

**ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA  
KHOA ĐIỆN**



**ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP**  
**NGÀNH: KỸ THUẬT ĐIỆN**  
**CHUYÊN NGÀNH: HỆ THỐNG ĐIỆN**

**ĐỀ TÀI**

**PHÂN TÍCH VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ  
VẬN HÀNH LƯỚI ĐIỆN 22KV QUẬN SƠN TRÀ THÀNH PHỐ  
ĐÀ NẴNG KHI CÓ SỰ THAM GIA CỦA NGUỒN PHÂN TÁN**

**GV hướng dẫn : TS. Hạ Đình Trúc**  
**SV Thực hiện : Bùi Đức Thắng**  
**: Nguyễn Đình Xuân Khoa**  
**Lớp : 20D2**  
**MSSV : 105200144 - 105200130**

*Đà Nẵng, 06/2025*

## TÓM TẮT

**Tên đề tài: Phân tích và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả vận hành lưới điện 22kV quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng khi có sự tham gia của nguồn phân tán.**

Sinh viên thực hiện: Bùi Đức Thắng

Lớp: 20D2 MSSV: 105200144

Nguyễn Đình Xuân Khoa

Lớp: 20D2 MSSV: 105200130

Đề tài tập trung nghiên cứu, phân tích và đề xuất giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả vận hành lưới điện trung áp 22kV khu vực quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng trong bối cảnh ngày càng có nhiều nguồn năng lượng phân tán đặc biệt là điện mặt trời được tích hợp vào hệ thống. Với sự hỗ trợ của phần mềm PowerFactory, đề tài tiến hành mô phỏng các kịch bản vận hành thực tế như mất cân bằng công suất vào thời điểm nhiều mây, ngắn mạch trên lưới điện và giả định phát sinh phụ tải, nguồn điện mặt trời trong thời gian tới.

Thông qua phân tích các chỉ tiêu vận hành như điện áp, công suất, tổn thất và chiều dòng công suất tại các thời điểm đặc trưng trong ngày, đề tài đánh giá tác động của nguồn phân tán đến lưới điện hiện hữu. Trên cơ sở đó, một số giải pháp được đề xuất nhằm cải thiện chất lượng điện áp, giảm tổn thất, cân bằng phụ tải và tăng cường khả năng hấp thụ công suất từ nguồn phân tán. Các giải pháp như ứng dụng hệ thống lưu trữ năng lượng (BESS) tại các vị trí chiến lược. Kết quả nghiên cứu góp phần hỗ trợ đơn vị quản lý vận hành trong công tác quy hoạch và điều độ, hướng đến vận hành lưới điện thông minh, hiệu quả và bền vững.

## NHIỆM VỤ ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Họ tên sinh viên: Bùi Đức Thắng                      Lớp: 20D2                      MSSV: 105200144

Nguyễn Đình Xuân Khoa                      Lớp: 20D2                      MSSV: 105200130

Khoa: Điện                      Ngành: Kỹ thuật điện                      Chuyên ngành: Hệ thống điện

1. *Tên đề tài đồ án:*

**Phân tích và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả vận hành lưới điện 22kV Quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng khi có sự tham gia của nguồn phân tán.**

2. *Đề tài thuộc diện:*  Đề tài được giao cho nhóm sinh viên thực hiện

3. *Các số liệu và dữ liệu ban đầu:*

4. *Nội dung các phần thuyết minh và tính toán:*

Nội dung của thuyết minh bao gồm:

- Chương 1: Tổng quan về lưới điện phân phối 22kV thành phố Đà Nẵng.
- Chương 2: Phương pháp và công cụ tính toán phân tích chế độ làm việc của hệ thống điện.
- Chương 3: Tính toán, phân tích ảnh hưởng của nguồn mặt trời và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả vận hành lưới điện 22kV quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng.

5. *Các bản vẽ, đồ thị (ghi rõ các loại và kích thước bản vẽ):*

6. *Họ tên người hướng dẫn:* TS. Hạ Đình Trúc

7. *Ngày giao nhiệm vụ đồ án:* 9/3/2025

8. *Ngày hoàn thành đồ án:* 12/6/2025

Đà Nẵng, ngày 9 tháng 3 năm 2025

**Trưởng Bộ môn**

**Giảng viên hướng dẫn**

## LỜI NÓI ĐẦU

Trong bối cảnh ngành năng lượng Việt Nam đang hướng tới mục tiêu phát triển bền vững, việc khai thác và sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời, ngày càng đóng vai trò quan trọng. Cùng với xu hướng này, nhiều hệ thống điện mặt trời áp mái đã được lắp đặt và đấu nối vào lưới điện phân phối, đặc biệt tại các khu vực đô thị có tiềm năng bức xạ cao như quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng. Tuy nhiên, sự gia tăng nhanh chóng của các nguồn phân tán đặt ra nhiều thách thức trong công tác vận hành lưới điện như hiện tượng quá áp cục bộ, dao động điện áp và mất cân bằng phụ tải vào những thời điểm không ổn định của nguồn năng lượng tái tạo.

Xuất phát từ thực tiễn đó, nhóm tác giả đã lựa chọn đề tài **“Phân tích và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả vận hành lưới điện 22kV quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng khi có sự tham gia của nguồn phân tán”** với mục tiêu nghiên cứu tác động của điện mặt trời đến lưới điện trung áp và đề xuất các giải pháp kỹ thuật phù hợp nhằm đảm bảo vận hành ổn định, an toàn và hiệu quả cho hệ thống điện.

