

# NGHIÊN CỨU NÂNG CAO HIỆU QUẢ VẬN HÀNH AN TOÀN HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG ĐIỀU CHỈNH ĐIỆN ÁP CÁC TRẠM BIẾN ÁP 110KV KHÔNG NGƯỜI TRỰC

## RESEARCH ON IMPROVING THE EFFICIENCY OF SAFE OPERATION OF THE AUTOMATIC VOLTAGE ADJUSTMENT SYSTEM OF SUBSTATIONS 110KV WITHOUT PERSONNEL

Đoàn Thị Ngọc Như<sup>1</sup>, Nguyễn Thành Trung<sup>1</sup>, Hoàng Đăng Nam<sup>2</sup>, Võ Văn Phương<sup>2</sup>, Lê Tiến Dũng<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Sinh viên lớp 15TDH1, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; nhudoan065@gmail.com; trungidh97@gmail.com

<sup>2</sup>Công ty TNHH MTV Điện lực Đà Nẵng; namhd@cpc.vn; phuongvv@cpc.vn

<sup>3</sup>Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; ltdung@dut.udn.vn

**Tóm tắt** - Điện áp có ảnh hưởng rất lớn đối với hệ thống điện và là một trong những nhân tố quyết định đến chất lượng điện năng, đảm bảo độ tin cậy cung cấp điện. Vì vậy, vấn đề ổn định điện áp sẽ phụ thuộc vào việc giám sát và điều khiển hiệu quả từ các kĩ sư vận hành tại Trung tâm điều khiển. Bài báo này đã phân tích chế độ vận hành lưới điện hiện tại của Công ty TNHH MTV Điện lực Đà Nẵng, nghiên cứu cụ thể quá trình làm việc của bộ điều áp dưới tải (OLTC) của các máy biến áp, các chế độ hoạt động của hệ thống SCADA để thực hiện điều áp. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất thuật toán tự động kiểm tra và xây dựng chương trình điều khiển trên Command Sequence cho hệ thống SCADA tại Công ty TNHH MTV Điện Lực Đà Nẵng. Điều này đã nâng cao hiệu quả vận hành an toàn hệ thống tự động điều chỉnh điện áp các trạm biến áp 110kV không người trực.

**Từ khóa** - Trạm biến áp 110kV; Điều chỉnh điện áp; Trung tâm Điều khiển; Hệ thống SCADA; Bộ điều áp dưới tải (OLTC)

**Abstract** - Voltage has a great influence on the electrical system and is one of the decisive factors in the quality of electricity, ensuring the reliability of power supply. Therefore, the issue of voltage stability depends on effective monitoring and controlling from the operation engineers at the Control Center. This article analyzes the current grid operation mode of PC Da Nang, researches in detail the operating process of the On Load Tap Changer (OLTC) of the transformers, the operating modes of SCADA system to adjust the voltage. Based on this, the article has recommended an automatically check algorithm and built a controlling programs on the Command Sequences to apply to the SCADA system of PC Da Nang. This has improved operational efficiency safely for the automatic voltage adjustment system of substations 110kV without personnel.

**Key words** - Substations 110kV; Voltage adjustment; Control Center; Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) system; the On Load Tap Changer (OLTC)

### 1. Đặt vấn đề

Điều chỉnh điện áp là một trong những nhiệm vụ đặc biệt quan trọng trong việc vận hành hệ thống điện để đảm bảo chất lượng điện năng, nâng cao độ tin cậy cung cấp điện và tuổi thọ của các thiết bị nhằm đạt hiệu quả cao trong vận hành giúp giảm thiểu thiệt hại về kinh tế và kỹ thuật. Một khi việc điều chỉnh điện áp bị mất kiểm soát, sự mất ổn định điện áp bị kéo dài, sẽ gây ra nhiều nguy hiểm cho hệ thống điện, như là sụp đổ điện áp [1], [2] và điều này đã xảy ra ở nhiều nơi trên thế giới [3].

Hiện nay, các công ty Điện lực đã xây dựng và đưa vào sử dụng các hệ thống SCADA dùng để giám sát các giá trị đo lường, cũng như có thể cảnh báo cho người vận hành biết về sự thay đổi trạng thái, hoặc có thể điều khiển đóng cắt các thiết bị từ xa. Việc này đã giảm được một phần nguồn chi phí về nhân lực và nâng cao mức độ tự động hóa lưới điện phân phối, trong đó bao gồm cả tự động hóa việc điều chỉnh điện áp.

