TẠP CHÍ ISSN: 1859-316X
KHOA HỌC CÔNG NGHỆ HÀNG HẢI
JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY

XÁC ĐỊNH PHA TRONG LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI HẠ ÁP SỬ DỤNG THUẬT TOÁN PHÂN CỤM

PHASE IDENTIFICATION IN LOW-VOLTAGE DISTRIBUTION NETWORK BY CLUSTERING ALGORITHM

ĐOÀN HỮU KHÁNH*, PHAN ĐĂNG ĐÀO

Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

**Email liên hệ: khanhdh.ddt@vimaru.edu.vn*

Tóm tắt

Bài báo này trình bày việc nghiên cứu, xác định pha phụ tải trong lưới điện phân phối (0,4kV). Phương pháp nhóm tác giả sử dụng là xử lý dữ liệu chuỗi thời gian điện áp được đo về từ các công tơ điện tử (Smart meters), mỗi chuỗi thời gian sẽ đặc trưng cho một hộ tiêu thụ trong lưới điện phân phối. Các dữ liệu chuỗi thời gian sẽ được tiền xử lý trước khi được tách thành 3 phân cụm đặc trưng cho 3 pha R, S, T trong lưới điện bằng thuật toán phân cụm mờ Fuzzy C-means. Kết quả của quá trình mô phỏng bằng phần mềm Matlab cho thấy thuật toán xác định pha phụ tải làm việc rất chính xác, có khả năng cao để áp dụng trong thực tế cho lưới phân phối tại Việt Nam.

Từ khóa: *Xác định pha phụ tải, lưới phân phối hạ áp, chuỗi thời gian, công tơ điện tử, Fuzzy C-means.*

Abstract

This paper presents the research and indentification of the phases in the low-voltage distribution grid (0.4kV). The method used by the authors is to process time series data measured from smart meters, each time series will be characteristic of a consumer in the low-voltage distribution grid. The time series data will be preprocessed before being clustering into three clusters for 3 phases R, S, T in the grid using the Fuzzy C-means clustering algorithm. The results of the simulation using Matlab software show that the algorithm for phase identification is very accurate and has a high ability to apply in practice to the low-voltage distribution network in Vietnam.

Keywords: *Phase indentification, low-voltage distribution network, time series, smart meter, Fuzzy C-means.*

1. Mở đầu

Việt Nam là một nước đang phát triển, có tốc độ tăng trưởng kinh tế nhanh, nhu cầu sử dụng điện đang ngày một tăng cao. Theo công bố của bộ công thương, sản lượng điện thương phẩm năm 2017 là 174,65 tỷ kWh, năm 2018 là 192,93 tỷ kWh và 209,42 tỷ kWh với năm 2019. Như vậy ta có thể thấy chỉ trong vòng 2 năm từ 2017 đến 2019 sản lượng điện thương phẩm đã tăng lên 19,91%.

Để vận hành hệ thống lưới điện đạt hiệu suất cao nhất và tin cậy nhất thì cần nhiều bộ công cụ và các ứng dụng như ứng dụng tính toán và tối ưu dòng công suất, xác định trạng thái hệ thống lưới phân phối, bài toán tái cấu trúc và khôi phục lưới [1]. Tất cả các ứng dụng trên đều cần một mô hình lưới phân phối và kết nối pha chính xác. Mô hình lưới phân phối hầu hết là chính xác nhưng mô hình kết nối pha thường có nhiều sự sai sót [2]. Các công ty điện lực thường không có được thông tin chính xác mô hình kết nối pha này. Hơn nữa mô hình này lại liên tục thay đổi khi có thêm các khách hàng tiêu thụ điện mới. Vì vậy việc xác định được chính xác pha của các phụ tải đóng vai trò ngày càng quan trọng trong lưới điện hiện nay. Bài báo này đề xuất một thuật toán giúp xác định pha phụ tải trong lưới điện phân phối hạ áp từ dữ liệu thu thập về từ công tơ điện tử hoặc từ hệ thống điều khiển giám sát và thu thập dữ liệu (SCADA).