Trong quá trình thực hiện đề tài, nhóm tác giả đã ứng dụng phần mềm chuyên dụng PowerFactory để mô phỏng các kịch bản vận hành điển hình, từ đó phân tích các vấn đề thực tế và đề xuất các giải pháp như tích hợp hệ thống lưu trữ năng lượng (BESS). Hy vọng rằng kết quả nghiên cứu của đề tài sẽ đóng góp một phần nhỏ vào việc xây dựng lưới điện phân phối thông minh, hỗ trợ định hướng phát triển năng lượng sạch tại địa phương và cả nước.

## LỜI CẢM ƠN

Trước hết, chúng em xin bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến TS. Hạ Đình Trúc, giảng viên khoa Điện Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Đà Nẵng, người đã tận tình hướng dẫn, chỉ bảo và đồng hành cùng chúng em trong suốt quá trình thực hiện đề tài. Những góp ý chuyên môn và định hướng quý báu của thầy là nền tảng quan trọng giúp chúng em hoàn thiện đề án này.

Chúng em cũng xin chân thành cảm ơn quý thầy cô trong khoa Điện đã truyền đạt cho chúng em những kiến thức chuyên ngành quý giá trong suốt thời gian học tập tại trường. Đó là hành trang vững chắc giúp chúng em tiếp cận và giải quyết các vấn đề kỹ thuật thực tế một cách hiệu quả.

Cuối cùng, chúng em xin gửi lời tri ân đến gia đình và bạn bè những người luôn ở bên động viên, hỗ trợ và tiếp thêm động lực để chúng em hoàn thành tốt quá trình học tập cũng như thực hiện đề tài này.

Mặc dù đã rất nỗ lực, nhưng do thời gian và kiến thức còn hạn chế, đề tài không thể tránh khỏi những sai sót. Chúng em kính mong nhận được sự góp ý, chỉ dẫn của quý thầy cô để nội dung đề tài được hoàn thiện hơn.

Chúng em xin chân thành cảm ơn!

Đà Nẵng, ngày 12 tháng 6 năm 2025

Nhóm sinh viên thực hiện

## **CAM ĐOAN**

Nhóm tác giả xin cam đoan đề án tốt nghiệp này là kết quả của quá trình nghiên cứu của chúng tôi với sự hướng dẫn của TS. Hạ Đình Trúc. Những nhận định được nêu ra trong đề án là kết quả từ sự nghiên cứu nghiêm túc và tranh luận của chúng tôi dựa vào các cơ sở tìm kiếm, hiểu biết và nghiên cứu tài liệu tham khảo hay bản dịch khác đã được công bố. Mọi sự giúp đỡ cho việc thực hiện đề án này đã được cảm ơn và các thông tin trích dẫn đã được chỉ dẫn rõ ràng tại mục tài liệu tham khảo.

