

THUẬT TOÁN BẢO VỆ CHO LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI CÓ SỰ THAM GIA CỦA NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN

A NOVEL PROTECTION rALGORITHM FOR THE DISTRIBUTION SYSTEM CONNECTED TO THE DISTRIBUTED GENERATION

Nguyễn Ngọc Trung, Đàm Khánh Linh

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 26/07/2020, Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2020, Phản biện: TS. Nguyễn Mạnh Quân

Tóm tắt:

Bài báo đề xuất một phương pháp mới để giám sát trạng thái và bảo vệ cho lưới điện phân phối có sự tham gia của nguồn điện phân tán bằng cách kết hợp một số phương pháp xác định giá trị biến thiên của điện áp/tần số, góc pha điện áp và tổng sóng hài điện áp nhằm giảm thiểu vùng không xác định khi xuất hiện trạng thái tách đảo tại điểm kết nối chung hình thành một lưới điện nhỏ độc lập. Hiệu quả của giải pháp đề xuất được chứng minh bởi kết quả mô phỏng trên Matlab/Simulink.

Từ khóa:

lưới điện thông minh, lưới điện phân phối, lưới điện nhỏ, bảo vệ tách đảo (IP), nguồn điện phân tán (DG), điểm kết nối chung (PCC), vùng không xác định NDZ (vùng chết), tách đảo chủ động, xác nhận tách đảo.

Abstract:

This paper proposes a novel algorithm, which can be used for state monitoring and protection for distribution grids connected to the distributed generation by a hybrid method that based on the variation of farameters (OUV, OUF, VJ), and total harmonic voltage (THDv) to reduce the non-detection zone (NDZ) when the islading-condition occurs at the point of common coupling (PCC). The simulated results of test case on the Matlab/Simulink enviroment have demonstrated the effectiveness of the proposed methods.

Keywords:

smart grid, distribution network, islanding protection, distributed generation (DG), point of common coupling (PCC), non-detection zone (NDZ), intentional islanding.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, một trong những biện pháp khả thi nhất đối với ngành điện để đạt được các mục tiêu giảm lượng khí thải nhà kính, tăng hiệu quả năng lượng, tăng khả năng của các nguồn năng lượng tái tạo là đầu tư phát triển nguồn điện phân tán

(DG) cả về số lượng và công suất phát [1]. Do đó, đòi hỏi phải có sự thay đổi hoàn toàn trong công tác quản lý, giám sát và vận hành điều khiển hệ thống điện. Trên thực tế, một trong những vấn đề quan trọng nhất đối với hệ thống điện hiện đại là việc tích hợp và vận hành lưới

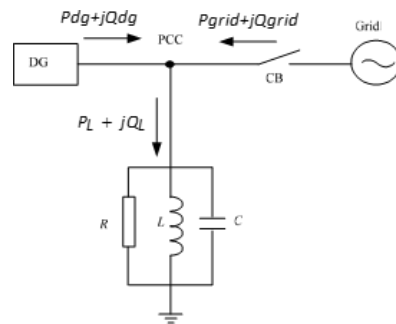
điện có sự tham gia của các DG nên HTĐ cần thiết phải được quản lý và điều khiển thông minh hơn. Trong đó, dòng công suất có thể được truyền tải cả hai chiều với sự tích hợp của các nguồn điện phân tán (DG) thường dùng nguồn năng lượng sạch (như điện mặt trời, điện gió...). Trong HTĐ thông minh có sự tham gia của DG, trạng thái khi DG tách khỏi lưới điện mà không có sự chủ động trước đó, hay khi DG vẫn tiếp tục cung cấp điện đến một phần phụ tải của HTĐ ngay cả khi lưới điện chính đã cắt ra (islanding-tách lưới, tách đảo), nếu không giám sát và điều khiển chính xác trạng thái này có thể gây nguy hiểm cho con người, hư hỏng thiết bị điện của HTĐ, giảm độ tin cậy cung cấp điện [2]-[4]. Bài báo này đưa ra một thuật toán giám sát và bảo vệ các DG khi kết nối vào lưới điện phân phối tại điểm kết nối chung (PCC) bằng giải pháp kết hợp trong việc giám sát các thông số, điện áp, sóng hài và bước nhảy góc pha điện áp. Một số phân tích của giải pháp đề xuất và đánh giá hiệu quả được chứng minh bằng các kết quả mô phỏng trên Matlab-Simulink.