Phần còn lại của bài báo được sắp xếp như sau: Mục 2 giới thiệu khái quát chung và các công trình liên quan. Mục 3 đề xuất thuật toán để xác định pha phụ tải dựa trên dữ liệu chuỗi thời gian điện áp. Mục 4 là mô phỏng thuật toán trên phần mềm Matlab và phần kết luận được trình bày trong mục 5.

2. Khái quát chung và công trình liên quan

2.1. Khái quát chung

Điện năng phát ra từ các nhà máy điện sẽ được qua các trạm biến áp tăng áp để nâng điện áp lên trước khi truyền tải đi xa và cuối cùng sẽ được hạ điện áp bằng các máy biến áp hạ áp để cấp điện cho các đối tượng khách hàng khác nhau. Nguồn cung

cấp điện chính trong lưới điện hiện nay được cấp từ các máy phát điện 3 pha. Ở chế độ bình thường, mạng lưới điện sẽ là 3 pha và điện áp trong 3 pha (gọi là 3 pha: R-S-T và N là trung tính) sẽ giống nhau và chỉ lệch pha nhau 1 góc là 120^0. Các khách hàng như trung tâm thương mại hay các công ty thì sẽ sử dụng hệ thống điện 3 pha, 4 dây. Trong khi đó các hộ tiêu thụ gia đình sẽ sử dụng hệ thống điện 1 pha (gồm 1 dây pha R, S hoặc T với dây trung tính N). Mỗi khu vực dân cư sẽ được cung cấp bởi một biến áp 3 pha hạ áp với phạm vi khoảng 50-200 hộ [3]. Tuy nhiên mỗi hộ chỉ kết nối tới một trong 3 pha R, S hoặc T. Thực tế khi có một hộ tiêu thụ mới, dữ liệu kết nối đến pha nào của hệ thống có thể không phải lúc nào cũng được lưu trữ và cập nhật đầy đủ. Hơn thế nữa, dữ liệu mô hình kết nối pha còn có thể bị thay đổi trong quá trình sửa chữa và bảo dưỡng [3]. Vì các lý do như vậy cho nên hiện nay có rất ít các công ty điện lực có được số liệu chính xác về mô hình kết nối pha của các phụ tải, đặc biệt là trong lưới điện hạ áp.

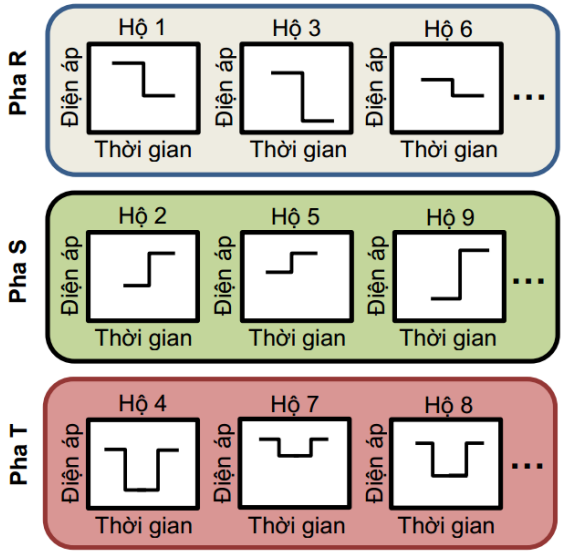
2.2. Các công trình liên quan và đóng góp của bài báo

Hiện nay trên thực tế có 2 phương pháp phổ biến để xác định pha phụ tải trong lưới điện hạ áp. Phương pháp thứ nhất là sử dụng giải pháp vật lý với các thiết bị đo đặc biệt như hệ thống micro-synchrophasor [4], signal generators and discriminators [5]. Các giải pháp này vẫn khá phổ biến nhưng chúng có nhược điểm là đắt tiền và chi phí nhân công cao. Phương pháp thứ hai là sử dụng dữ liệu đo về được từ các Smart meters hay hệ thống SCADA,… bằng việc phân tích các dữ liệu này bằng các công cụ toán học, dùng các phương pháp mô hình hóa thì có thể xác định được pha của các phụ tải.