Nhóm sinh viên thực hiện

## MỤC LỤC

|  |    |
|--|----|
| <b>MỞ ĐẦU</b> .....  | 1  |
| <b>1. Mục đích thực hiện đề tài</b> .....  | 1  |
| <b>2. Mục tiêu đề tài</b> .....  | 1  |
| <b>3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu</b> .....  | 1  |
| 3.1. Phạm vi nghiên cứu.....   | 1  |
| 3.1. Đối tượng nghiên cứu.....   | 1  |
| <b>4. Cấu trúc của đồ án tốt nghiệp</b> .....  | 2  |
| <b>CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI 22KV THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG</b> .....                                       | 3  |
| <b>1.1. Khái quát chung về hệ thống điện và lưới điện phân phối</b> .....  | 3  |
| 1.1.1. Khái quát hệ thống điện quốc gia.....   | 3  |
| 1.1.2 Tổng quan về lưới điện phân phối.....  | 3  |
| 1.1.2.1 Khái niệm chung.....   | 3  |
| 1.1.2.2. Một số tiêu chí về chất lượng điện năng của lưới phân phối.....   | 4  |
| <b>1.2. Cấu trúc và các chế độ vận hành hệ thống điện Đà Nẵng</b> .....  | 4  |
| <b>1.3. Những vấn đề cần quan tâm</b> .....  | 5  |
| <b>1.4. Tổng quan về nguồn phân tán</b> .....  | 6  |
| 1.4.1. Năng lượng mặt trời.....  | 6  |
| 1.4.2. Tiềm năng phát triển năng lượng mặt trời ở thành phố Đà Nẵng.....   | 7  |
| 1.4.3 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của hệ thống điện mặt trời.....   | 8  |
| <b>1.5. Kết luận chương 1</b> .....  | 9  |
| <b>CHƯƠNG 2: PHƯƠNG PHÁP VÀ CÔNG CỤ TÍNH TOÁN PHÂN TÍCH CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN</b> .....                  | 10 |
| <b>2.1. Phương pháp phân tích tính toán lưới điện</b> .....  | 10 |
| <b>2.2. Công cụ được dùng để tính toán phân tích hệ thống điện (phần mềm DigSILENT PowerFactory)</b> .....           | 11 |
| 2.2.1. Tổng quan về phần mềm DigSILENT PowerFactory.....   | 11 |
| 2.2.2. Ứng dụng của phần mềm DigSILENT.....  | 12 |
| 2.2.3. Giao diện phần mềm DigSILENT và giới thiệu về các thanh menu trong phần mềm (Version Power Factory 15.1)..... | 12 |
| 2.2.3.1. Giao diện phần mềm DigSILENT PowerFactory.....  | 12 |
| 2.2.3.2. Khu vực chức năng trong giao diện phần mềm DigSILENT PowerFactory.....                                      | 13 |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.1.3.3. Hướng dẫn cài đặt một số thông số trong phần mềm DIgSILENT PowerFactory .....   | 16        |
| 2.2.3.4. Một số chức năng tính toán trên phần mềm PowerFactory .....   | 21        |
| <b>2.3. Kết luận chương 2 .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>CHƯƠNG 3: TÍNH TOÁN, PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA NGUỒN PHÂN TÁN VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ VẬN HÀNH LƯỚI ĐIỆN 22KV QUẬN SƠN TRÀ THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG.....</b>      | <b>28</b> |
| <b>3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng lưới điện phân phối 22kV khu vực Quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng (cụ thể là xuất tuyến 480ADO thuộc trạm biến áp An Đôn).....</b>         | <b>28</b> |
| 3.1.1. Số liệu của lưới điện 22kV (xuất tuyến 480ADO).....   | 30        |
| <b>3.2. Phân tích các chỉ tiêu vận hành ở chế độ xác lập.....</b>  | <b>33</b> |
| 3.2.1. Phân bố công suất dòng công suất tại các thời điểm.....   | 33        |
| 3.2.2. Đánh giá điện áp tại các thời điểm.....   | 34        |
| <b>3.3. Mô phỏng các kịch bản xảy ra của lưới điện 22kV quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng khi xét đến ảnh hưởng của các nhà máy điện mặt trời đến tần số và điện áp. ....</b> | <b>39</b> |
| 3.3.1. Điện áp và tần số ở chế độ vận hành bình thường .....   | 39        |
| 3.3.2. Kịch bản 1: Sự cố ngắn mạch 3 pha trên đường dây rẽ nhánh vào nhà máy điện mặt trời - nguyên nhân do các nhà máy điện mặt trời gây nên .....                        | 42        |
| 3.3.3. Kịch bản 2: Ảnh hưởng bởi mây che điện rộng trong khu vực quận Sơn Trà làm ảnh hưởng đến công suất của tất cả điện mặt trời .....                                   | 46        |
| <b>3.4. Kịch bản tăng trưởng phụ tải và phát triển thêm nguồn điện mặt trời trên lưới 22kV quận Sơn Trà trong giai đoạn (2026-2030) .....</b>                              | <b>49</b> |
| 3.4.1. Phân bố công suất và đánh giá điện áp ở kịch bản tăng trưởng phụ tải. ....  | 52        |
| 3.4.2. Xét lại trường hợp ngắn mạch tương tự kịch bản 1 tại mục 3.3.2 ở lưới hiện trạng.....   | 56        |
| 3.4.3. Vấn đề kỹ thuật phát sinh trên lưới .....   | 60        |
| <b>3.5. Giải pháp nâng cao hiệu quả vận hành về mặt kỹ thuật và về mặt kinh tế khi phụ tải và nguồn điện mặt trời tăng trưởng trong tương lai. ....</b>                    | <b>61</b> |
| 3.5.1. Hệ thống pin lưu trữ năng lượng – BESS .....  | 61        |
| 3.5.2. Vai trò của hệ thống BESS.....  | 62        |
| 3.5.3. Nguyên lý của các hình thức lưu trữ điện của BESS .....   | 63        |
| 3.5.4. Ưu điểm của hệ thống lưu trữ BESS .....   | 63        |
| 3.5.5. Một vài ứng dụng cụ thể của BESS .....  | 64        |
| 3.5.6. Mô hình thiết bị BESS áp dụng vào mô phỏng.....   | 64        |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.5.6.1. Thiết lập điều kiện vận hành ..... | 65        |
| 3.5.6.2. Hiệu quả về mặt kỹ thuật .....     | 67        |
| 3.5.6.3. Hiệu quả về mặt kinh tế .....      | 71        |
| <b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....</b>           | <b>74</b> |
| <b>TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>              | <b>75</b> |
| <b>PHỤ LỤC 1 .....</b>                      | <b>76</b> |
| <b>PHỤ LỤC 2 .....</b>                      | <b>78</b> |
| <b>PHỤ LỤC 3 .....</b>                      | <b>83</b> |
| <b>PHỤ LỤC 4 .....</b>                      | <b>84</b> |
| <b>PHỤ LỤC 5 .....</b>                      | <b>85</b> |