2. NHỮNG TIÊU CHUẨN KẾT NỐI DÀNH CHO LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI CÓ KẾT NỐI DG

2.1. Các quy định và tiêu chuẩn kết nối lưới điện tại PCC

Những yêu cầu dành cho DG khi tham gia kết nối vào lưới điện phân phối quy định rất rõ ràng bởi các tiêu chuẩn IEC-61727 và IEEE-1547 và được áp dụng rộng rãi trên toàn thế giới. Ngoài ra, còn cung cấp các quy định về điện áp và tần số cho

phép các DG hoạt động tách lưới một cách chủ động với các giá trị ngưỡng khởi động được xác định trước như bảng 1, tạm thời tách một phần lưới điện phân phối do quá tải hoặc bảo dưỡng, sửa chữa định kì lưới điện hay kết nối trở lại DG vào lưới điện chính khi đủ điều kiện [5]-[10].



Hình 1. Lưới điện phân phối kết nối với DG tại PCC

Xác định giá trị giới hạn cho phép tách các nguồn DG theo điều kiện độ lệch điện áp như trong bảng 1. Ngoài ra, cũng có thể đưa ra khả năng cho phép điều độ của các công ty điện lực phát lệnh tách các DG từ xa hoặc điều chỉnh các ngưỡng nói trên để tránh làm việc ở trạng thái tách lưới không mong muốn nhằm đảm bảo cân bằng công suất và chất lượng điện năng [8]-[14].

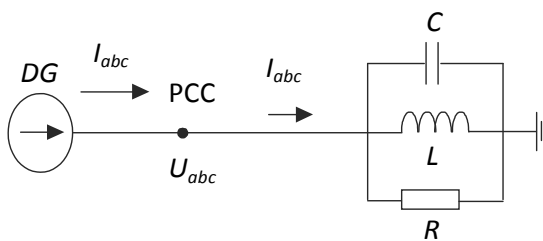
Bảng 1. Quy định về thời gian tách DG tại điểm PCC

IEEE 1547		IEC 61727	
<i>Giá trị điện áp so với danh định (%)</i>	<i>Thời gian ngắt kết nối (s)</i>	<i>Giá trị điện áp so với danh định (%)</i>	<i>Thời gian ngắt kết nối (s)</i>
V<50	0,16	V<50	0,10
50≤V< 88	2,00	50≤V<85	2,00

IEEE 1547		IEC 61727	
Giá trị điện áp so với danh định (%)	Thời gian ngắt kết nối (s)	Giá trị điện áp so với danh định (%)	Thời gian ngắt kết nối (s)
$88 \leq V \leq 110$	Làm việc bình thường	$85 \leq V \leq 110$	Làm việc bình thường
$110 < V < 120$	1,00	$110 < V < 135$	2,00
$V \geq 120$	0,16	$V \geq 135$	0,05
$THD_{V_{pcc}} \leq 5\%$		$THD_{V_{pcc}} \leq 5\%$	

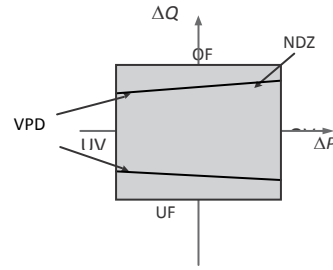
2.2. Phương pháp tính vùng mất kiểm soát trạng thái tại điểm kết nối chung - NDZ

Khi lưới điện phân phối chính chủ động hoặc hệ thống role tác động do sự cố cắt nguồn cung cấp điện, nếu công suất trao đổi tại PCC thay đổi không nhiều; dẫn đến sự thay đổi các thông số điện áp, góc pha và tần số vẫn nằm trong giới hạn cho phép sau khi lưới ngắt kết nối [15], [16].