Trong bài báo [2], Tom A. Short trình bày một phương pháp xác định pha phụ tải bằng cách sử dụng một thuật toán hồi quy tuyến tính để nâng cao độ chính xác dựa trên sự tương quan điện áp giữa các khách hàng. Trong bài báo [6], Houman Pezeshki và các cộng sự giả thiết trong cùng 1 pha thì điện áp của mỗi khách đều có sự tương quan rất tốt với nhau, nhóm tác giả đã dùng công nghệ tương quan để tách thành phần mong muốn và nhiễu trắng Gaussian trong mỗi chuỗi thời gian điện áp của khách hàng trước khi so sánh để phân nhóm chúng. Trong bài báo [1], Wenyu Wang và các cộng sự sử dụng thuật toán K-means có ràng buộc để phân cụm chuỗi thời gian điện áp và Frédéric OLIVIER trong bài báo [7] cải tiến thuật toán này để xác định pha phụ tải. Nhằm giảm ảnh hưởng của điện áp rơi trên dây dẫn từ trục chính đến hộ tiêu thụ, Wenpeng Luan cùng các cộng sự trong bài báo [8] không sử dụng trực tiếp dữ liệu điện áp thô đo về từ Smart meters mà dùng công thức tính toán để tính ra điện áp ở nút giao của hộ đó với đường trục chính trước khi phân tích tương quan.

Các phương pháp nêu trên đều có những ưu, nhược điểm riêng, độ chính xác của một số phương pháp cũng chưa đạt đến giá trị chính xác như mong muốn, như trong bài báo [1], có trường hợp độ chính xác chỉ đạt 90,40%. Không có thuật toán phân cụm nào là phù với tất cả các loại dữ liệu, trong bài báo này nhóm tác giả xây dựng một phương pháp xác định pha phụ tải mới dựa trên thuật toán phân cụm mờ Fuzzy C-means và thí nghiệm nó trên một bộ dữ liệu chuỗi thời gian điện áp. Kết quả thử nghiệm cho thấy phương pháp đề xuất độ chính xác rất cao (lên đến 100%) và hoàn toàn có khả áp dụng với dữ liệu thật để triển khai vào thực tế.

3. Thuật toán xác định pha phụ tải từ dữ liệu thu thập của công tơ điện tử



Hình 1. Ví dụ về sự tương quan điện áp

Ý tưởng cốt lõi của thuật toán đề xuất là dựa trên sự tương quan về điện áp giữa các hộ tiêu thụ trong cùng một pha [1, 2, 6, 9]. Hình 1 là một ví dụ về sự tương quan điện áp của 9 hộ tiêu thụ [9]. Mỗi hộ tiêu thụ ứng với một chuỗi thời gian điện áp được phân làm 3 cụm khác nhau. Mỗi cụm là một pha của phụ tải (R, S, T). Từ hình vẽ trên ta có thể thấy sự tương quan về điện áp thể hiện rất rõ giữa các hộ trong cùng một pha.

Như vậy nhờ có sự tương quan này, nếu ta có thể

TẠP CHÍ ISSN: 1859-316X
KHOA HỌC CÔNG NGHỆ HÀNG HẢI
-JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY-

phân loại được các chuỗi thời gian điện áp đại diện cho các hộ tiêu thụ thành 3 cụm khác nhau tương ứng với 3 pha của phụ tải thì ta có thể xác định được các pha tương ứng.