Cho đến nay, hệ thống lưới điện trên Thành phố Đà Nẵng đã tự động hóa được các trạm biến áp 110kV thành các trạm không người trực, các kĩ sư có thể vận hành và giám sát thông qua hệ thống SCADA tại Trung tâm điều khiển. Tuy nhiên, việc đưa ra các tác động kịp thời vào hệ thống, chẳng hạn như điều áp cho nhiều máy biến áp cùng một thời điểm, hoặc dừng khẩn cấp việc điều áp của tất cả bộ OLTC khi hệ thống gặp sự cố, hoặc thay đổi chế độ vận

hành của các bộ OLTC vẫn còn gặp nhiều khó khăn. Mặt khác, số lượng máy biến áp 110kV của hệ thống lưới điện Thành phố Đà Nẵng là quá nhiều, nên việc giám sát và điều khiển sẽ ảnh hưởng lớn đến việc vận hành hệ thống tối ưu. Đây một vấn đề mà hiện nay vẫn chưa giải quyết được triệt để không chỉ ở Điện lực (PC) Đà Nẵng mà còn cho nhiều công ty Điện lực khác tại Việt Nam.

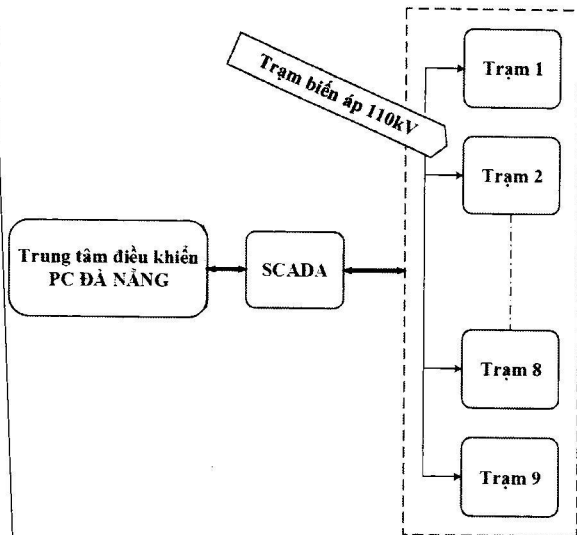
Để giải quyết vấn đề còn tồn tại nêu trên của hệ thống, trong bài báo này các tác giả thực hiện phân tích, nghiên cứu cụ thể quá trình làm việc của bộ OLTC của các máy biến áp, các chế độ hoạt động của hệ thống SCADA để thực hiện điều áp. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất thuật toán tự động kiểm tra và xây dựng chương trình điều khiển trên Command Sequence cho hệ thống SCADA tại Công ty TNHH MTV Điện lực Đà Nẵng nhằm nâng cao hiệu quả vận hành an toàn hệ thống tự động điều chỉnh điện áp các trạm biến áp 110kV không người trực. Để kiểm tra độ tin cậy của chương trình với thuật toán đề xuất, bài báo đưa ra nhiều sự cố giả lập có thể xảy ra và phân tích kết quả tác động của hệ thống.

### 2. Mô hình hệ thống điều khiển điện áp

Mục này sẽ đưa ra sơ đồ tổng quan của việc điều khiển và giám sát các trạm biến áp 110kV tại Thành phố Đà Nẵng, nguyên lý làm việc của hệ thống điều chỉnh điện áp. Đồng thời giải thích nguyên lý hoạt động của bộ OLTC.

## 2.1. Mô hình tổng quan hoạt động điều khiển và giám sát các trạm biến áp 110 kV tại Thành phố Đà Nẵng

Mô hình tổng quan hoạt động điều khiển và giám sát các trạm biến áp 110 kV được thể hiện như Hình 1. Trong đó, bao gồm 3 thành phần chính, đó là: Trung tâm điều khiển; Hệ thống SCADA và các trạm biến áp 110kV. Trung tâm điều khiển là nơi toàn bộ việc giám sát và điều khiển từ xa được vận hành bởi các kỹ sư tại phòng Điều độ thuộc Công ty TNHH MTV Điện lực Đà Nẵng. Người kỹ sư vận hành tại Trung tâm điều khiển thông qua hệ thống SCADA để tác động đến các biến trạng thái và biến điều khiển của các trạm biến áp nhằm giám sát hoặc đưa ra các lệnh điều khiển đến các đối tượng.