Hình 2. Sơ đồ khối sau khi tách lưới

Trạng thái tách lưới được hình thành và tồn tại mà không phát hiện ra, được định nghĩa là vùng không nhận diện được trạng thái kết nối tại PCC (NDZ), DG có thể làm việc độc lập cung cấp điện cho phụ tải riêng biệt [4], [16] như hình 3.



Hình 3. Vùng “chết” - NDZ dựa trên sự biến đổi công suất sau khi tách lưới tại PCC

Giá trị của phụ tải RLC nối song song được xác định theo các công thức sau:

$$|Z| = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)^2}} \quad (1)$$

$$= \frac{R}{\sqrt{1 + Q_f^2 \left(\frac{f_0}{f} - \frac{f}{f_0}\right)^2}}$$

$$R = \frac{V^2}{P_{load}}$$

$$L = \frac{V^2}{(2\pi \cdot f \cdot Q_f \cdot P_{load})}$$

$$C = \frac{Q_f \cdot P_{load}}{(2\pi \cdot f \cdot V^2)}$$

$$\varphi_{load} = \tan^{-1} \left[R \left(\frac{1}{\omega L} - \omega C \right) \right]$$

$$= \tan^{-1} \left[Q_f \left(\frac{f_0}{f} - \frac{f}{f_0} \right) \right] \quad (2)$$

Trong đó,

Tần số cộng hưởng:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

Hệ số công suất:

$$Q_f = R \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Khi độ lớn của điện áp nằm trong ngưỡng cài đặt trước $[V_{\min}; V_{\max}]$ của phương pháp dựa trên giá trị điện áp (OUV), thì quan hệ giữa điện áp và độ lệch công suất được xác định như sau:

$$\left(\frac{V}{V_{\max}}\right)^2 - 1 \leq \frac{\Delta P}{P} \leq \left(\frac{V}{V_{\min}}\right)^2 - 1 \quad (3)$$

Khi sự thay đổi của tần số nằm trong ngưỡng cài đặt trước $[f_{\min}; f_{\max}]$ của phương pháp dựa trên giá trị điện áp (OUF), thì quan hệ giữa tần số và độ lệch công suất được xác định như sau:

$$Q_f \left[1 - \left(\frac{f}{f_{\max}}\right)^2\right] \leq \frac{\Delta Q}{P} \leq Q_f \left[1 - \left(\frac{f}{f_{\min}}\right)^2\right] \quad (4)$$

Khi đó, góc lệch pha điện áp tại PCC được xác định như sau:

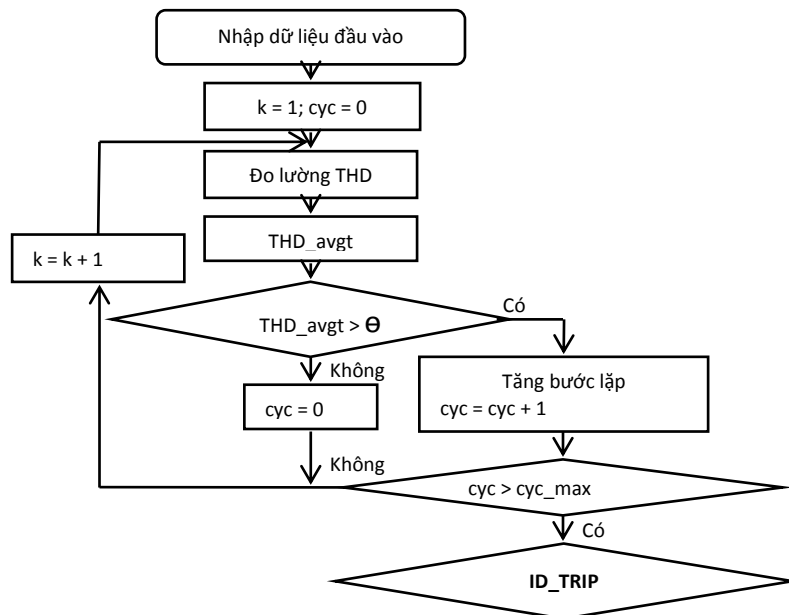
$$\varphi_{load} = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\Delta Q}{P}}{\frac{\Delta P}{P} + 1} \right) \leq \theta_{\text{threshold}} \quad (5)$$