## DANH SÁCH HÌNH ẢNH

|   |    |
|---|----|
| <i>Hình 1.1: Bản đồ lưới điện quốc gia Việt Nam</i> .....   | 3  |
| <i>Hình 1.2: Sơ đồ cấu tạo của điện mặt trời hòa lưới</i> .....                                       | 8  |
| <i>Hình 2.1: Giao diện phần mềm DIgSILENT PowerFactory</i> .....                                      | 12 |
| <i>Hình 2.2: Thanh công cụ chính</i> .....  | 13 |
| <i>Hình 2.3: Thanh công cụ thao tác</i> .....   | 14 |
| <i>Hình 2.4: Một số biểu tượng thường dùng ở thanh công cụ vẽ</i> .....                               | 16 |
| <i>Hình 2.5: Cửa sổ báo cáo đầu ra</i> .....  | 16 |
| <i>Hình 2.6: Cài đặt thanh góp</i> .....  | 16 |
| <i>Hình 2.7: Cài đặt thông số MBA</i> .....   | 17 |
| <i>Hình 2.8: Cài đặt thông số loại đường dây</i> .....  | 18 |
| <i>Hình 2.9: Cài đặt thông số phụ tải</i> .....   | 19 |
| <i>Hình 2.10: Cài đặt thông số điện mặt trời</i> .....  | 21 |
| <i>Hình 2.11: Cửa sổ load Flow Calculation</i> .....  | 22 |
| <i>Hình 2.12: Minh họa kết quả mô phỏng phân bố công suất</i> .....                                   | 22 |
| <i>Hình 2.13: Hộp thoại Short – Circuit</i> .....   | 23 |
| <i>Hình 2.14: Cách cài đặt tính toán quá độ điện từ</i> .....   | 25 |
| <i>Hình 2.15: Hướng dẫn xuất kết quả</i> .....  | 26 |
| <i>Hình 3.1: Sơ đồ lưới điện của xuất tuyến 480ADO trên phần mềm DIgSILENT PowerFactory</i> .....     | 29 |
| <i>Hình 3.2: Công suất tải sinh hoạt trong 24h (%)</i> .....  | 31 |
| <i>Hình 3.3: Công suất tải công nghiệp trong 24h (%)</i> .....  | 31 |
| <i>Hình 3.4: Công suất phát của điện mặt trời trong 24h</i> .....                                     | 32 |
| <i>Hình 3.5: Dao động điện áp 22kV giữa 3 chế độ cực đại, cực tiểu và khi DMT phát lên lưới</i> ..... | 37 |
| <i>Hình 3.6: Dao động điện áp 22kV giữa 3 chế độ cực đại, cực tiểu và khi DMT phát lên lưới</i> ..... | 38 |
| <i>Hình 3.7: Tần số của thanh cái 22kV ở chế độ vận hành bình thường</i> .....                        | 40 |
| <i>Hình 3.8: Tần số của thanh cái 0,4kV ở chế độ vận hành bình thường</i> .....                       | 40 |
| <i>Hình 3.9: Dao động điện áp 22kV ở chế độ vận hành bình thường</i> .....                            | 41 |

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Hình 3.10: Tổng thể dao động tần số tại các Bus trong trường hợp ngắn mạch.....</i>                 | <i>43</i> |
| <i>Hình 3.11: Chi tiết dao động tần số tại các Bus trong trường hợp ngắn mạch.....</i>                 | <i>43</i> |
| <i>Hình 3.12: Dao động điện áp tại các bus trong trường hợp ngắn mạch.....</i>                         | <i>45</i> |
| <i>Hình 3.13: Dao động tần số tại các Bus trong trường hợp mây che .....</i>                           | <i>46</i> |
| <i>Hình 3.14: Chi tiết dao động tần số tại các Bus trong trường hợp mây che .....</i>                  | <i>47</i> |
| <i>Hình 3.15: Kết quả dao động điện áp của trường hợp mây che điện mặt trời .....</i>                  | <i>48</i> |
| <i>Hình 3.16: Diện tích mái Công ty thủy sản Ánh Minh .....</i>  | <i>51</i> |
| <i>Hình 3.17: Đồ thị dao động điện áp 22kV giữa 3 khung giờ sau khi phát sinh.....</i>                 | <i>53</i> |
| <i>Hình 3.18: Đồ thị dao động điện áp 0,4kV giữa 3 khung giờ sau khi phát sinh.....</i>                | <i>54</i> |
| <i>Hình 3.19: Tổng thể Kết quả dao động tần số kịch bản ngắn mạch sau khi tăng trưởng phụ tải.....</i> | <i>57</i> |
| <i>Hình 3.20: Chi tiết dao động tần số kịch bản ngắn mạch sau khi tăng trưởng phụ tải .....</i>        | <i>57</i> |
| <i>Hình 3.21: Kết quả dao động điện áp kịch bản ngắn mạch sau khi tăng trưởng phụ tải .....</i>        | <i>59</i> |
| <i>Hình 3.22: Đồ thị loading (%) của MBA 110kV An Đồn.....</i>   | <i>60</i> |
| <i>Hình 3.23: Hệ thống BESS kết nối với lưới điện.....</i>   | <i>62</i> |
| <i>Hình 3.24: SOC của pin lưu trữ trong 1 ngày.....</i>  | <i>66</i> |
| <i>Hình 3.25: Bộ điều khiển thiết bị BESS trong phần mềm DIgSILENT Power Factory .....</i>             | <i>64</i> |
| <i>Hình 3.26: Đồ thị loading (%) của MBA 110kV An Đồn sau khi lắp BESS.....</i>                        | <i>67</i> |
| <i>Hình 3.27: Đồ thị phụ tải P (MW) của xuất tuyến 480ADO trước khi lắp BESS....</i>                   | <i>68</i> |
| <i>Hình 3.28: Đồ thị phụ tải P (MW) của xuất tuyến 480ADO sau khi lắp BESS .....</i>                   | <i>69</i> |