Hình 1. Mô hình tổng quan hoạt động điều khiển và giám sát các trạm biến áp 110 kV

Trong mô hình, hệ thống SCADA có chức năng giám sát, điều khiển, thu thập dữ liệu từ xa và phân tích lịch sử dữ liệu [4]. Hệ thống nhận lệnh điều khiển để đóng cắt các thiết bị từ xa (chẳng hạn, đóng cắt Recloser, dao cách ly, ...), hoặc nhận lệnh điều khiển tăng giảm nấc phân áp của các máy biến áp. Về chức năng giám sát, màn hình HMI hiển thị sơ đồ lưới điện, trạng thái của các thiết bị và có thể cảnh báo cho người vận hành về sự thay đổi trạng thái của bất kỳ thiết bị nào đó bằng việc phát âm thanh và thay đổi màu sắc (xanh, đỏ, ...) của biểu tượng thiết bị trên màn hình. Thêm nữa, người vận hành cũng có thể giám sát được số liệu của các thông số, như giá trị dòng điện, điện áp nguồn, công suất, ... từ màn hình HMI. Trạm biến áp 110 kV đảm nhiệm chức năng cung cấp điện cho một địa bàn nhất định. Các trạm biến áp 110kV trên Thành phố Đà Nẵng đã chuyển sang hoạt động ở trạng thái không người trực. Do đó, giảm thiểu được nguồn nhân lực vận hành tại các trạm. Vậy nên, chương trình điều khiển hiệu quả và tối ưu là một yếu tố cực kỳ quan trọng và tất yếu.

## 2.2. Nguyên lý hoạt động của bộ OLTC

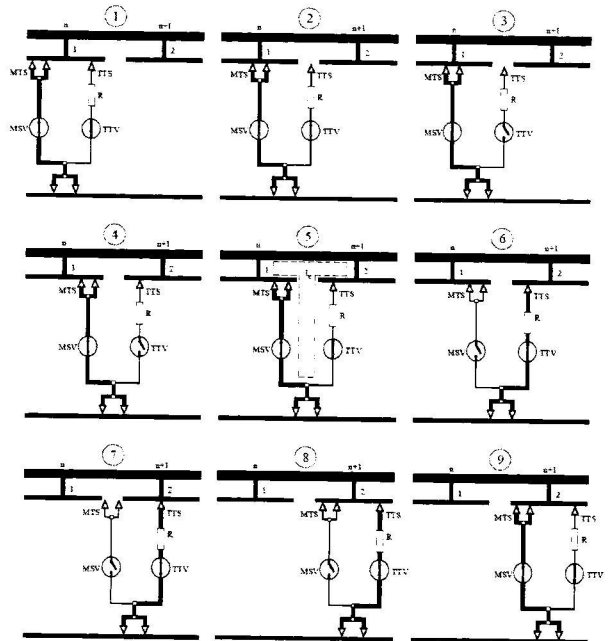
Bộ OLTC có cấu tạo phức tạp được dùng trong những máy biến áp có công suất lớn, điện áp cao (điện áp 110kV trở lên) hoặc với những máy biến áp đặc biệt có yêu cầu ổn định điện áp [5]. Bộ OLTC có thể hoạt động được ngay cả khi máy biến áp mang tải lớn, mỗi khi có dao

động điện áp phía đầu vào, bộ OLTC tự động chuyển đổi nấc phân áp của máy biến áp. Do đó, ta có thể đảm bảo điều chỉnh linh hoạt điện áp của lưới điện và tình cung cấp điện liên tục.

Bộ OLTC có thể làm việc ở 4 chế độ:

- Quay bằng tay từng nấc một.
- Bằng điện dùng nút ấn bấm chuyển từng nấc một tại chỗ.
- Bằng điện dùng nút ấn bấm chuyển từng nấc một tại phòng điều khiển từ xa.
- Đặt chế độ điều áp tự động bằng Rơ-le tự động điều chỉnh điện áp.

Quy trình chuyển 1 nấc phân áp của bộ OLTC thể hiện như Hình 2.