Tính diện tích NDZ từ miền cân bằng

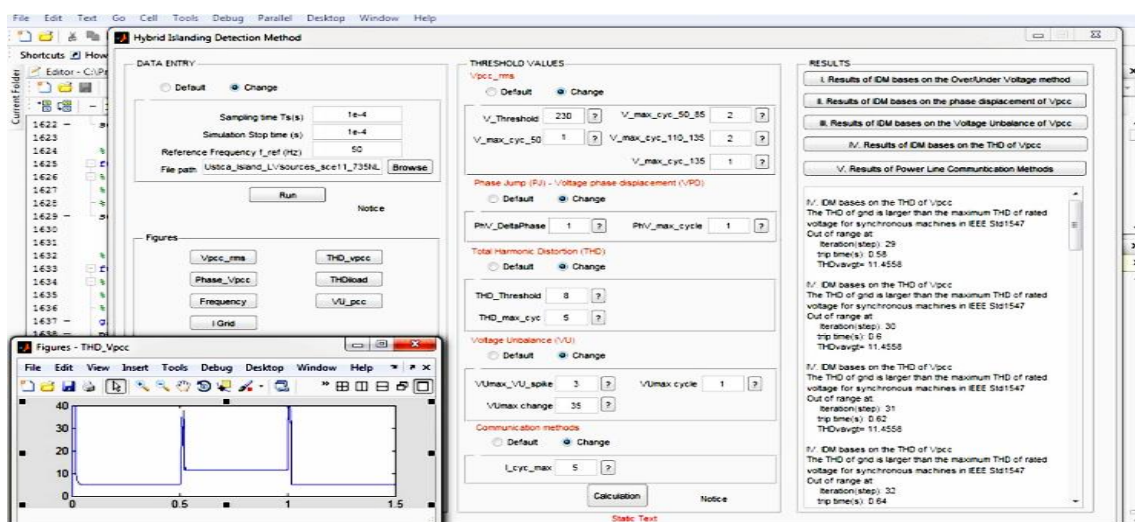
công suất để cài đặt trước các giá trị của ngưỡng làm việc cho sự biến đổi biên độ của tần số và điện áp tại PCC. Xác suất mà ΔP và ΔQ rơi vào NDZ có thể là đáng kể, do đó, các thiết bị bảo vệ rơle làm việc dựa trên tiêu chuẩn OUV/OUF thường được xem là không đủ khả năng xác định chính xác và kịp thời trạng thái tách lưới của DG tại PCC, cần thiết phải được kết hợp với các giải pháp khác [4], [16]. Do đó, dựa trên sự thay đổi giá trị của tổng hài điện áp và bước nhảy góc pha khi có sự thay đổi kết nối các nguồn điện tại PCC để phát hiện DG tách lưới, đây là các giá trị đầu vào khởi động rơle làm việc bảo vệ cho các nguồn cấp điện và phụ tải điện tại PCC.

3. THUẬT TOÁN BẢO VỆ NGUỒN ĐIỆN PHÂN TÁN KẾT NỐI VÀO LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI

Sơ đồ thuật toán bảo vệ cho DG khi được kết nối vào LĐPP được thiết kế như hình 4.