## DANH SÁCH CÁC BẢNG

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Bảng 1.1: Số liệu về bức xạ mặt trời ở Việt Nam .....</i>                     | <i>7</i>  |
| <i>Bảng 2.1: Các biểu tượng trên thanh công cụ thao tác .....</i>                | <i>14</i> |
| <i>Bảng 3.1: Phân bố công suất ở các chế độ vận hành .....</i>                   | <i>33</i> |
| <i>Bảng 3.2: Điện áp 22kV tại các Bus ở các chế độ vận hành .....</i>            | <i>34</i> |
| <i>Bảng 3.3: Điện áp 0,4kV tại các Bus ở các chế độ vận hành .....</i>           | <i>35</i> |
| <i>Bảng 3.4: Các thời điểm mô phỏng kích bản ngắn mạch đường dây .....</i>       | <i>42</i> |
| <i>Bảng 3.5: Các thời điểm mô phỏng mây che của nhà máy điện mặt trời .....</i>  | <i>46</i> |
| <i>Bảng 3.6: Vị trí và công suất điện mặt trời phát sinh .....</i>               | <i>51</i> |
| <i>Bảng 3.7: Phân bố công suất ở các chế độ vận hành sau phát sinh .....</i>     | <i>52</i> |
| <i>Bảng 3.8: chế độ sạc xả của BESS trong các khung giờ .....</i>                | <i>66</i> |
| <i>Bảng 3.9: So sánh kết quả quá tải trước lắp BESS và sau lắp BESS .....</i>    | <i>68</i> |
| <i>Bảng 3.10: So sánh kết quả đồ thị phụ tải trước và sau khi lắp BESS .....</i> | <i>70</i> |
| <i>Bảng 3.11: Thông số kinh tế ban đầu khi đầu tư BESS .....</i>                 | <i>71</i> |
| <i>Bảng 3.12: Tính toán lợi nhuận trong 1 năm .....</i>                          | <i>73</i> |

## CÁC TỪ NGỮ VIẾT TẮT

|      |                                 |
|------|---------------------------------|
| CS   | : Công suất                     |
| AC   | : Alternating Current           |
| DC   | : Direct Current                |
| CB   | : Circuit Breaker               |
| MCCB | : Miniature Circuit Breaker     |
| RMU  | : Ring Main Unit                |
| HTĐ  | : Hệ thống điện                 |
| ĐMT  | : Điện mặt trời                 |
| AVR  | : Automatic Voltage Regulator   |
| GOV  | : Governor                      |
| PSS  | : Power System Stabilizer       |
| ĐMT  | : Điện mặt trời                 |
| BESS | : Battery Energy Storage System |
| EVN  | : Tập đoàn Điện lực Việt Nam    |
| NM   | : Ngăn Mạch                     |

## MỞ ĐẦU

### 1. Mục đích thực hiện đề tài

Trong bối cảnh hệ thống điện Việt Nam đang từng bước chuyển đổi theo hướng hiện đại, thông minh và tích hợp mạnh mẽ các nguồn năng lượng tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời áp mái, việc nghiên cứu và đề xuất các giải pháp vận hành phù hợp cho lưới điện phân phối ngày càng trở nên cấp thiết. Quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng là một khu vực phát triển nhanh cả về kinh tế, dân cư và hạ tầng năng lượng, đồng thời cũng là địa bàn có tiềm năng lớn về khai thác điện mặt trời.

Tuy nhiên, sự gia tăng nhanh chóng các nguồn phân tán, đặc biệt là điện mặt trời, nếu không được tích hợp và điều phối hợp lý sẽ gây ra nhiều vấn đề kỹ thuật cho lưới điện như: quá áp cục bộ, dao động điện áp, tổn thất công suất gia tăng, mất cân bằng phụ tải, hoặc ảnh hưởng đến chỉ tiêu ổn định và tin cậy cung cấp điện.

Do vậy, nhóm tác giả đã chọn đề tài “**Phân tích và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả vận hành lưới điện 22kV quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng khi có sự tham gia của nguồn phân tán**” để thực hiện đề tài tốt nghiệp.

Thông qua đề tài, kỳ vọng mang lại những đóng góp thiết thực trong công tác quy hoạch, đầu tư và vận hành lưới điện phân phối có tích hợp năng lượng tái tạo tại địa phương.

### 2. Mục tiêu đề tài

Đề tài được thực hiện với các mục tiêu sau:

- Phân tích hiện trạng vận hành của lưới điện trung áp 22kV khu vực quận Sơn Trà khi có sự tham gia của các nguồn mặt trời, giả định phát sinh phụ tải và điện mặt trời trong tương lai thông qua mô phỏng và tính toán trong phần mềm DIGSILENT PowerFactory.
- Đánh giá các ảnh hưởng tiêu cực có thể phát sinh từ việc khai thác nguồn điện mặt trời ảnh hưởng đến chất lượng điện năng như điện áp và tần số.
- Đề xuất các giải pháp kỹ thuật khả thi nhằm nâng cao hiệu quả vận hành lưới điện như: tích hợp hệ thống lưu trữ năng lượng (BESS)....

### 3. Phạm vi và đối tượng nghiên cứu

#### 3.1. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu phân tích lưới điện và các tác động của điện mặt trời ảnh hưởng đến tần số, điện áp của lưới điện 22kV quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng cụ thể là xuất tuyến 480ADO. Lựa chọn các thiết bị công nghệ để nâng cao độ tin cậy lưới điện.

#### 3.1. Đối tượng nghiên cứu

- Lưới điện phân phối 22kV quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng cụ thể là xuất tuyến 480ADO thuộc trạm 110kV An Đồn

- Các kịch bản về sự cố xảy ra khi vận hành lưới điện có sự tham gia của các nguồn điện mặt trời áp mái và giả định phát sinh phụ tải và điện mặt trời trong tương lai.