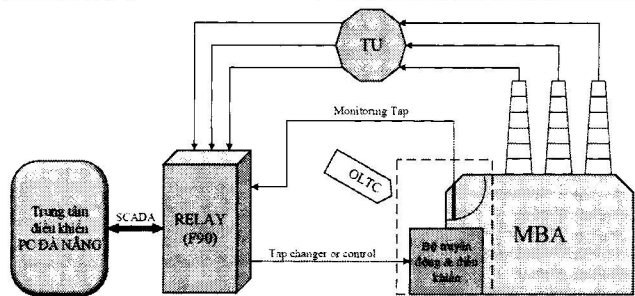
Hình 2. Quá trình chuyển nấc của bộ OLTC hãng MReia Đức, hiện đang được sử dụng tại lưới điện Đà Nẵng

❖ Chú thích hình vẽ:

- MTS: Tap-selector contact, main path.
- MSV: Main switching contact (vacuum interrupt), main path.
- TTS: Tap-selector contact, transition path.
- TTV: Transition contact (vacuum interrupt), transition path.
- R: Transition resistor.
- $I_c$ : Circulating current.

## 2.3. Nguyên lý hoạt động điều chỉnh điện áp trong lưới điện tại Thành phố Đà Nẵng

Hiện tại Điện lực Đà Nẵng đang quản lý và vận hành 9 trạm biến áp 110kV không người trực với 15 máy biến áp 110kV để cung cấp cho hệ thống lưới điện trên Thành phố Đà Nẵng. Việc thay đổi điện áp thông qua bộ điều áp dưới tải OLTC được điều khiển bởi Rơ-le SEL-751A và Rơ-le REG-DA. Rơ-le này đã kết nối về trung tâm điều khiển từ xa qua hệ thống SCADA và mô hình sau tổng quát về cách thức hoạt động của việc điều chỉnh điện áp đó.



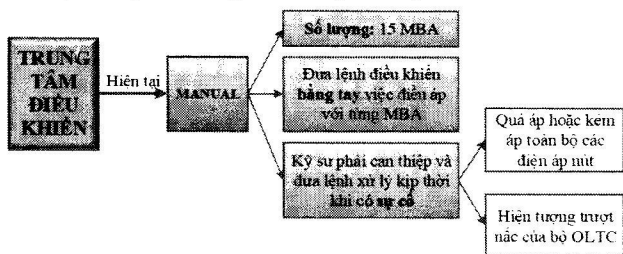
Hình 3. Nguyên lý hoạt động điều chỉnh điện áp trong lưới điện tại thành phố Đà Nẵng.

Sơ lược hoạt động của nguyên lý điều chỉnh điện áp tại hiện trường (Hình 3) có thể được hiểu như sau, ở mỗi máy biến áp, Rơ-le có nhiệm vụ đo lường giá trị điện áp thông qua TU, cũng như thu thập vị trí nấc phân áp của bộ điều áp dưới tải OLTC. Dựa vào thông số điện áp mà Rơ-le thu thập được, thông qua chức năng F90 (chức năng điều chỉnh điện áp), Rơ-le sẽ gửi tín hiệu “Tap changer or control” để điều áp. Việc tác động vào Rơ-le để điều khiển bộ OLTC được thực hiện bằng tay hoặc tự động. Khi thao tác bằng tay, người kỹ sư vận hành từ trung tâm điều khiển từ xa ra lệnh tác động đến biến điều khiển cho Rơ-le. Còn khi thực hiện tự động, dựa vào những giá trị ngưỡng trên, ngưỡng dưới đã được cài đặt trong Rơ-le theo các phiếu chỉnh định từ Trung tâm Điều độ Hệ thống Điện Miền Trung cung cấp, Rơ-le tự động gửi tín hiệu điều áp sao cho phù hợp khi xảy ra trường hợp giá trị điện áp thuộc ngoài ngưỡng cho phép.

### 3. Đề xuất giải pháp tối ưu việc giám sát điều khiển

#### 3.1. Cơ chế hoạt động của hệ thống hiện tại và hướng đến giải pháp tối ưu

Hiện tại, Trung tâm điều khiển của PC Đà Nẵng đang vận hành ở chế độ Manual đối với việc điều chỉnh điện áp. Các kỹ sư phải điều chỉnh nấc phân áp của từng bộ OLTC từ xa, đồng thời phải tác động kịp thời đến tất cả các máy biến áp trong hệ thống khi có sự cố xảy ra.