Hình 4. Sơ đồ thuật toán bảo vệ cho DG khi được kết nối vào LĐPP



Hình 5. Giao diện của thuật toán bảo vệ DG kết nối với lưới điện phân phối tại PCC

Mã nguồn thuật toán được xây dựng trên môi trường Matlab như sau:

clc;

% Nhập dữ liệu

k = 0;

i = 0;

t = 0.02;

V_n = 400;

V_t = vpcc_rms;

V_Threshold = 400;

THDvt=THDvpcc;

THD_Threshold = 5;

PhV_t = Phase_vpcc;

%BEGIN

while (1)

k=k+1;

%---Main--- THDvpcc---%

s=0;

i=i+1;

try

for i=1:(i+n-1)

s=s+THDvt(i,2);

end

catch

break;

end

THDvavg = s/n;

Theta = abs((THDvavgs-
THDvavg)/THDvavgs)*100;

End;

%---Main---Vpcc_phase---%

PhV_Sta = 0;

PhV_s = 0;

PhV_i = PhV_i + 1;

for

PhV_i=PhV_i:1:(PhV_i+PhV_n-1);

PhV_s = PhV_s + PhV_t(PhV_i,2);

end

PhV_avg = PhV_s/PhV_n;

PhV_Delta = PhV_avgs - PhV_avg;

if abs(PhV_Delta) <= PhV_DeltaPhase;

PhV_cyc = 0;

else

PhV_cyc = PhV_cyc + 1;

if

(PhV_cyc >= PhV_max_cyc)PhV_Sta = 1;

end

end

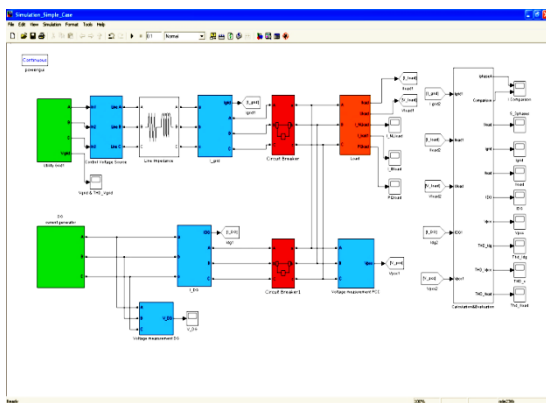
PhV_avgs = PhV_avg;

End

Trong trường hợp này, mức biến dạng điện áp được giám sát tại PCC và khi mức biến dạng vượt ngưỡng cho phép thì DG sẽ được tách ra. Thực tế, khi xảy ra chế độ tách lưới, các hài dòng điện sinh ra tại bộ chuyển đổi inverter sẽ truyền tới phụ tải làm cho điện kháng của tổng hài lớn hơn nhiều so với của lưới điện chính khiến cho sóng hài tăng cao tại PCC, trạng thái tách lưới được phát hiện ngay [5], điều này thể hiện rõ trên giao diện với người vận hành như hình 5. Vì vậy, phương pháp này giảm thiểu NDZ khi công suất DG cân bằng với phụ tải địa phương so với khi chỉ sử dụng các phương pháp đo lường sự biến động dòng công suất, điện áp và dòng điện [17]-[22].

4. MÔ PHÒNG MATLAB/SIMULINK VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

Ứng dụng Matlab Simulink mô phỏng LĐPP có sự tham gia của DG để giám sát, thu thập các thông số vận hành và trạng thái kết nối của DG tại PCC như hình 6.



Hình 6. Mô hình mô phỏng chế độ làm việc tại PCC của LĐPP có sự tham gia của DG

Trong đó, phụ tải và DG đã được lựa chọn sao cho khi làm việc ở chế độ tách lưới có điện áp và tần số biến đổi trong ngưỡng

giá trị quy định của tiêu chuẩn IEEE 1547 trước và sau khi máy cắt (CB) mở ra, tức là $U=(0,8-1,15)*U_{dm}$ và tần số dao động ($\pm 0,5$) Hz so với tần số danh định [4], [13]. Các thông số của hệ thống điện nghiên cứu được trình bày trong bảng 2.

