

TÍNH NGẮN MẠCH TRONG LƯỚI KẾT NỐI NGUỒN NGHỊCH LƯU CÓ ĐIỀU KHIỂN ĐIỆN ÁP THẤP LVRT

SHORT CIRCUIT CALCULATION IN A POWER SYSTEM CONNECTED WITH LOW VOLTAGE RIDE THROUGH INVERTER

Đỗ Công Ngôn¹, Cao Wei²

¹Đại học Đông Á; ngondc@donga.edu.com

²Học viện Điện lực Thượng Hải; cw-jenny@163.com

Tóm tắt - Bài báo đưa ra một phương pháp tính toán ngắn mạch cho hệ thống lưới điện kết nối với nguồn nghịch lưu có bộ điều chỉnh điện áp thấp. Phương pháp này coi nguồn nghịch lưu sau khi ngắn mạch là một nguồn dòng có độ lớn biến đổi ổn định và không có thành phần một chiều; nhưng đi sâu vào phân tích bộ phận điều khiển của nguồn nghịch lưu, đặc biệt là sự thay đổi ở bộ phận điều khiển điện áp thấp sau khi có sự cố. Sau đó là sử dụng lý luận để tính toán một lưới điện phân phối thực tế, đồng thời phân tích kết quả của phương pháp này, cho thấy phương pháp đã giải quyết được vấn đề mà các phương pháp khác không giải quyết được khi xảy ra ngắn mạch ở gần nguồn hoặc xa nguồn; đồng thời miêu tả đúng bản chất và đặc tính của nguồn nghịch lưu trước và sau khi xảy ra ngắn mạch.

Từ khóa - nguồn nghịch lưu; LVRT; dòng ngắn mạch; điều khiển công suất; dòng vô công.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, có khá nhiều nghiên cứu về ngắn mạch trong lưới điện có nguồn nghịch lưu. Tài liệu [1] đã xây dựng mô hình toán học nguồn nghịch lưu và sử dụng phần mềm PSCAD/EMTDC để mô phỏng, từ đó tìm ra đặc tính của của nguồn nghịch lưu. Tài liệu [2], [3] đã đề cập đến cách xử lý nguồn nghịch lưu để tính trào lưu công suất và ngắn mạch, nhưng coi công suất phát ra của nguồn nghịch lưu trước và sau khi ngắn mạch là không đổi, chưa xét đến bộ phận điều khiển của nguồn nghịch lưu. Tài liệu [4] đã có sự phân loại các nguồn PV, PQ để chuyển các nguồn về dạng nguồn dòng để tính toán ngắn mạch, sau đó dùng phương pháp cộng gộp để tính mà chưa quan tâm đến bộ phận điều chỉnh công suất các nguồn nghịch lưu này. Tài liệu [5] đã phân tích kết quả mô phỏng và coi nguồn nghịch lưu sau ngắn mạch là nguồn dòng có giá trị không đổi, từ đó tính dòng ngắn mạch. Tài liệu [6] đã khảo sát đến sự thay đổi của nguồn phân bố (Distributed Generation - DG) khi có sự cố ngắn mạch để tính dòng trào lưu công suất và tính toán ngắn mạch, nhưng dựa trên phần mềm mô phỏng Matlab/Simulink. Vấn đề về góc pha của dòng ngắn mạch của nguồn nghịch lưu sau sự cố cũng đã được tài liệu [5], [6] quan tâm đến.

Trong bài này, xét mô hình toán học của bộ nghịch lưu khi xảy ra sự cố ngắn mạch với bộ điều khiển điện áp thấp LVRT, và coi nguồn nghịch lưu sau khi có sự cố ở phía lưới điện có tính chất như một nguồn dòng có độ lớn biến đổi một cách ổn định, không vượt quá giới hạn lớn nhất của bộ nghịch lưu và đồng thời không có thành phần một chiều trong dòng ngắn mạch [5]; nhưng đi sâu vào phân tích các trạng thái làm việc trước và sau khi ngắn mạch của bộ phận điều khiển điện áp thấp. Cuối cùng, đưa ra phương pháp cải tiến tính toán ngắn mạch cho hệ thống lưới điện có chứa

Abstract - This paper presents a short circuit calculation for the electric power system with a low voltage ride through inverter power (LVRT). This method considers inverter power as a current source and there is no direct current (DC) component in the case of inverter interface, and as a current source with a sudden steady current change when subject to grid fault. The next step is to apply the theory to calculate a real inverter control in use, particularly the change after the short circuit of low voltage ride through and lastly analyses the results of the method. This method has solved the problem that other methods cannot at short circuit point at near or far distances from power supply. The paper also describes the nature of the real inverter's source and its controls occurring before and after short circuit.