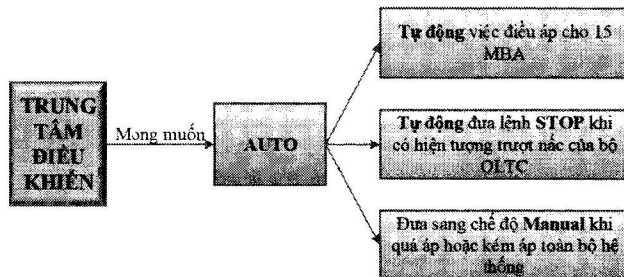
Hình 4. Cơ chế hoạt động việc điều chỉnh điện áp của hệ thống hiện tại

Như vậy, việc điều khiển và giám sát điện áp số lượng lớn các máy biến áp trên, ta cần mất nhiều thời gian và nhân lực. Cho nên điều cần thiết là phải chuyển qua chế độ điều áp tự động (Auto) để vận hành, giúp rút ngắn thời gian và giảm số lượng công việc trong quá trình vận hành. Khi việc điều chỉnh mức điện áp này chuyển sang làm việc ở chế độ Auto, nó giảm được việc giám sát của con người đến hệ thống. Hiện nay, phòng Điều độ của PC Đà Nẵng đã cài đặt chế độ Auto cho các bộ OLTC. Chế độ này dựa trên những tính toán dải điện áp điều chỉnh phù hợp với đặc tính phụ tải của từng máy biến áp, từ đó cài đặt chức năng F90 cho Rơ-le tương ứng. Tuy nhiên, PC Đà Nẵng vẫn chưa vào

vận hành tự động.

Mặc dù việc chuyển sang chế độ Auto giúp làm giảm thời gian giám sát của kỹ sư, nhưng bên cạnh đó ta cần phải có những phương án bảo vệ an toàn trong quá trình vận hành tự động. Từ đó, nhóm tác giả đã đưa ra những vấn đề cần phải chú ý, nhằm nâng cao hiệu quả vận hành an toàn hệ thống tự động điều chỉnh điện áp tự động.

Giải pháp cho vấn đề cần giải quyết được tóm lược lại như Hình 5.



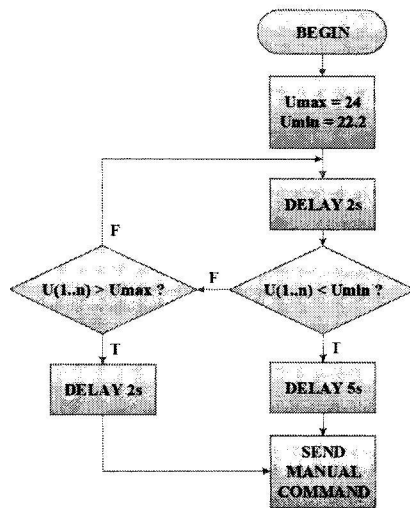
Hình 5. Đặt ra giải pháp nhằm tối ưu việc điều chỉnh điện áp của hệ thống

#### 3.2. Xây dựng thuật toán

Bài toán tối ưu gồm có 2 chức năng chính.

**Đầu tiên là**, sau khi tự động hóa vấn đề điều chỉnh điện áp tại Trung tâm điều khiển, chế độ vận hành Auto sẽ hoạt động.

Khi xảy ra hiện tượng tất cả điện áp ở các nút (tại 9 trạm biến áp 110kV, tương ứng 15 MBA) thấp hơn ngưỡng dưới của điện áp cho phép, hoặc cao hơn ngưỡng trên của điện áp cho phép, thì lúc đó ta cần phải chuyển tất cả sang chế độ Manual nhằm tránh trường hợp tất cả các bộ OLTC tự động điều áp cùng lúc và không đủ công suất phản kháng để cung cấp cho các trạm, làm giảm tuổi thọ của thiết bị và có thể gây hiện tượng sụp đổ điện áp, nguy hiểm cho hệ thống điện. Từ đó ta xây dựng thuật toán 1 giải quyết cho vấn đề này như Hình 6.