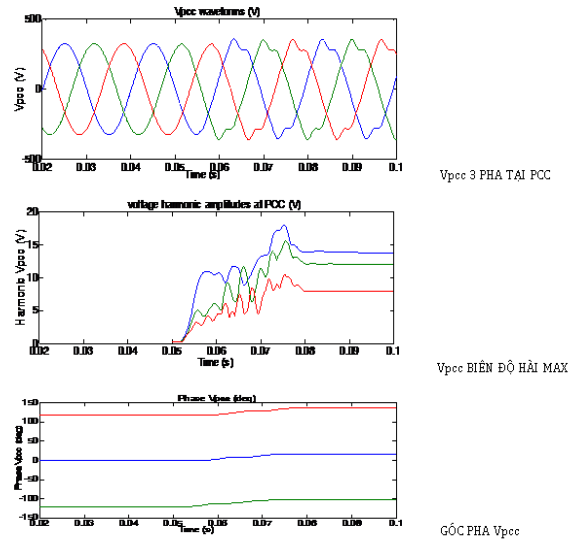
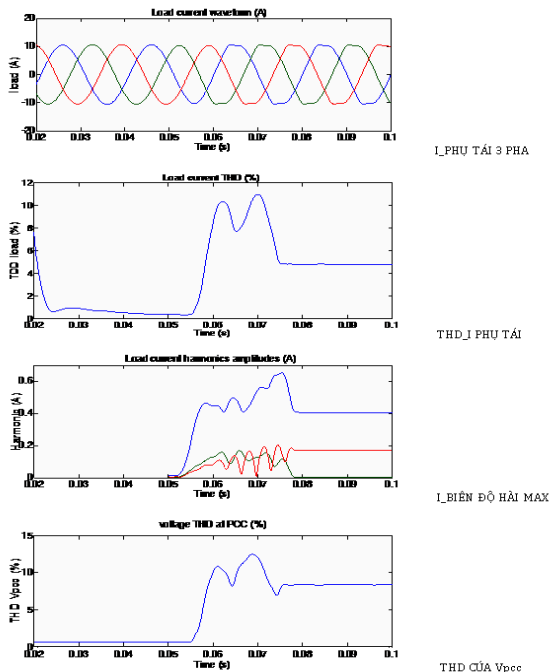
Bảng 2. Thông số của lưới điện phân phối nghiên cứu

TT	Thông số hệ thống	Giá trị	Đơn vị
1	U lưới điện	400	v
2	Nguồn dòng của DG(I ₁)	8	a
3	THD _{IDG}	5	%
4	THD _{Upcc}	5	%
5	Điện trở lưới điện (R)	1e-2	Ω /pha
6	Điện kháng lưới điện (L)	300e-6	h/pha
7	Điện cảm của bộ lọc inverter (L1)	1e-3	h
8	Điện dung của bộ lọc inverter (C1)	1e-9	f
9	Tổng trở tải phi tuyến	285	Ω
10	Tần số (f)	50	Hz

Khi CB ở trạng thái đóng, DG và phụ tải được kết nối trực tiếp với lưới điện và DG có thể cung cấp công suất vào lưới điện chính. Nhưng khi CB mở ra, trạng thái tách lưới xảy ra, khi đó DG cùng với phụ tải địa phương tạo ra một hệ thống điện độc lập, chỉ có DG cung cấp công suất. Trong đó, nguồn DG là một nguồn dòng điện ba pha kết nối vào LĐPP qua bộ biến đổi có điều khiển với tổng hài THD_{IDG} trong giới hạn 5%. Các kết quả thu được thể hiện trong hình 7.

Kịch bản vận hành được đưa ra là CB mở ra ở $t=0.5s$ khi đó chế độ tách lưới xảy ra: Các kết quả mô phỏng cho thấy rằng các phép đo OVF và OUV không thể phát