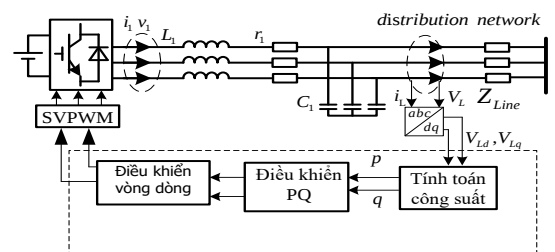
Key words - inverter source; LVRT; short circuit; power control; reactive current.

nguồn nghịch lưu và thực hiện tính toán cho một lưới điện thực tế. Đồng thời phân tích để thấy rõ đặc tính dòng và bộ phận điều khiển của nguồn nghịch lưu.

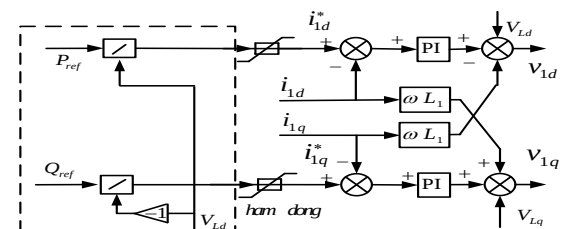
2. Phân tích và phương pháp tính

2.1. Phân tích

Với nguồn nghịch lưu có công suất tương đối lớn và có bộ điều khiển điện áp thấp, có mô hình toán học như sau [7], [8]:



(a) Sơ đồ nguyên lý nối mạng của bộ nghịch lưu



(b) Hệ thống điều khiển dòng, điều khiển PQ

Hình 1. Sơ đồ nguyên lý và điều khiển

Trong sơ đồ ở trên, P_{ref} , Q_{ref} là giá trị công suất đặt của nguồn nghịch lưu, V_{Ld} , V_{Lq} là điện áp của lưới điện được phân tích theo trục d, q, C_1 , L_1 , r_1 là điện dung, điện cảm và điện trở của bộ lọc nguồn nghịch lưu; i_{1q}^* là dòng điện

đặt theo trục q của bộ nghịch lưu. Do nguồn nghịch lưu chứa các thiết bị điện - điện tử nên giá trị dòng này thường được hàm với giá trị không quá 1,5 lần giá trị dòng định mức của bộ nghịch lưu [9].

Với nguồn nghịch lưu hoạt động theo nguyên lý điều khiển công suất P, Q tức là giá trị dòng điện và điện áp sẽ được điều chỉnh để đảm bảo công suất đầu ra ổn định. Trong đó, từ giá trị điện áp của lưới điện sẽ xác định được giá trị dòng nguồn nghịch lưu cung cấp lên lưới. Trong trường hợp khi phía lưới điện có sự cố, với nguồn nghịch lưu có bộ điều khiển điện áp thấp LVRT, điện áp đầu cực nguồn nghịch lưu giảm xuống, thì bộ LVRT vẫn đảm bảo cho nguồn nghịch lưu có khả năng tiếp tục cung cấp điện, không bị tách ra khỏi lưới. Từ các tài liệu [3], [4], [5] đã đưa ra một số phương pháp tính toán cho nguồn này, đều thống nhất rằng vẫn có thể sử dụng được phương trình dòng áp:

$$\dot{I} = Y \dot{V} \quad (1)$$

Các nguồn truyền thống như máy phát điện đồng bộ và máy phát điện không đồng bộ vẫn được coi là một nguồn áp, nên khi tính toán theo suất điện động quá độ E''_O và trở kháng quá độ X''_d vẫn có thể sử dụng công thức (2) để tính toán:

$$\dot{I} = \frac{E''_O}{R + jX''_d} \quad (2)$$

Đối với với nguồn nghịch lưu, ban đầu có thể sử dụng công thức mặc định (3) để tính toán dòng đưa vào. Nguồn nghịch lưu được điều khiển công suất P, Q nên luôn đảm bảo dòng điện không vượt quá 1,5 lần dòng điện định mức của nguồn nghịch lưu (giá trị này thường 1,1 - 1,3).

$$I_{inv} = 1,5 \cdot I_N \quad (3)$$

Trong đó, I_N là dòng định mức của nguồn nghịch lưu.

Đối với các nút phụ tải sẽ tương đương như một điện trở cố định được tính như công thức (4); dòng đưa vào bằng 0; S_i , V_i là công suất và điện áp của phụ tải nút thứ i.

$$Z_i = \left(\frac{S_i}{V_i} \right)^* \quad (4)$$

Sau đó, dùng công thức (1) để tìm ra điện áp các nút và thực hiện tính dòng ngắn mạch bằng công thức (5).