#### **4. Cấu trúc của đồ án tốt nghiệp**

Đề tài gồm 3 chương với những nội dung chính sau:

- Chương 1: Tổng quan về lưới điện phân phối 22kV thành phố Đà Nẵng.
- Chương 2: Phương pháp và công cụ tính toán phân tích chế độ làm việc của hệ thống điện.
- Chương 3: Tính toán, phân tích ảnh hưởng của nguồn mặt trời và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả vận hành lưới điện 22kV Quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng.

## CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ LƯỚI ĐIỆN PHÂN PHỐI 22KV THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG

### 1.1. Khái quát chung về hệ thống điện và lưới điện phân phối

#### 1.1.1. Khái quát hệ thống điện quốc gia

Hệ thống điện quốc gia Việt Nam là một tổ hợp bao gồm các nhà máy phát điện, trạm biến áp và lưới điện truyền tải, phân phối điện năng đến các khu vực tiêu thụ. Hệ thống này được chia thành ba cấp chính:

- Hệ thống truyền tải (500kV, 220kV): Truyền tải điện từ các nhà máy phát điện lớn đến các trạm biến áp trung gian.
- Hệ thống phân phối trung áp (110kV, 35kV, 22kV): Cung cấp điện từ trạm trung gian đến các khu dân cư, khu công nghiệp và khu thương mại.
- Hệ thống phân phối hạ áp (0,4kV): Phân phối điện trực tiếp đến từng hộ gia đình, văn phòng và cơ sở sản xuất nhỏ.



Hình 1.1: Bản đồ lưới điện quốc gia Việt Nam

### 1.1.2 Tổng quan về lưới điện phân phối

#### 1.1.2.1 Khái niệm chung

Lưới phân phối là một bộ phận của hệ thống điện làm nhiệm vụ phân phối điện năng từ các trạm biến áp trung gian cho các phụ tải. Lưới điện phân phối có các đặc điểm về thiết kế và vận hành khác với lưới điện truyền tải. Lưới điện phân phối phân bố trên diện rộng thường vận hành không đối xứng và có tổn thất lớn hơn. Vấn đề tổn thất trên lưới phân phối liên quan chặt chẽ đến các vấn đề kỹ thuật của lưới điện từ giai đoạn thiết kế đến giai đoạn vận hành. Do đó trên cơ sở các số liệu về tổn thất có thể đánh giá sơ bộ chất lượng vận hành của lưới điện phân phối.

### 1.1.2.2. Một số tiêu chí về chất lượng điện năng của lưới phân phối

**Tần số:** Tần số danh định trong hệ thống điện quốc gia là 50 Hz. Trong điều kiện bình thường, tần số hệ thống điện được dao động trong phạm vi  $\pm 0,2$  Hz so với tần số danh định. Trường hợp hệ thống điện chưa ổn định, tần số hệ thống điện được dao động trong phạm vi  $\pm 0,5$  Hz so với tần số danh định [10].

**Điện áp:** Các cấp điện áp danh định trong hệ thống điện phân phối. Các cấp điện áp danh định trong hệ thống điện phân phối bao gồm 110 kV, 35 kV, 22 kV, 15 kV, 10 kV, 06 kV và 0,4 kV.

Trong chế độ vận hành bình thường điện áp vận hành cho phép tại điểm đầu nối được phép dao động so với điện áp danh định như sau:

- Tại điểm đầu nối với khách hàng sử dụng điện là  $\pm 5$  %.
- Tại điểm đầu nối với nhà máy điện là  $+ 10\%$  và  $- 5$  %.

Trường hợp nhà máy điện và khách sử dụng điện đầu nối vào cùng một thanh cái trên lưới điện phân phối thì điện áp tại điểm đầu nối do Đơn vị phân phối điện quản lý vận hành lưới điện khu vực quyết định đảm bảo phù hợp với yêu cầu kỹ thuật vận hành lưới điện phân phối và đảm bảo chất lượng điện áp cho khách hàng sử dụng điện.

Trong chế độ sự cố đơn lẻ hoặc trong quá trình khôi phục vận hành ổn định sau sự cố, cho phép mức dao động điện áp tại điểm đầu nối với khách hàng sử dụng điện bị ảnh hưởng trực tiếp do sự cố trong khoảng  $+05$  % và  $-10$  % so với điện áp danh định.

Trong chế độ sự cố nghiêm trọng hệ thống điện truyền tải hoặc khôi phục sự cố, cho phép mức dao động điện áp trong khoảng  $\pm 10$  % so với điện áp danh định.

Trường hợp khách hàng sử dụng lưới điện phân phối có yêu cầu chất lượng điện áp cao hơn so với quy định tại Khoản 2 Điều này, Khách hàng sử dụng lưới điện phân phối có thể thỏa thuận với Đơn vị phân phối điện hoặc Đơn vị phân phối và bán lẻ điện [10].

## 1.2. Cấu trúc và các chế độ vận hành hệ thống điện Đà Nẵng

### 📌 Cấu trúc:

Hiện nay, hệ thống điện của Công ty Điện lực Đà Nẵng (PCĐN) đang được cấp điện từ trạm biến áp (TBA) 500 kV Đà Nẵng qua các TBA : Trạm 110 kV Liên Trì (E11) và Xuân Hà (E10) cấp điện cho khu vực quận Hải Châu và quận Thanh Khê; Trạm 110 kV Cầu Đỏ (E12), Hòa Xuân cấp điện cho khu vực quận Cẩm Lệ, huyện Hoà Vang; Trạm 220kV Ngũ Hành Sơn và 110kV An Đồn (E14), 110kV Ngũ Hành Sơn cấp điện cho khu vực quận Sơn Trà và quận Ngũ Hành Sơn; Trạm 220 kV Hoà Khánh (E9), Liên Chiểu (E1c) và Hòa Khánh 2 cấp điện cho khu vực quận Liên Chiểu, huyện Hoà Vang; Trạm 110 kV Hòa Liên cấp điện khu vực Trường Định, Hòa Bắc, Hòa Liên, Khu Công nghệ cao.