Có rất nhiều thuật toán để phân cụm dữ liệu như thuật toán K-means, phương pháp bản đồ tự tổ chức SOM, thuật toán phân cụm phân lớp Hiarachical clustering, thuật toán dựa trên hình dáng động DTW, thuật toán các thành phần chính PCA,… Mỗi thuật toán đều có những ưu, nhược điểm và có thể áp dụng tùy vào từng trường hợp cụ thể. Trong bài báo này nhóm tác giả sử dụng thuật toán Fuzzy C-means để phân loại các chuỗi thời gian điện áp. Phương pháp xác định pha phụ tải dựa trên thuật toán phân cụm Fuzzy C-means được trình bày như Mục 3.1 dưới đây. Mục 3.2 nhóm tác giả giới thiệu về thuật toán Fuzzy C-means và áp dụng nó để xác định pha phụ tải.

3.1. Xây dựng thuật toán xác định pha phụ tải

Thuật toán xây dựng được trình bày như Hình 2. Dữ liệu thô là các chuỗi thời gian điện áp ban đầu, trên thực tế các dữ liệu này sẽ được tiền xử lý để loại bỏ các dữ liệu xấu do các lỗi đường truyền, công tơ lỗi,…(được gọi là các outliers) [10] trước khi thực hiện các bước tiếp theo. Tuy nhiên bài báo sẽ không xét đến các dữ liệu xấu này mà tập trung vào xây dựng một thuật toán xác định pha phụ tải. Thuật toán đề xuất sẽ gồm 3 bước cụ thể như sau:

Ở bước thứ nhất, dữ liệu thô ban đầu sẽ được chuẩn hóa trước khi phân cụm, tất cả các chuỗi thời gian điện áp của các hộ tiêu thụ sẽ được chuẩn hóa theo công thức (2) để tất cả các điểm điện áp sẽ rơi vào trong khoảng 0-1. Nghĩa là giá trị điện áp nhỏ nhất 0V sẽ ứng với 0 và lớn nhất sẽ ứng với 1.

Ở bước thứ hai, dữ liệu sau khi chuẩn hóa sẽ được đưa vào thuật toán Fuzzy C-means để phân ra làm 3 cụm (C=3 ứng với 3 pha R, S, T của nguồn).

Trong mỗi cụm đã được phân sẽ chứa các chuỗi thời gian điện áp đại diện cho các hộ tiêu thụ được nối tới cùng một pha của nguồn và việc đánh giá kết quả sẽ được thực hiện trong bước cuối cùng.

3.2. Thuật toán Fuzzy C-means

Với phương pháp phân cụm Fuzzy C-means mỗi điểm dữ liệu có thể thuộc về 2 clusters trở nên tùy vào mức độ thành viên của điểm dữ liệu đó với các tâm cụm. Mỗi bước lặp của thuật toán nhằm mục đích tối thiểu hóa hàm mục tiêu dựa trên việc tính toán khoảng cách từ các điểm dữ liệu của đồ thị phụ tải đến tâm cụm dựa trên giá trị thành viên [11]. Hàm mục tiêu được tính theo công thức (1) như sau:

$$J_m = \sum_{i=1}^{D}\sum_{j=1}^{N} \mu_{ij}^{m} \left\| x_i - c_j \right\|^2 \quad (1)$$

Với D: tổng số điểm dữ liệu, N: số lượng cụm, m: số mũ trọng số; x_i điểm dữ liệu thứ i, c_j : tâm của cụm thứ j, μ_{ij} : giá trị thành viên của x_i trong cụm j.

Thuật toán này áp dụng trong bài toán xác định pha phụ tải được tạo thành những bước cụ thể như sau:

Bước 1: Chuẩn hóa dữ liệu với công thức (2):

$$u_{(i,h-norm)} = \frac{u_{(i,h)}}{u_{h-max}} \quad (2)$$

$u_{(i,h\text{-}norm)}$: điện áp đã được chuẩn hóa;

$u_{(i,h)}$: giá trị điện áp thực;

$u_{(h\text{-}max)}$: giá trị điện áp lớn nhất;

i: chuỗi thời gian điện áp của hộ thứ i; i=1,2,…,N (N: tổng số hộ được khảo sát);

h: giá trị điện áp tại thời điểm thứ h trong một chuỗi thời gian điện áp; h=1,2,…,H (H là số điểm dữ liệu của một chuỗi thời gian điện áp).