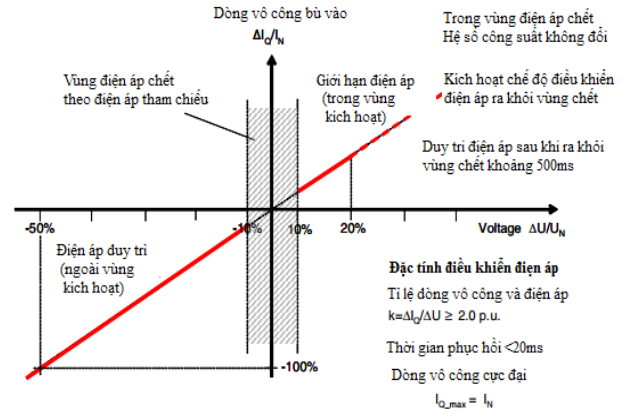
$$\dot{I}_f = \sum_{j=1, j \neq k}^n Y_{jk} \dot{V}_j \quad (5)$$

Trong đó, f là điểm ngắn mạch; Y_{jk} là điện nạp của đoạn j, k; V_j là điện áp nút j.

Bằng cách như trên, rất đơn giản có thể tìm được dòng ngắn mạch, và việc tính toán hay lập trình không quá phức tạp. Nhưng với kết quả tính toán như của một số tài liệu [3], [4], [5] cho thấy các phương pháp này chưa xét đến sự ảnh hưởng của các thiết bị bảo vệ, bộ phận điều khiển hoặc chỉ thích hợp dùng cho các điểm ngắn mạch ở gần nguồn nghịch lưu, với các điểm xa nguồn nghịch lưu, mặc dù sai số của kết quả tính toán vẫn nằm trong phạm vi cho phép nhưng chưa tả đúng được bản chất của nguồn nghịch lưu và bản chất thực tế của nguồn nghịch lưu khi có sự cố xảy ra.

Do vậy, bài báo này sẽ chú trọng đi sâu vào bộ phận LVRT sau khi sự cố. Tài liệu [6] và [10] đã đề cập đến yêu cầu LVRT nguồn nghịch lưu khi hòa vào lưới điện như Hình 2.

Với U_N là điện áp định mức; I_N là dòng điện định mức; $\Delta U = U_0 - U$, U_0 là điện áp trước ngắn mạch của bộ nghịch lưu, U là điện áp sau ngắn mạch; $\Delta I_q = I_q - I_{q0}$, I_{q0} là dòng điện vô công trước ngắn mạch, I_q là dòng vô công sau ngắn mạch.



Hình 2. Yêu cầu LVRT của nghịch lưu

Từ Hình 2 cho thấy mối quan hệ giữa công suất vô công (Q) và độ giảm điện áp ở đầu cực nguồn nghịch lưu. Nếu điện áp đầu cực bị giảm quá 10% thì mỗi 1% điện áp giảm xuống sẽ cần tăng ít nhất 2% dòng điện vô công I_q (với thời gian trong khoảng 20 ms, phải đạt tới mức 100% dòng vô công). Thông qua bộ phận LVRT, dựa vào mức độ sụt giảm điện áp sẽ quyết định đưa ra dòng I_q tương ứng để có thể duy trì được điện áp ở mức quy định. Khi xảy ra ngắn mạch thì nguồn nghịch lưu phát thêm công suất hữu công (P) cũng chỉ vô ích, mà phát Q mới có tác dụng nâng cao điện áp đầu cực [10]. Đồng thời lúc này vòng điều khiển điện áp sẽ bị phá vỡ và chỉ còn lại vòng điều khiển dòng điện duy trì mức điện áp cực đại $I_{max} = (1,1 \sim 1,5)I_N$.

2.2. Phương pháp tính

Đầu tiên, nguồn nghịch lưu vẫn dùng công thức (3) để tính dòng đưa vào, nhưng sau đó tính điện áp các nút thì cần kiểm tra độ sụt giảm điện áp ở đầu cực nguồn nghịch lưu, độ sụt giảm điện áp được tính toán theo công thức (6). Trong đó, U_0 và U là giá trị ban đầu và sau khi xảy ra sự cố ngắn mạch.

$$\Delta U\% = \frac{U_0 - U}{U_0} \cdot 100\% \quad (6)$$

1) Nếu $\Delta U \leq 10\%$ (tức $U \geq 0,9U_0$), tương ứng với trường hợp điểm ngắn mạch cách xa nguồn nghịch lưu, nguồn nghịch lưu lúc này sẽ vẫn làm việc bình thường, bộ LVRT sẽ không hoạt động, và dòng I_q , I_d của nguồn nghịch lưu trước và sau khi ngắn mạch không đổi $I_d = I_{d0}$, $I_q = I_{q0}$; dòng đưa vào lưới của bộ nghịch lưu là $I_{inv} = I_0$. Với I_{d0} , I_{q0} , I_d , I_q là dòng điện cài đặt và dòng điện thực của của nguồn nghịch lưu theo hai trục d, q. Công suất P, Q của nguồn nghịch lưu dùng công thức (7), (8) để tính.