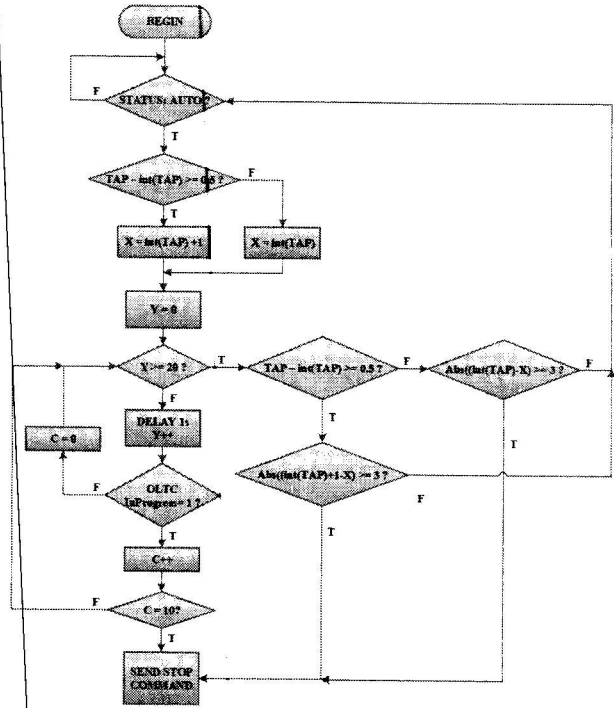


Hình 6. Thuật toán 1 với nhiệm vụ điều chỉnh chế độ Manual khi gặp sự cố toàn bộ hệ thống

**Thứ hai là**, dừng khẩn cấp hoạt động của bộ OLTC khi xảy ra hiện tượng trượt nấc phân áp. Cụ thể, ta sẽ kiểm tra cho 2 trường hợp để tránh thiếu sót khi xuất lệnh STOP can

thiệp vào hệ thống.

- **Trường hợp 1:** Thời gian để bộ OLTC nhảy xong 1 nấc khoảng 5 – 7s (tùy vào mỗi MBA có một bộ OLTC được quy định thời gian khác nhau). Khi bắt đầu quá trình nhảy nấc của bộ OLTC, biến *OLTC\_InProgress* đổi trạng thái sang *Running* và khi kết thúc quá trình nhảy nấc, biến này sẽ đổi trạng thái thành *Stopped*. Do đó, trong trường hợp không trượt nấc, trạng thái *Running* chỉ được giữ liên tục trong vòng 5 – 7s. Vì vậy, để biết hiện tượng trượt nấc, ta kiểm tra xem biến *OLTC\_InProgress* này có giữ trạng thái *Running* trong khoảng 9 – 10s hay không. Nếu có, tức là bộ OLTC đang bị trượt nấc.



Hình 7. Thuật toán 2 với nhiệm vụ kiểm tra các điều kiện để xuất lệnh STOP kịp thời

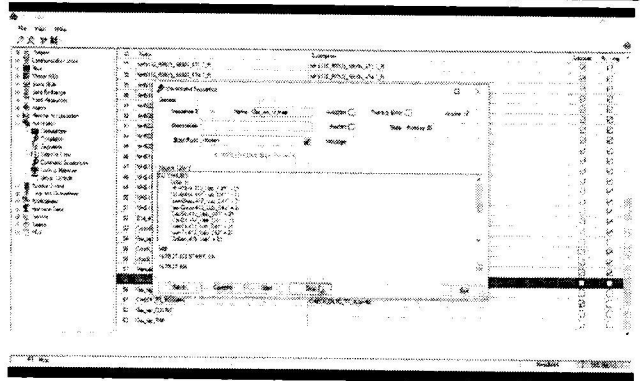
- **Trường hợp 2:** Theo Phiếu Chính định Rơ-le và thiết bị tự động của Trung tâm Điều độ Hệ thống điện miền Trung quy định: Thời gian điều áp lần 1 khi nhận thấy điện áp ngoài ngưỡng là 10s và thời gian điều áp các lần tiếp theo là 5s. Như vậy, trong vòng 20s, 1 bộ OLTC không thể nhảy quá 3 nấc. Do đó, ta chọn tần suất kiểm tra xem bộ OLTC có bị trượt quá 3 nấc hay không là 20s/lần.

Từ đó, xây dựng thuật toán 2 giải quyết cho vấn đề này như trên sơ đồ Hình 7. Thuật toán này chỉ áp dụng khi bộ OLTC đang hoạt động ở chế độ Auto, nhằm hạn chế những sự cố có thể xảy ra. Lưu ý rằng, biến trạng thái *TAP* ở SCADA là số thực, nên ta sử dụng thuật toán này để chuyển đổi sang số nguyên.