Bước 2: Chọn ngẫu nhiên 3 vị trí cho 3 tâm cụm.

Bước 3: Tính toán ma trận mức độ thành viên, giá trị thành viên của u_i trong cụm j được tính:

$$\mu_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{c}\left(\frac{\left\|u_i - c_j\right\|}{\left\|u_i - c_k\right\|}\right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (3)$$

Với $\left\|u_i - c_j\right\|$ là khoảng cách Euclidean từ chuỗi thời gian điện áp i đến trọng tâm của cụm thứ j.

Bước 4: Tính ma trận tâm cụm mới theo công thức (4):

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^{D} \mu_{ij}^{m} x_i}{\sum_{i=1}^{D} \mu_{ij}^{m}} \quad (4)$$

Với số mũ trọng số m thường được chọn bằng 1.5 trong các ứng dụng thực tế [12].

Bước 5: Lặp lại bước 2 và bước 3 cho đến khi hàm mục tiêu nhỏ hơn một ngưỡng cho phép hoặc sau số lần lặp tối đa quy định.

4. Mô phỏng kiểm chứng thuật toán

Tại Việt Nam hiện nay, hầu hết các công tơ điện tử chỉ thu thập các tín hiệu là chuỗi thời gian công suất tiêu thụ của các hộ tiêu thụ mà chưa cài

đặt để lấy về các giá trị điện áp. Vì vậy để có dữ liệu để kiểm chứng thuật toán của mình, nhóm tác giả xây dựng một mô hình lưới điện phân phối hạ áp gồm 51 hộ tiêu thụ được bố trí trong các pha R, S, T. Mô hình này được thiết kế trên phần mềm Matlab/Simulink được trình bày trong Mục 4.1 dưới đây.

4.1. Thiết kế mô hình lưới phân phối hạ áp

Mô hình lưới phân phối hạ áp được thiết kế trên phần mềm Matlab/Simulink. Sơ đồ thiết kế tổng quát được thể hiện như Hình 3. Tổng số khách hàng được thiết kế là 51 hộ tiêu thụ. Trong đó 16 hộ nối vào pha R, 17 hộ nối vào pha S và 18 hộ còn lại nối vào pha T. Mỗi hộ trong các pha được thiết kế gồm nhiều loại phụ tải tải thuần trở, động cơ điện không đồng bộ,… với quy luật đóng mở ngẫu nhiên khác nhau giống như trên thực tế. Điện áp đầu nguồn của mỗi hộ sẽ được đo bởi các khối "Voltage Measurement" và "RMS". Sau đó tín hiệu điện áp sẽ được lấy mẫu để gửi đến cửa sổ không gian biến "Workspace" của Matlab bởi khối "To Workspace" để tạo thành dữ liệu đầu vào cho thuật toán xác định pha như Hình 4.

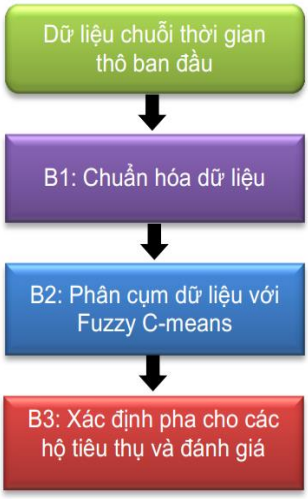
Sau khi chạy phần mềm sẽ thu được 51 chuỗi thời gian (mỗi chuỗi tác giả lấy 25 điểm dữ liệu) là điện áp tương ứng của các hộ. Các chuỗi thời gian này sẽ được xử lý để xác định pha bằng thuật toán đề xuất và kiểm chứng kết quả trong Mục 4.2.