$$P = U \cdot I_d \quad (7)$$

$$Q = U \cdot I_q \quad (8)$$

2) Nếu $10\% \leq \Delta U\% \leq 90\%$ (tức $0,1U_0 \leq U \leq 0,9U_0$), lúc này, bộ phận LVRT của bộ nghịch lưu sẽ hoạt động. Để nguồn nghịch lưu có thể tiếp tục cung cấp điện thì buộc

nguồn nghịch lưu tăng lượng vô công Q phát ra. Công suất vô công và hữu công đưa phát ra như sau:

a) Khi điện áp $0,5U_0 \leq U \leq 0,9U_0$, thì sử dụng công thức (9), (10) và (11) để tính dòng các dòng của nguồn nghịch lưu, và công thức (7) và (8) để tính công suất P , Q phát ra. Vì khi điện áp đầu cực bị giảm quá 10% thì mỗi 1% điện áp giảm xuống sẽ cần tăng ít nhất 2% dòng điện vô công I_q (với thời gian trong khoảng 20 ms để bù điện áp tụt xuống, sao cho bù được mức 100% dòng vô công [10]. Từ đó, ta được dòng điện vô công theo trục q như công thức (9). Qua đó, tìm được dòng trên trục d là I_d theo công thức (10). Vì dòng cực đại không thể vượt quá giới hạn $I_{\max}$, dòng cực đại chính bằng tổng dòng của trục d , q .

$$I_q = I_{q0} + 2\Delta U\% \quad (9)$$

$$I_d = \sqrt{I_{\max}^2 - I_q^2} \quad (10)$$

$$I_{inv} = \left(\frac{P + jQ}{U} \right) = I_{\max} \quad (11)$$

b) Điện áp giảm $0,1 U_0 \leq U < 0,5U_0$; dùng công thức (12) để tính dòng vô công. Lúc này, nguồn nghịch lưu sẽ không phát công suất hữu công nữa mà toàn bộ phát công suất vô công, dòng I_q sẽ bằng dòng định mức của nguồn nghịch lưu I_N . Công thức (10), (11) để tính dòng đưa vào của bộ nghịch lưu, công thức (7), (8) để tính công suất vô công, hữu công.

$$I_q = I_N \quad (12)$$

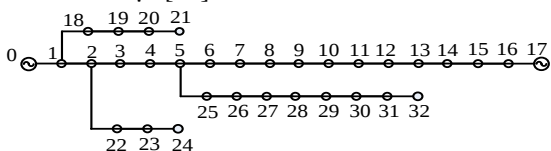
3) Nếu $\Delta U\% \geq 90\%$ (tức $U \leq 0,1U_0$), bộ LVRT của nguồn nghịch lưu sẽ bị rơi vào vùng chết, tức phải tách lưới ngay lập tức. Lúc này, P và Q phát ra đều bằng 0, tức dòng đưa vào lưới của nguồn nghịch lưu cũng bằng 0. Để nghiên cứu sự ảnh hưởng của nguồn nghịch lưu tới dòng ngắn mạch thì bài báo này khi tính toán sẽ vẫn coi như nguồn nghịch lưu tiếp tục nối vào lưới điện. Do đó, dù điện áp giảm rất thấp nhưng nguồn nghịch lưu vẫn không bị tách ra.

Dựa vào độ tụt giảm điện áp tại đầu cực nguồn nghịch lưu và yêu cầu của bộ LVRT, sẽ quyết định giá trị I_d và I_q phát ra, tức có thể xác định dòng nguồn nghịch lưu đưa vào lưới điện.

Dùng công thức (1) để tính ngược lại điện áp các nút, và đồng thời kiểm tra tính hội tụ của điện áp nút có nguồn nghịch lưu. Nếu hội tụ, sẽ tính kết quả như công thức (5). Nếu không hội tụ sẽ tiếp tục tính lại dòng nguồn nghịch lưu đưa vào. Theo kết quả cho thấy, chỉ cần sau 3 ~ 4 lần lặp thì kết quả sẽ hội tụ. Cuối cùng là đưa ra kết quả.

3. Thực hiện tính toán cho mạng điện thực tế

Dùng phương pháp đã nêu ở trên, tính toán cho một lưới điện phân phối như ở Hình 3, các giá trị về lưới điện có thể tham khảo tài liệu [12].



Hình 3. Lưới điện 33 nút có chứa nguồn nghịch lưu tại nút 17

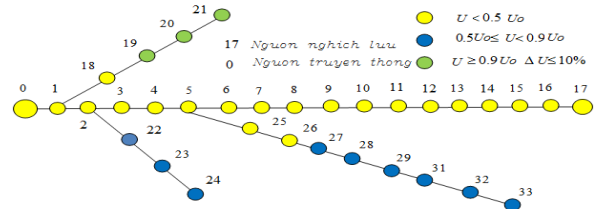
Với các bước xử lý và tính toán của phương pháp cũ thì trong bài báo này sẽ không đề cập đến nữa, như việc xử lý các nút nguồn như máy phát đồng bộ, không đồng bộ, các nút phụ tải hoặc tính toán trào lưu công suất, mà trực tiếp sử dụng và phân tích về những thay đổi. Bài báo này đưa ra hai phương pháp tính để có thể so sánh kết quả. Hai phương pháp như sau:

Phương pháp 1: Dùng phương pháp tính truyền thống, tức là vẫn coi nguồn nghịch lưu là một nguồn áp mà khi xảy ra ngắn mạch thì điện áp quá độ lúc trước và sau khi ngắn mạch là không đổi.