**4. Kết quả kiểm nghiệm**

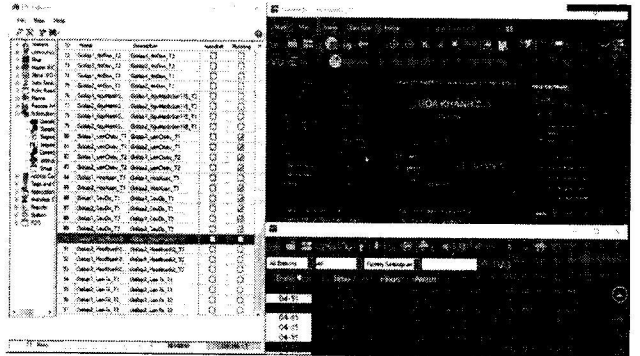
**4.1. Giả lập hệ thống với thực trạng hiện tại**

Hiện nay, PC Đà Nẵng đang sử dụng phần mềm SCADA của hãng Survalent. Nơi ta nhập chương trình điều khiển là mục Command Sequences của phần mềm SCADA Explorer. Và các tập lệnh được dùng để viết chương trình có thể tham khảo ở Manual do hãng cung cấp.



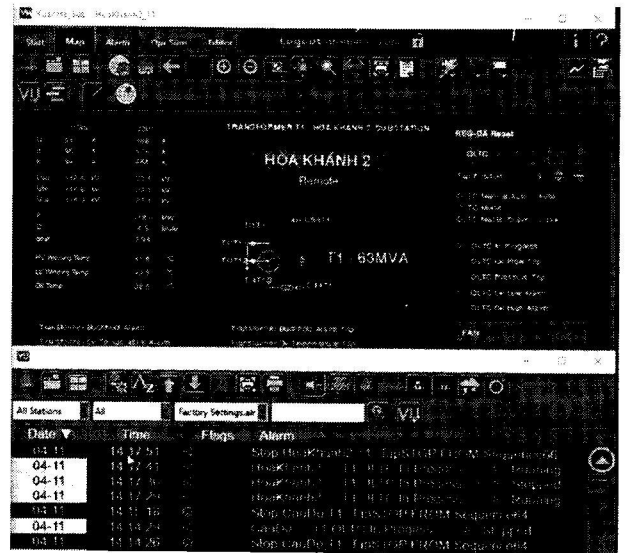
Hình 8. Giao diện của Command Sequences trong phần mềm SCADAExplorer

Dưới đây là giao diện HMI nơi kỹ sư vận hành có thể giám sát và điều khiển hệ thống lưới điện. Cụ thể, Hình 9 thể hiện giao diện HMI của máy biến áp 110kV T1 - Hòa Khánh 2. Ta thấy rằng, ở hiện tại, bộ OLTC đang hoạt động ở chế độ Manual, tức là kỹ sư vận hành thao tác bằng tay cho việc điều khiển tăng giảm nấc phân áp hoặc ra lệnh dừng hoạt động của bộ OLTC.



Hình 9. Bộ OLTC của máy biến áp 110kV – T1 Hòa Khánh 2 đang hoạt động ở chế độ Manual

**4.2. Kiểm nghiệm chương trình điều khiển đề xuất với các sự cố giả lập**



Hình 10. Kết quả kiểm nghiệm giả lập cho trường hợp 1 việc trượt nấc phân áp của bộ OLTC

Hình 10 cho thấy, bộ OLTC của máy biến áp T1 – trạm biến áp 110kV Hòa Khánh 2 đã chuyển sang hoạt động chế

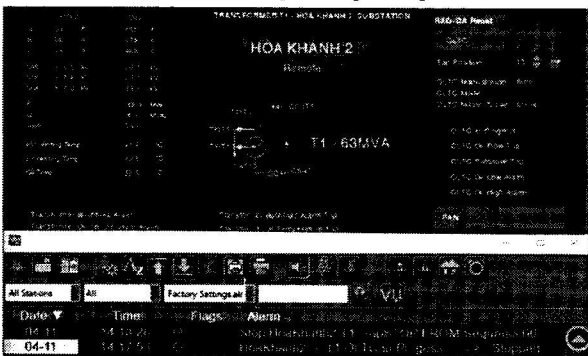
độ Auto, tự động điều chỉnh điện áp khi giá trị điện áp nút nằm ngoài ngưỡng.