PCĐN hiện có tổng công suất đặt là 957 MVA

Ngoài ra hệ thống điện Đà Nẵng còn được cấp điện từ nhà máy điện Cầu Đỏ T10, bao gồm các máy phát Diezel công suất nhỏ với tổng công suất huy động được khoảng 16600kW gồm:

- 7 máy GM2100 công suất phát 1000kW mỗi máy.
- 10 máy SKODA860 công suất phát 600kW mỗi máy.
- 2 máy SKODA2100 công suất phát 1200kW mỗi máy.

Hiện tại toàn bộ nguồn Diezel ở tình trạng dự phòng nguội. Khi có yêu cầu bổ sung công suất, nguồn này được hòa vào hệ thống điện và tùy theo mức độ yêu cầu mà ta cho vận hành bao nhiêu tổ máy phát. Nguồn công suất này sẽ đưa lên thanh góp C1- 35 qua các máy biến áp tăng áp, cấp điện cho các xuất tuyến 371, 374, 375 và đưa về trạm biến áp 110kV Xuân Hà cấp điện cho các phụ tải quan trọng. Nguồn Diezel phát tại chỗ có các nhiệm vụ:

- Chống quá tải cục bộ khu vực.
- Dùng để cung cấp điện cho các phụ tải ưu tiên khi mất lưới điện Quốc Gia.
- Hỗ trợ khi sự cố các máy biến áp 110kV.
- Phục vụ công tác thí nghiệm định kì máy biến áp 500kV Đà Nẵng.

### Chế độ vận hành

Chế độ làm việc bình thường: Hệ thống nhận điện từ hệ thống điện Quốc Gia qua trạm biến áp 500kV Đà Nẵng (E51). Trong trường hợp thiếu công suất thì nguồn Diezel được huy động và hòa vào hệ thống điện. Mọi thao tác cấp nguồn từ lưới Quốc Gia cho hệ thống điện Đà Nẵng và việc điều động máy Diezel đều do Trung Tâm Điều Độ Miền Trung (A3) điều hành.

Chế độ làm việc khi sự cố: Khi sự cố mất điện cục bộ ở một trạm 110kV: Dùng các nguồn ở các trạm khác để hỗ trợ hoặc cần thiết có thể huy động máy Diezel để cung cấp cho các phụ tải qua MC 312, 313, 571 hoặc 572 tại nhà máy điện Cầu Đỏ.

Khi sự cố mất điện ở lưới Quốc Gia (trạm 500kV Đà Nẵng): Các cụm Diezel được phát toàn bộ hòa chung với nhau cung cấp chủ yếu cho khu vực nội thành và các phụ tải ưu tiên. Khi có điện trở lại, nguồn Diezel sẽ hòa vào hệ thống Quốc Gia tại MC 373 tại nhà máy điện Cầu Đỏ, sau đó được dự phòng toàn bộ hay một phần tùy vào yêu cầu công suất phụ tải thực tế.

### 1.3. Những vấn đề cần quan tâm

Những vấn đề đáng quan tâm của lưới điện phân phối hiện nay là tổn thất điện năng và chất lượng điện áp.

- Để đảm bảo các chỉ tiêu về điện năng và chất lượng điện áp, ngoài việc sử dụng các biện pháp tổ chức người ta còn tiến hành các biện pháp kỹ thuật để đảm bảo chỉ tiêu, thỏa mãn các yêu cầu trong giới hạn cho phép. Các biện pháp nhằm giảm tổn thất điện áp gồm:

- Nâng cao điện áp định mức. Thay đổi cấp điện áp của mạng điện đến cấp cao hơn (khi tính đến khả năng chịu đựng cách điện của chúng).
- Đặt các thiết bị điều chỉnh, các thiết bị bù. Các biện pháp này như thay đổi các máy biến áp bình thường bằng các máy biến áp điều áp dưới tải. Đặt các máy biến áp điều chỉnh, hỗ trợ nối tiếp. Đặt các tụ bù, các máy bù, các nguồn điều chỉnh công suất phản kháng, đặt các thiết bị bù điện kháng đường dây.
- Tối ưu hóa các tham số của các phần tử mạng điện từ đó dẫn đến thay thế công suất các máy biến áp của các trạm tương ứng của phụ tải trong từng giai đoạn phát triển, thay dây dẫn đường dây trên không, đặt các thiết bị đóng cắt, áp dụng những hệ thống hiện đại bảo vệ rơ le tự động điều khiển và đo lường từ xa.

#### - Định hướng phát triển trong tương lai

- Tăng cường hiện đại hóa lưới điện bằng công nghệ SCADA, FDIR để quản lý và xử lý sự cố nhanh chóng, đảm bảo vận hành ổn định.
- Mở rộng mạng lưới cáp ngầm 22kV tại các khu vực trung tâm để nâng cao độ tin cậy và giảm thiểu rủi ro do thời tiết.
- Bổ sung thêm trạm biến áp trung gian và nâng cấp đường dây nhằm giảm tải và cải thiện chất lượng điện áp ở những khu vực phát triển nhanh.
- Tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo, tận dụng điện mặt trời và điện gió để tối ưu hóa nguồn cung điện và giảm áp lực lên lưới điện truyền thống.