Phương pháp 2: Dùng phương pháp cải tiến so với tài liệu [4], [5] đã đưa ra, và được miêu tả ở phía trên. Tức là coi các nguồn nghịch lưu là nguồn dòng, nhưng giá trị dòng hữu công và vô công do bộ phận LVRT căn cứ vào giá trị điện áp sau ngắn mạch quyết định.

Từ kết quả của tính toán trào lưu công suất, điện áp ở trạng thái làm việc bình thường là $U = U_N = 1,0436$ pu; Công suất phát ra của nguồn nghịch lưu sẽ là $S = 1,6 + j0,276$; dòng điện định mức của nguồn nghịch lưu là $I_N = I_0 = 1,556$; Dòng điện vô công trước ngắn mạch là $I_{q0} = 0,276/1,0436 = 0,265$; dòng điện hữu công trước ngắn mạch là $I_{d0} = 1,6/1,0436 = 1,533$.

Đầu tiên, giả sử dòng đưa vào lưới của nguồn nghịch lưu bằng 1,5 lần dòng định mức, tức $I_{inv} = 1,5I_N$, từ đó có thể tính ra độ sụt điện áp ở đầu nguồn nghịch lưu, mức độ tụt điện áp đầu cực nguồn nghịch lưu với các vị trí ngắn mạch tương ứng được biểu diễn như ở Hình 4. Các bước tính toán cụ thể như sơ đồ tính toán ở Hình 5.



Hình 4. Phân bố giảm điện áp đầu cực

Từ lý thuyết đã được mô tả ở trên và Hình 4 cho thấy, khi xảy ra ngắn mạch ở các điểm khác nhau, điện áp đầu cực nguồn nghịch lưu (nút 17) chia làm 3 mức khác nhau $U \geq 0,9U_0$; $0,9U_0 > U \geq 0,5U_0$ và $U \leq 0,5U_0$. Do đó, bài báo này chỉ xét một số điểm đại diện cho các trường hợp như sau: $U \leq 0,5U_0$ (1, 2, 3, 5, 15 ~ 18); $0,9U_0 > U \geq 0,5U_0$ (22 ~ 24) và $U \geq 0,9U_0$ (19 ~ 21), kết quả được tính như ở Bảng 1 với các thông số:

$I_f^{(1)}$, $I_f^{(2)}$ là dòng ngắn mạch tính theo phương pháp truyền thống và phương pháp cải tiến mới (A);

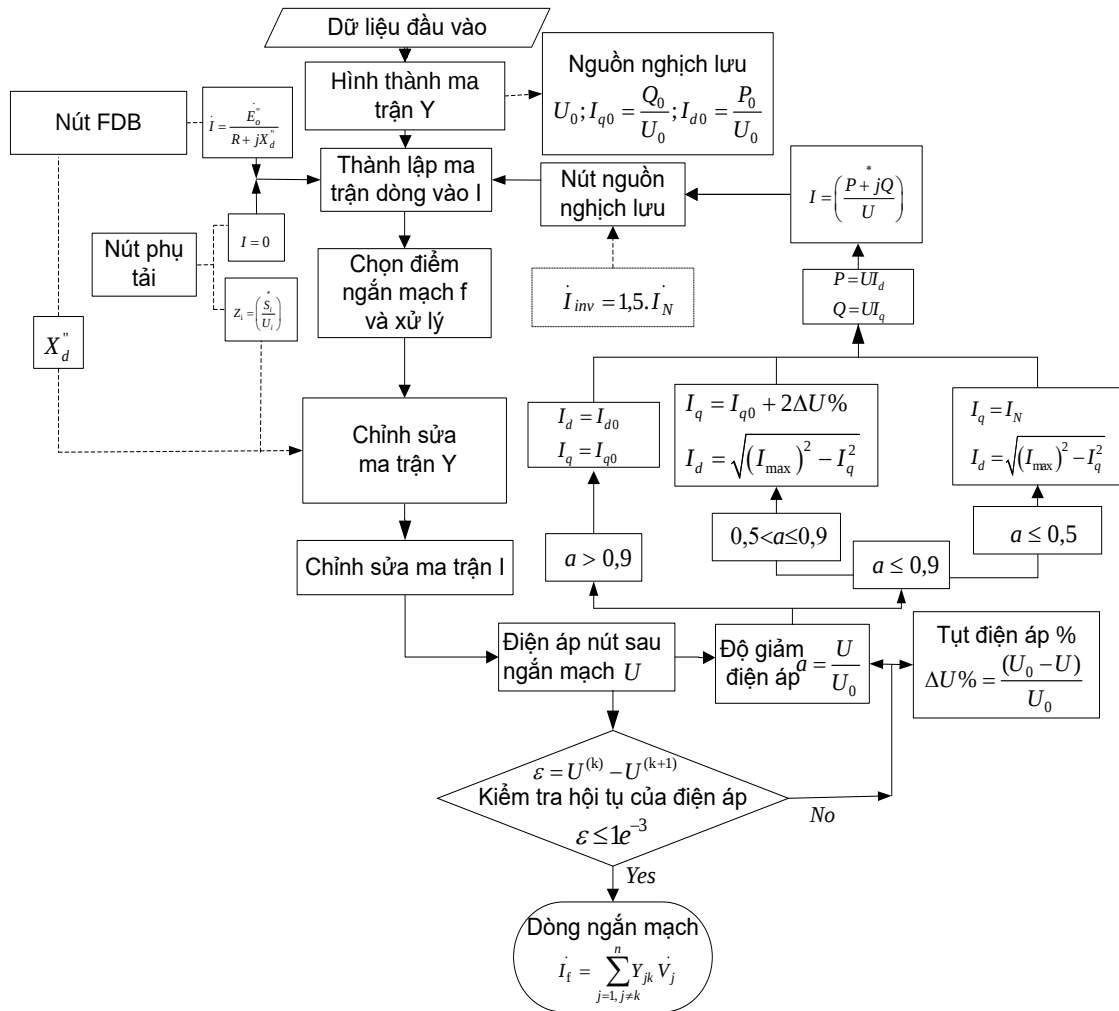
$U_{inv}^{(1)}$, $U_{inv}^{(2)}$ là điện áp nguồn nghịch lưu của phương pháp 1 và phương pháp 2 (pu); $U_{inv}^{(2)}/U_0$ là mức độ tụt giảm điện áp; U_0 là điện áp nguồn nghịch lưu trước ngắn mạch;