4.2. Thử nghiệm thuật toán đề xuất

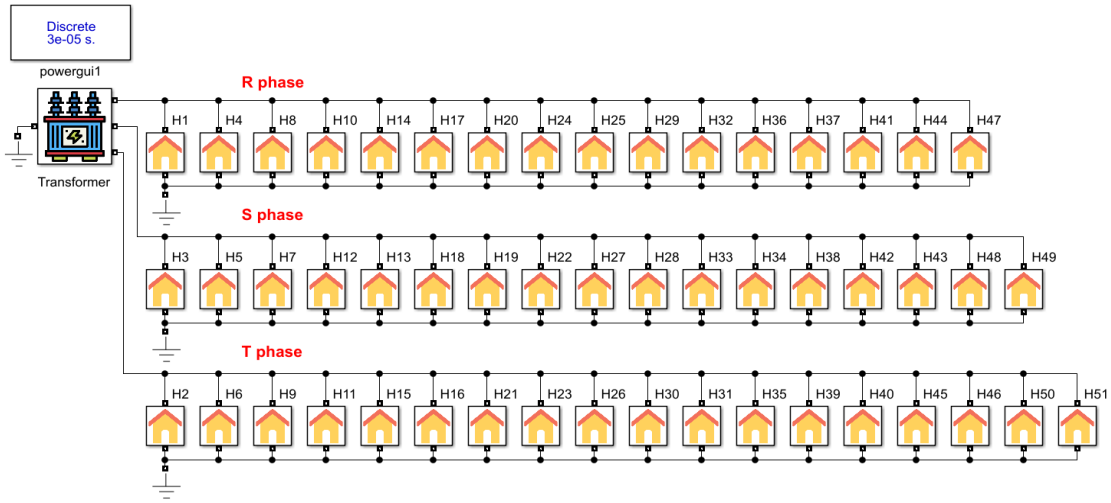
Ban đầu bộ dữ liệu được tạo ra gồm 51 hộ gia đình, chuỗi thời gian điện áp của tất các hộ này được thể hiện như Hình 5. Khi tiến hành chạy thuật toán đề xuất với bộ dữ liệu này mà không quan tâm đến sơ đồ nối pha ban đầu của các hộ, phần mềm cho kết quả trong ma trận mức độ thành viên μ_{ij} là 16 chuỗi thời gian điện áp được phân vào cụm 1 ứng với pha R, 17 chuỗi thời gian điện áp được phân vào cụm 2 ứng với pha S và 18 chuỗi thời gian còn lại được phân vào cụm 3 ứng với pha T như trên các Hình 6, Hình 7 và Hình 8 tương ứng.

Nhìn từ các Hình 6, Hình 7 và Hình 8 ta dễ dàng nhận thấy trong bản thân mỗi cụm đã được phân loại, các chuỗi thời gian đều có sự tương quan với nhau rất tốt, các điện áp tuy có biên độ có thể khác nhau, nhưng xu hướng thay đổi đều có sự tương đồng. Sau khi đối chiếu với sơ đồ nối pha được thiết kế trong Simulink, kết quả phần mềm đề xuất cho kết quả hoàn toàn trùng khớp, đạt tỷ lệ chính xác 100%.

Hàm mục tiêu J_m đạt được giá trị mong muốn chỉ sau 14 bước lặp thể hiện trên Hình 9.

