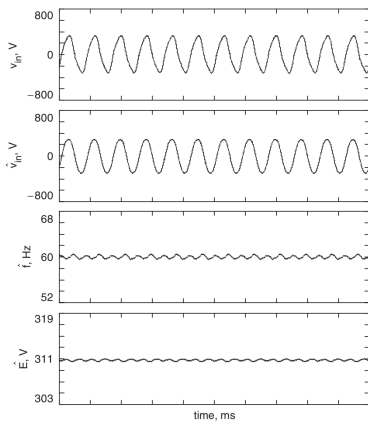
Hình 14 cho thấy đáp ứng với sự sụt giảm điện áp 50% khi sử dụng bộ lọc bậc hai cho máy phát hai pha và khung đồng bộ cho bộ điều khiển pha.

Theo tiêu chuẩn IEEE 929: 2000, điều kiện hoạt động bình thường cho các hệ thống PV nhỏ là 88–110% điện áp danh định, tức là cường độ 274–342V.

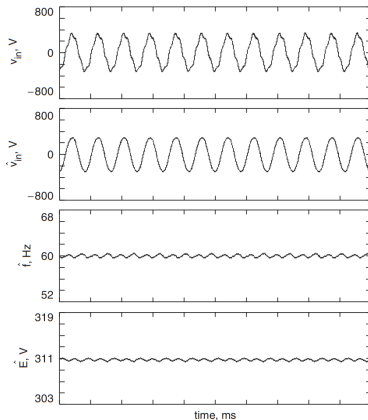


Hình 14: Đặc tính ước tính với sự sụt giảm điện áp

4.4 Đáp ứng với thành phần sóng hài được thêm vào



(a) Tác động sóng hài bậc 3



(b) Tác động sóng hài bậc 5

Hình 15: Đặc tính ước tính với sóng hài bậc 3 và bậc 5

4.4 Đáp ứng với thành phần sóng hài được thêm vào

Hình 15 cho thấy đáp ứng với thành phần sóng hài được đưa vào (bậc 3 và bậc 5) khi sử dụng bộ lọc bậc hai cho bộ phát hai pha và khung đồng bộ cho bộ điều khiển pha.

Trong khi đó, với các phương pháp khác, điện áp đầu vào ước tính đã bám theo điện áp đầu vào thực, cho kết quả tương tự.

5 Kết luận

5 Kết luận

Ta biết thêm một cách tiếp cận mới để điều khiển PLL kỹ thuật số bằng cách sử dụng bộ dò 2 pha ảo đã được đề xuất và xác minh bằng các thí nghiệm.

Bộ dò hai pha ảo bao gồm một bộ tạo hai pha và bộ điều khiển pha, hai pha có năm tùy chọn, trong khi bộ điều khiển pha có hai tùy chọn.

Do đó, khi máy tạo hai pha được kết hợp với bộ điều khiển pha, điều này cung cấp mười phương pháp kỹ thuật số-PLL. Kết quả thực nghiệm đã chứng minh rằng các phương pháp sử dụng bảng bộ nhớ và bộ lọc là vượt trội hơn hẳn.

Tuy nhiên, do khó triển khai với các phương pháp sử dụng bảng bộ nhớ, các phương pháp sử dụng bộ lọc và khung đồng bộ được cho là thích hợp hơn.

Thanks for watching!