$\Delta U\%$ tụt giảm điện áp phần trăm;

I_d , I_q là dòng điện vô công và hữu công của nguồn nghịch lưu (trục d , q) (pu);

P , Q là công suất hữu công và vô công của nguồn nghịch lưu (pu);

I_{inv} là dòng điện của nguồn nghịch lưu (pu); I_{inv}/I_N là tỷ số giữa dòng điện thực tế và dòng định mức của nguồn nghịch lưu.



Hình 5. Sơ đồ phương pháp tính

Bảng 1. Kết quả tính toán

Nút	PP truyền thống				Phương pháp cải tiến mới							
	$I_f^{(1)}$ (A)	$V_{inv}^{(1)}$ (pu)	$V_{inv}^{(2)}/V_0$	ΔV %	I_d (pu)	I_q (pu)	P (pu)	Q (pu)	I_{inv} (pu)	I_{inv}/I_N	$I_f^{(2)}$ (A)	$V_{inv}^{(2)}$ (pu)
0	10.010	0,143	0,198	80,1	1,739	1,556	0,360	0,322	2,334	1,5	10.115	0,2075
1	9.335	0,142	0,197	80,2	1,739	1,556	0,357	0,320	2,334	1,5	9.439	0,2057
2	6.193	0,136	0,188	81,1	1,739	1,556	0,342	0,306	2,334	1,5	6.286	0,1969
3	4.770	0,131	0,182	81,7	1,739	1,556	0,331	0,296	2,334	1,5	4.856	0,1904
5	2.487	0,114	0,160	83,9	1,739	1,556	0,291	0,260	2,334	1,5	2.562	0,1673
15	696	0,028	0,038	96,1	1,739	1,556	0,070	0,062	2,334	1,5	760	0,0403
16	598	0,007	0,009	99	1,739	1,556	0,017	0,015	2,334	1,5	662	0,0098
17	579	0	0	100	1,739	1,556	0	0	NaN	NaN	626	0
18	7.573	0,288	0,380	55,9	1,739	1,556	0,799	0,715	2,334	1,5	7.677	0,459
19	2.576	0,091	0,906	9,4	1,533	0,265	1,450	0,250	1,556	1,0	2.580	0,927
20	2.115	0,955	0,933	6,7	1,533	0,265	1,494	0,258	1,556	1,0	2.118	0,974
21	1.592	1,007	0,983	1,7	1,533	0,265	1,573	0,271	1,556	1,0	1.594	1,0258
22	4.393	0,391	0,517	48,3	1,982	1,231	1,069	0,664	2,334	1,5	4.460	0,5400
23	2.666	0,703	0,752	20,7	2,233	0,679	1,847	0,562	2,334	1,5	2.697	0,823
24	1.912	0,837	0,888	11,1	2,282	0,488	2,116	0,452	2,334	1,5	1926	0,9271

Từ kết quả ở Bảng 1 cho thấy:

(1) Khi $U < 0,9U_0$, dòng điện của nguồn nghịch lưu đưa phát ra là 2,334, bằng 1,5 lần dòng điện định mức của nguồn nghịch lưu, trừ lúc ngắn mạch tại nút 17 (tại đầu cực nguồn nghịch lưu) thì nguồn nghịch lưu không phát công suất, do đó dòng đưa vào lưới là bằng 0.