hiện trạng thái này (nghĩa là tình huống NDZ xảy ra). Ngược lại, chế độ này cần phải được phát hiện bởi phương pháp khác. Trên thực tế, khi CB mở vào thời điểm 0.5s, sau một khoảng thời gian quá độ không quá $\frac{1}{4}$ chu kỳ, $THD_{V_{PCC}}$ tại PCC tăng từ 1.012% lên 11.456%; giá trị này lớn hơn giá trị ngưỡng 5%. Do đó, phương pháp bảo vệ DG dựa trên THD_V phát hiện ngay sự thay đổi chế độ làm việc tại PCC mặc dù $THD_{I_{load}}$ của của phụ tải hiện tại vẫn nhỏ hơn 5%. Góc pha điện áp nhảy từ -27.5° đến 14.236° , giá trị trung bình của bước nhảy trong một chu kỳ là $\Delta PJ = 47.736^\circ$. Các giá trị này vượt qua ngưỡng 10% so với ngưỡng quy định 3% của PJ. Các ngưỡng nói trên đối với THD_V , PJ (PJD) đã được thiết lập phù hợp với tiêu chuẩn IEEE [18], [19]. Do đó, trong kịch bản này, trạng thái tách lưới được phát hiện bằng phương pháp đo lường kết hợp với truyền thông tin trạng thái của PCC trong LDPP.



Hình 7. Kết quả mô phỏng của điện áp, tần số, tổng sóng hài và biến đổi góc pha điện áp tại PCC

5. KẾT LUẬN

Bài báo này đưa ra một giải pháp mới trong việc bảo vệ chế độ làm việc độc lập của DG khi tách khỏi LDPP. Hơn nữa, xét trên quan điểm về triển vọng phát triển lưới điện thông minh - SmartGrid, các DG có thể tương tác với các lưới điện chính trong việc thực thi không chỉ các chức năng bảo vệ mà còn tham gia vào việc tự động hóa lưới điện.

Phương pháp bảo vệ đã đề xuất được phát triển bắt đầu từ một số yêu cầu tiêu chuẩn hiện tại cho phép đo lường sự biến thiên giá trị nhiều thông số ngay tại PCC và nâng cao hiệu quả bằng cách phối hợp thu thập dữ liệu và tích hợp với công nghệ truyền tin hiện đại để nâng cao hiệu quả giám sát PCC nên được xem xét như một giải pháp tiên tiến hơn khi sử dụng các thiết bị điện - điện tử thông minh trong thông tin liên lạc [18]-[24]. Trên phương

diện này, bằng các giải pháp kết hợp, có thể thực hiện các chức năng “thông minh hơn” - cho phép giám sát và điều khiển từ xa các DG ở khía cạnh không chỉ tách đảo mà còn điều chỉnh điện áp, công suất và điều tiết sản lượng điện năng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Europe 2020, “A strategy for smart sustainable and inclusive growth”, http://ec.europa.eu/eu2020/index_en.htm
- [2] “Technology Action Plan: Smart Grids”. Report to the Major Economies Forum on Energy and Climate, December 2009.
- [3] Smart grids - European Technology Platform for the Electricity Network of the Future, Strategic Deployment Document, April 2010, <http://www.smartgrids.eu>
- [4] A. Timbus, A. Oudalov C.N.M. Ho, “Islanding detection in smart grids”, Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 2010 IEEE, pp. 3631 – 3637.
- [5] Ngoc-Trung Nguyen, “A novel islanding detection method of distributed generation in the smart grids”, International conference on science and technology, EPU, 2016.
- [6] EN 50438:2012, “Requirements for the connection of micro-generators in parallel with public low-voltage distribution networks” (project number 22109).
- [7] CLC/FprTS 50549-1:2011, “Requirements for the connection of generators above 16 A per phase - Part 1: Connection to the LV distribution system” (project number 20863).
- [8] CLC/FprTS 50549-2:2011, “Requirements for the connection of generators above 16 A per phase - Part 2: Connection to the MV distribution system”, (project number 23224).
- [9] CEI 0-21, “Regola tecnica di riferimento per la connessione di utenti attivi e passivi alle reti BT delle imprese distributrici di energia elettrica” (Reference technical rules for the connection of active and passive users to the LV electrical Utilities), CEI Standard, december 2011 (In Italian).
- [10] VDE-AR-N 4105, “Generators connected to the low-voltage distribution network. Technical requirements for the connection to and parallel operation with low-voltage distribution networks”. August 2011 (In German).
- [11] “Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface”, IEC Std. 61 727, 2004.
- [12] “Test procedure of islanding prevention measures for utility interconnected photovoltaic inverters”, IEC Std. 62 116, 2008.
- [13] “IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems”, IEEE Std. 1547, 2003.
- [14] “IEEE recommended practice for utility interface of photovoltaic (PV) systems”, IEEE Std. 929, 2000.
- [15] A. Ipakchi and F. Albuyeh, “Grid of the future,” IEEE Power Energy Mag., vol. 7, no. 2, pp. 52–62, Mar./Apr. 2009.
- [16] Ngoc-Trung NGUYEN and et., “A Novel Algorithm of Island Protection for Distributed Generation in Smart Grids”, 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe-18), Palermo, Italy.
- [17] G. Artale, A. Cataliotti, V. Cosentino, D. Di Cara, N.T. Nguyen, P. Russotto, G. Tinè: “Hybrid passive and communications-based methods for islanding detection in medium and low voltage