Bên cạnh đó, Hình 10 còn thể hiện kết quả kiểm nghiệm giá lập cho sự cố trượt nấc phân áp. Cụ thể, trạng thái Running của biến OLTC In Progress duy trì trong 10s (từ thời điểm 14:17:41). Thời gian này nằm ngoài khoảng thời gian chuyển 1 nấc cho phép theo quy định. Như vậy, bộ OLTC của máy biến áp này đang trượt nấc, từ đó chương trình tự động xuất lệnh STOP để dừng khẩn cấp việc hoạt động của bộ OLTC.

Ở một trường hợp khác, thông thường trong khoảng thời gian 20s, bộ OLTC không thể điều áp quá 3 nấc. Vậy nên, khi ta kiểm nghiệm giá lập, sau 20s chương trình kiểm tra và tự động xuất lệnh STOP khi cần thiết để dừng khẩn cấp bộ OLTC. Ta có thể thấy, kết quả mô phỏng cho trường hợp này ở Hình 11 và Hình 12.



Hình 11. Bộ OLTC của máy biến áp T1 – trạm biến áp 110kV Hòa Khánh 2 đang ở nấc phân áp thứ 9



Hình 12. Kết quả kiểm nghiệm giá lập cho trường hợp 2 việc trượt nấc phân áp của bộ OLTC

Hình 11 cho thấy, bộ OLTC của máy biến áp T1 đang ở nấc phân áp thứ 9. Và Hình 12 thể hiện bộ OLTC này nhảy sang nấc phân áp thứ 13. Quá trình chuyển từ nấc 9 sang nấc 13 xảy ra trong khoảng thời gian 20s, vậy nên sau 20s, chương trình tự động xuất lệnh STOP để dừng hoạt động của bộ điều áp dưới tải.

## 5. Kết luận

Bài báo đã đề xuất một thuật toán bảo vệ an toàn quá trình vận hành tự động đã được đề xuất cho Công ty TNHH MTV Điện lực Đà Nẵng. Sau khi áp dụng vào chạy thực nghiệm các trường hợp giả lập, nhóm tác giả đã hoàn thiện chương trình có độ tin cậy cao. Chương trình điều khiển này giúp cho hệ thống điều chỉnh điện áp tự động 15 máy biến áp 110kV trên toàn bộ lưới điện Thành phố Đà Nẵng nhằm rút ngắn độ trễ trong quá trình thao tác và giảm số lượng công việc trong quá trình vận hành, giảm tổn thất lưới điện, nâng cao độ tin cậy và tuổi thọ của thiết bị trong hệ thống điện. Và chương trình này đã được cho phép đưa vào công tác vận hành của PC Đà Nẵng. Với thuật toán này, ta có thể mở rộng, phát triển và áp dụng vào các Điện lực khác nhằm tối ưu hiệu quả việc giám sát, vận hành bộ OLTC của các trạm biến áp.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đặng Hoài Nam, Nghiên cứu một số yếu tố ảnh hưởng đến quá trình sụp đổ điện áp trong hệ thống điện, *Luận văn Thạc sĩ Thiết bị mạng và Hệ thống Điện*, Đại học Thái Nguyên, 2010.
- [2] Đinh Thành Việt, Ngô Văn Dương, Ngô Minh Khoa, và Lê Hữu Hùng, "Xây dựng chương trình vẽ đường cong PV và xác định điểm sụp đổ điện áp trong hệ thống điện", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, số 6 (2009): 35.
- [3] Lee, Byung Ha, and Kwang Y. Lee. "A study on voltage collapse mechanism in electric power systems", *IEEE Transactions on Power Systems* 6.3 (1991): 966-974.
- [4] Thomas, Mini S., and John Douglas McDonald. *Power system SCADA and smart grids*. CRC press, 2017.
- [5] Gao, Chao, and Miles A. Redfern. "A review of voltage control techniques of networks with distributed generations using On-Load Tap Changer transformers", 45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010. IEEE, 2010.

(BBT nhận bài: 28/11/2019, hoàn tất thủ tục phản biện: 24/12/2019)