a) Khi $0,9U_0 > U \geq 0,5U_0$ (nút 22 ~ 24) bộ phận LVRT hoạt động, mặc dù nguồn nghịch lưu đã tăng lượng phát công suất vô công để giữ điện áp đầu cực, do đó dòng điện vô công I_q (1,231; 0,679; 0,488) đều lớn hơn dòng điện vô công trước khi ngắn mạch $I_{q0} = 0,265$; nhưng dòng vô công nhỏ hơn dòng điện định mức $I_N = 1,556$, do đó P , Q cũng biến đổi theo sự biến đổi của I_q , I_d nhưng vẫn bị giới hạn ở giá trị I_{max} .

b) Khi $U \leq 0,5U_0$, (nút 0 ~ 18) bộ phận LVRT hoạt động; lúc này, do yêu cầu ngay lập tức đưa điện áp lên cao, nguồn nghịch lưu sẽ phát công suất vô công là lớn nhất, và dòng vô công lúc này cũng là lớn nhất $I_q = I_N = 1,556$. Do lúc này, dù vòng điều khiển điện áp bị vô hiệu hóa nhưng vòng điều khiển dòng điện vẫn có khả năng duy trì được dòng điện của bộ nghịch lưu trong giới hạn cho phép $I_{inv} = I_{max}$; do đó dòng điện hữu công được giới hạn ở mức $I_d = 1,739$; khi này dòng điện hữu công I_d và dòng điện vô công I_q đều bị giới hạn, do đó P , Q phát ra sẽ do mức độ tụt giảm điện áp đầu cực quyết định. Trừ khi ngắn mạch tại điểm nút 17, công suất phát ra đều bằng 0.

(2) Khi $U \geq 0,9U_0$ (nút 19 ~ 21) điện áp tụt giảm với mức $\Delta U\% \leq 10\%$; bộ phận LVRT của bộ nghịch lưu sẽ không hoạt động. Theo như lý thuyết, thì P , Q phát ra phải bằng với lúc trước khi ngắn mạch, nhưng lúc này, mặc dù dòng điện vẫn được duy trì $I_d = I_{d0} = 1,533$, $I_q = I_{q0} = 0,265$ và $I_{inv} = I_0 = 1,556$, nhưng công suất phát ra sẽ biến đổi theo sự thay đổi của điện áp đầu cực của nguồn nghịch lưu.

(3) Với điều kiện hội tụ $\varepsilon = 10^{-4}$ thì qua 1 ~ 4 lần lặp thì điện áp đầu cực nguồn nghịch lưu sẽ đạt tới giá trị hội tụ. Từ kết quả có thể thấy, tại các điểm ngắn mạch gần (0 ~ 18, 22 ~ 24), kết quả dòng ngắn mạch ở phương pháp cải tiến có giá trị lớn hơn so với phương pháp truyền thống. Điều này chứng minh rằng, với dòng đưa vào lưới của nguồn nghịch lưu khác nhau thì sẽ ảnh hưởng khác nhau tới dòng ngắn mạch. Tại các điểm ngắn mạch xa, nguồn nghịch lưu vẫn ở chế độ làm việc bình thường, dòng điện đưa vào lưới trước và sau ngắn mạch là không đổi, nhưng khi ngắn mạch ở các điểm gần nguồn nghịch lưu thì dòng đưa vào là giá trị giới hạn cực đại.



Hình 6. Tỷ lệ sai lệch phần trăm của phương pháp 2 so với phương pháp 1 (%)

So sánh sai lệch kết quả tính toán dòng ngắn mạch của hai phương pháp như ở Hình 6 cho thấy:

Tại các điểm ngắn mạch gần, đặc biệt tại các điểm ngắn mạch (15 ~ 17) dùng phương pháp mới có kết quả lớn hơn so với phương pháp cũ.

Tại các điểm ngắn mạch xa thì kết quả không khác biệt nhiều (19 ~ 21), bởi vì khi này thì bộ phận LVRT không

hoạt động, dòng điện trước và sau không đổi, lúc này nguồn nghịch lưu vẫn có thể coi là nguồn áp như trong các phương pháp truyền thống miêu tả, nên sự ảnh hưởng của phương pháp tính không nhiều và gần như nhau.

Lý do như sau, ở các điểm ngắn mạch gần (1 ~ 18) thì điện áp bị hạ thấp, do đó bộ phận LVRT hoạt động, lúc này bộ phận điều khiển thay đổi trạng thái, dòng điện I_q và I_d thay đổi theo sự tụt giảm điện áp đầu cực nguồn nghịch lưu. Nên khi này nguồn nghịch lưu giống như một nguồn dòng. Do đó, theo phương pháp truyền thống coi nguồn nghịch lưu sau khi ngắn mạch là nguồn áp sẽ không còn phù hợp nữa.