- smart grids” - Proceedings of International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, POWERENG-2013, Istanbul, Turkey, May 13-17 2013, pp. 1563-1567.
- [18] G. Artale, A. Cataliotti, V. Cosentino, D. Di Cara, N.T. Nguyen, G. Tinè “Measurement and Communication Interfaces for Distributed Generation in Smart Grids”, proceedings of 2013 IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems, AMPS 2013, Aachen, Germany, September 25-27, 2013, pp. 103-107.
- [19] Ngoc-Trung Nguyen, “Study and development of innovative measurement methods and systems for anti-islanding protection in smart grids”, PhD thesis, University of Palermo, February 2014.
- [20] A. Esmailian, M. Kezunovic, “Controlled Islanding to Prevent Cascade Outages Using Constrained Spectral k-Embedded Clustering,” Power Systems Computation Conference (PSCC), 11 Aug.2016.
- [21] G. Artale, A. Cataliotti, V. Cosentino, D. Di Cara, S. Guaiana, S. Nuccio, N. Panzavecchia, G. Tinè, Member IEEE “Smart Interface Devices for Distributed Generation in Smart Grids: The Case of Islanding,” IEEE Sensors Journal, Volume: 17, Issue: 23, Dec.1, 2017.
- [22] A.R. Di Fazio, S.Valeri, “Threshold setting of an innovative anti-islanding relay for LV distribution systems by real time simulations”, Renewable Power Generation Conference (RPG 2014), 3rd, 24-25 Sept.2014.
- [23] P.P. Parikh, M.G. Kanabar, T.S. Sidhu, “Opportunities and challenges of wireless communication technologies for smart grid applications,” in Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting, Minneapolis, MN, Jul. 25-29, 2010, pp.1-7.
- [24] P. Castello, P. Ferrari, A. Flammini, C. Muscas, S. Rinaldi, “An IEC 61850-Compliant distributed PMU for electrical substations,” 2012 IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS 2012), Aachen, Germany, Sept. 26-28, 2012, pp. 1.

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Nguyễn Ngọc Trung tốt nghiệp đại học năm 2003, nhận bằng Thạc sĩ năm 2006 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, nhận bằng Tiến sĩ năm 2014 tại Đại học Palermo, Cộng hòa Italia.

Lĩnh vực nghiên cứu: lưới điện thông minh-SmartGrid, bảo vệ rơle và giám sát điều khiển, tự động hóa trong hệ thống điện.



Tác giả Đàm Khánh Linh tốt nghiệp đại học ngành hệ thống điện năm 2008 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội; nhận bằng Thạc sĩ ngành quản lý công nghiệp tại Học viện Công nghiệp Grenoble (INPGI), Cộng hòa Pháp năm 2010; nhận bằng Tiến sĩ ngành kỹ thuật điện tại Trường Đại học Palermo - Cộng hòa Italia năm 2015.

Lĩnh vực nghiên cứu: hệ thống điện thông minh, thị trường điện, chính sách giá điện.