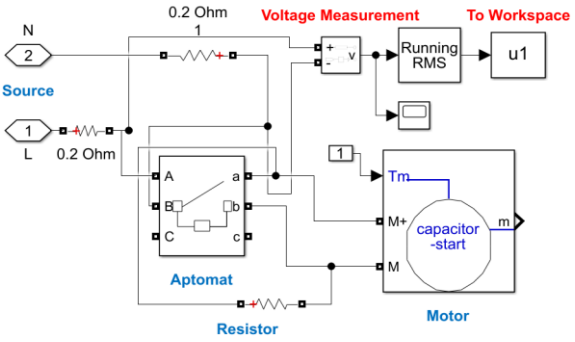


Hình 2. Thuật toán xác định pha phụ tải

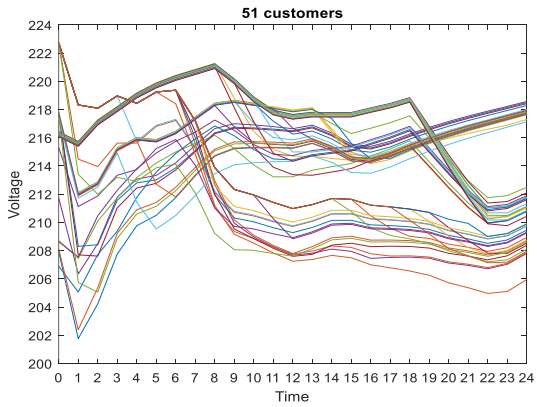


Hình 3. Mô hình lưới phân phối hạ áp thiết kế trên Matlab/Simulink

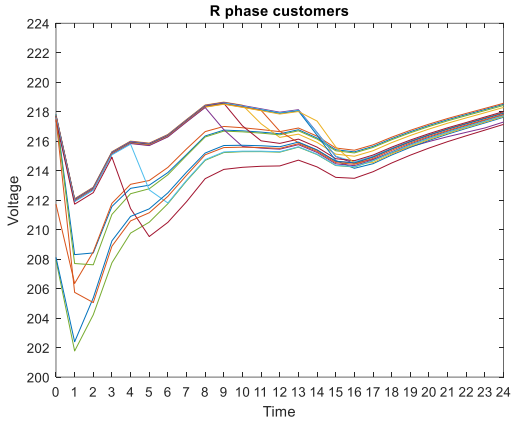
TẠP CHÍ ISSN: 1859-316X
KHOA HỌC CÔNG NGHỆ HÀNG HẢI
JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY



Hình 4. Mô hình tải của hộ gia đình số 1



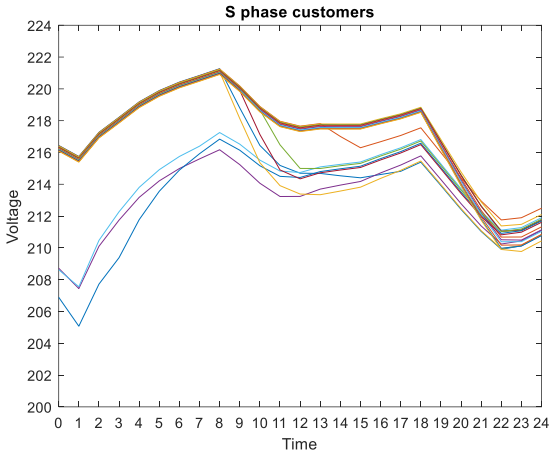
Hình 5. Dữ liệu điện áp của tất cả 51 hộ