Mặt khác, trong thành phần dòng ngắn mạch bao gồm dòng vô công và hữu công có độ lớn phụ thuộc vào giá trị điện áp ngắn mạch. Theo công thức (9), (10) và (11), từ sự thay đổi độ lớn thành phần dòng hữu công I_d và vô công I_q đã làm thay đổi góc pha của dòng ngắn mạch nguồn nghịch lưu. Vấn đề góc pha dòng điện sau ngắn mạch đã được tài liệu [5], [6] sử dụng Matlab/Simulink mô phỏng đề cập đến. Từ đó cho ta thấy, việc phân tích thành phần, độ lớn của dòng điện nguồn nghịch lưu như trình bày ở trên đã diễn tả đúng bản chất thực tế của nguồn nghịch lưu có bộ điều chỉnh điện áp thấp LVRT; đồng thời, giải quyết được các vấn đề mà các nghiên cứu khác chưa đề cập đến hoặc chưa phân tích sâu như vị trí điểm ngắn mạch so với nguồn nghịch lưu, giá trị góc pha dòng ngắn mạch của nguồn nghịch lưu, tính thống nhất của phương pháp để có thể ứng dụng lập trình tính toán ngắn mạch cho hệ thống lưới điện có quy mô lớn hơn, phức tạp hơn.

4. Kết luận

Bài viết đã coi nguồn nghịch lưu sau khi ngắn mạch là một nguồn dòng có độ lớn không đổi, nhưng các thành phần dòng hữu công và dòng vô công do bộ phận điều chỉnh điện áp thấp LVRT quyết định. Độ lớn dòng ngắn mạch, góc pha thay đổi theo giá trị điện áp khi ngắn mạch. Qua đó, đã xử lý được vấn đề về thành phần, giá trị dòng, góc pha của dòng ngắn mạch khi xảy ra ngắn mạch ở các điểm xa, gần nguồn nghịch lưu khác nhau. Đồng thời, diễn tả được đúng bản chất của nguồn nghịch lưu và bộ phận điều khiển của nó xảy ra trước và sau khi ngắn mạch. Trên cơ sở lý thuyết phân tích như trên, được ứng dụng lập trình trong phần mềm tính toán có sự hội tụ rất nhanh, chỉ khoảng 1 ~ 4 vòng lặp.

Thông qua ví dụ thực tế và phân tích kết quả cho thấy cách xử lý với nguồn nghịch lưu trước và sau ngắn mạch, phương pháp tính toán ngắn mạch mà bài báo đưa ra là hợp lý.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Kong Xiangping, Zhang Zhe, "Study on Fault Current Characteristics and Fault Analysis Method of Power Grid with Inverter Interfaced Distributed Generation", *Proceedings of the CSEE*, 33(34), 2013, pp. 65-74.
- [2] Wang Chenshan, Sun Xiaoqian, "An Improved Short Circuit Calculation Method for Distribution Network with Distributed Generations", *Automation of Electric Power System*, 36(23), 2012.
- [3] Xiao Xinxin, *Research power flow and short circuit calculation of distribution network with distributed generations connected*, Master Degree, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai, 2008.
- [4] Wang Shouxiang, Jiang Xingyue, Wang Chengshan, "A

- Superposition Method of Fault Analysis for Distribution Systems Containing Distributed Generations”, *Automation of Electric Power System*, 32(5), 2008, pp 38-42.
- [5] Cao Wei, Do Congngon, “Short-Circuit Current Calculation of a Power System with a Grid Connected Inverter”, *Applied Energy and Power Engineering IV*, 2015, pp. 823-828.
- [6] Shan Yang, Xiangqian Tong, “Integrated Power Flow and Short Circuit Calculation Method for Distribution Network with Inverter Based Distributed Generation”, *Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, Vol. 2016, 2016, pp. 1-10.
- [7] Sangita R Nandurkar, Mini Rajeev, *Design and Simulation of three phase Inverter for grid connected Photovoltaic systems*, Proceedings of Third Biennial National Conference, NCNTE- 2012, Feb 24-25.
- [8] Xianwen Bao, Peixuan Tan, *Low voltage ride through control strategy for high-power grid-connected photovoltaic inverter*, Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE, Long Beach, CA, USA.
- [9] Dave Turcotte, *Fault contribution of grid-connected inverters*, IEEE Electrical Power Conference, October 22-23, 2009, Quebec, Canada.
- [10] W. Winter, A. Dittrich, *Advanced grid requirements for the integration of wind turbines into the German transmission system*, Power Engineering Society General Meeting, 2006, Montreal, Quebec, Canada.
- [11] Dang Ke, Hu Jin, Yang Angui, “Research on Low Voltage Ride Through Control Strategy of Photovoltaic Inverter”, *Power Electronics*, 47(11), 2013, pp. 22-24.
- [12] Mew E. Baran Felix F. Wu. “Network reconfiguration in distribution systems for loss reduction and load balancing”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, No. 2, April 1989, pp. 1401-1407.

(BBT nhận bài: 27/11/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 15/01/2018)