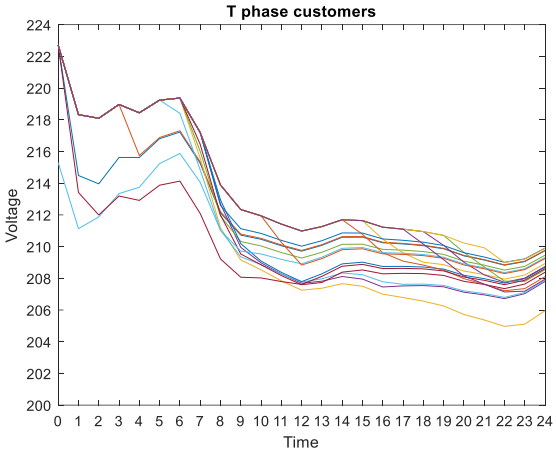
Hình 6. 16 hộ nối vào pha R

5. Kết luận

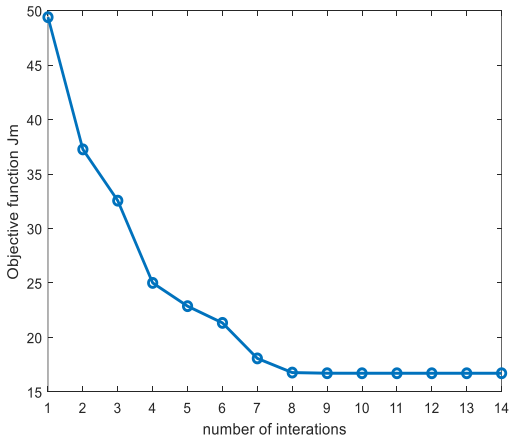
Bài báo đã nghiên cứu và xây dựng được một phương pháp để xác định pha của phụ tải trong lưới điện hạ áp sử dụng thuật toán Fuzzy C-means. Kết quả mô phỏng cho thấy thuật toán hoạt động rất hiệu quả với độ chính xác cao. Hướng phát triển trong tương lai của bài báo sẽ tiếp tục thử nghiệm thuật toán này với dữ liệu là các chuỗi thời gian điện áp thật được đo về từ công tơ điện tử đang được lắp đặt trong các hộ gia đình hiện nay để đánh giá kết quả tổng thể trước khi áp dụng nó vào thực tế.



Hình 7. 17 hộ nối vào pha S



Hình 8. 18 hộ nối vào pha T



Hình 9. Hàm mục tiêu J_m

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT20-21.46**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Wenyu Wang, Yu, Foggo, Davis, *Phase Identification in Electric Power Distribution Systems by Clustering of Smart Meter Data*, 15th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, 2016.

[2] Tom A. Short, *Advanced Metering for Phase Identification*, Transformer Identification, and Secondary Modeling, EEE Transactions on smart grid, Vol.4, No.2, June 2013.

[3] V. Arya, D. Seetharam, Kalyanaraman, Dontas, Pavlovski, Hoy, Kalagnanam, *Phase Identification in Smart Grids*, IEEE 2011 IEEE Second International Conference on Smart Grid Communications - Brussels, Belgium, 2011.

[4] Df Miles H.F. Wen, Arghandehy, Meiery,Poollay, Li, *Phase Identification in Distribution Networks with Micro-Synchrophasors*, Power and Energy Society General Meeting. IEEE, pp. 1-5, 2015.

[5] K. Caird, Meter phase identification, U.S. Patent App. 12/345,702. [Online], 2010.

[6] H. Pezeshki, P. J. Wolfs, *Consumer Phase Identification in a Three Phase Unbalanced LV Distribution Network*, 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT Europe), Berlin, 2012.

[7] Frédéric OLIVIER, Antonio SUTERA, Pierre GEURTS, Raphael FONTENEAU, Damien ERNST, *Phase Identification of Smart Metersby Clustering Voltage Measurements*, IEEE 2018 Power Systems Computation Conference (PSCC) - Dublin, Ireland, 2018.

[8] Wenpeng Luan, Peng, Maras, Lo, and Harapnuk, *Smart Meter Data Analytics for Distribution Network Connectivity Verification*, IEEE Transactions on Smart Grid, Vol.6(4), 2015.

[9] Logan Blakely, Reno, Feng, *Spectral Clustering for Customer Phase Identification Using AMI Voltage Timeseries*, IEEE 2019 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI) - Champaign, IL, USA, 2019.

[10] Rob J Hyndman, Earo Wang, Nikolay Laptev, *Large-Scale Unusual Time Series Detection*, IEEE International Conference on Data Mining Workshop (ICDMW) - Atlantic City, NJ, USA, 2015.

[11] Prahastono, Iswan; King, David J.; Ozveren, Bradley, *Electricity load profile classification using Fuzzy C-Means method*, IEEE 2008 43rd International Universities Power Engineering Conference (UPEC) - Padova, 2008.

[12] PEI Jihong a, YANG Xuan a, GAO Xinbo a and XIE Weixin, *On the weighting exponent m in fuzzy C means (FCM) clustering algorithm*, SPIE Proceedings, China, 2001.

Ngày nhận bài:	25/12/2020
Ngày nhận bản sửa:	11/01/2021
Ngày duyệt đăng:	21/01/2021