Nhìn chung, lưới điện 22kV tại Đà Nẵng đang ngày càng được nâng cấp theo hướng hiện đại, an toàn và bền vững. Với các giải pháp cải tiến trong tương lai, hệ thống điện thành phố sẽ đáp ứng tốt hơn nhu cầu phát triển kinh tế - xã hội, hướng đến một hạ tầng điện thông minh và thân thiện với môi trường.

### **1.4. Tổng quan về nguồn phân tán**

Nguồn điện phân tán đầu nối vào lưới điện phân phối 22kV thành phố Đà Nẵng là nguồn điện mặt trời mái nhà nên trong các phần tiếp theo nhóm tác giả chỉ tập trung giới thiệu nguồn điện này.

#### **1.4.1. Năng lượng mặt trời**

Năng lượng mặt trời là bức xạ điện - từ do mặt trời tạo ra. Đây là nguồn năng lượng tái tạo sạch nhất, dồi dào nhất có sẵn để sử dụng trên trái đất và ước tính khoảng 3,8 triệu EJ, gấp hơn 10.000 lần so với mức tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch và nhiên liệu hạt nhân tiêu thụ vào năm 2002. Năng lượng mặt trời giữ bề mặt trái đất ở nhiệt độ đủ ấm để hỗ trợ cuộc sống của con người có thể được chuyển đổi thành các dạng năng lượng hữu ích thông qua quá trình chuyển đổi nhiệt, quá trình quang điện hoặc thông qua các thiết bị thu tập trung nhiệt độ cao. Bức xạ mặt trời cũng có thể được chuyển đổi trực tiếp thành năng lượng điện thông qua việc sử dụng các tế bào quang điện. Dữ liệu trên cho thấy tốc độ phát triển của hệ thống pin năng lượng mặt trời nhanh hơn nhiều so với hệ thống sử dụng nhiệt năng mặt trời và năng lượng gió [8].

Dưới đây là bảng số liệu tiềm năng năng lượng mặt trời ở Việt Nam.

**Bảng 1.1**

Số liệu về bức xạ mặt trời ở Việt Nam

| Vùng                       | Giờ nắng trong năm | Cường độ bức xạ mặt trời (kWh/m <sup>2</sup> /ngày) | Đánh giá   |
|----------------------------|--------------------|---|------------|
| Đông Bắc                   | 1600 - 1750        | 3,3 – 4,1   | Trung bình |
| Tây Bắc                    | 1750 - 1800        | 4,1 – 4,9   | Trung bình |
| Bắc Trung Bộ               | 1700 - 2000        | 4,6 – 5,2   | Tốt        |
| Tây Nguyên và Nam Trung Bộ | 2000 - 2600        | 4,9 – 5,7   | Rất tốt    |
| Nam Bộ                     | 2200 - 2500        | 4,3 – 4,9   | Rất tốt    |
| Trung bình cả nước         | 1700 - 2500        | 4,6   | Tốt        |

Các tỉnh từ Đà Nẵng trở vào, bình quân có khoảng 2.000-2.600 giờ nắng, lượng bức xạ mặt trời tăng 20% so với các tỉnh phía Bắc. Do đó, đối với các địa phương ở Nam Trung Bộ và Nam Bộ, nguồn bức xạ mặt trời là một tài nguyên to lớn để khai thác sử dụng. Năng lượng mặt trời có thể được sử dụng để phát triển thành công ngành năng lượng mặt trời, bao gồm cả năng lượng quang điện mặt trời (PV) cũng như các ứng dụng nhiệt mặt trời (ST) cho sản xuất nhiệt nước nóng phục vụ cho mục đích thương mại, công nghiệp và dân dụng [8].

#### 1.4.2. Tiềm năng phát triển năng lượng mặt trời ở thành phố Đà Nẵng

Thành phố Đà Nẵng nằm trong vùng nhiệt đới gió mùa, có hai mùa rõ rệt là mùa mưa tính từ khoảng giữa tháng 9 đến tháng 12 hàng năm, tập trung cao nhất là vào tháng 10 và tháng 11, các tháng còn lại là mùa nắng.

Số giờ nắng hằng năm khoảng 2.600 giờ/năm, số ngày nắng trung bình khoảng 300 ngày/năm và cường độ bức xạ năng lượng mặt trời trung bình trong ngày là 5,34kWh/m<sup>2</sup>/ngày cao hơn so với các khu vực khác, ước tính khoảng 4kWh/m<sup>2</sup>/ngày.

Đây là vùng rất ít có gió bão, tần suất đổ bộ trung bình của bão thấp chỉ khoảng 1,82 cơn bão/năm so với 3,74 cơn bão/ năm của cả nước. Nhiệt độ trung bình cao hơn nhiều khu vực khác, đặc biệt là vào mùa nắng nhiệt độ ban ngày phổ biến từ 37-38°C. Độ ẩm không khí phổ biến từ 80-85%. Rất thuận lợi cho việc xây dựng các dự án nhà máy điện mặt trời.

Đồng thời, mạng lưới điện quốc gia đang vận hành ổn định từ cấp điện áp 22kV đến 110kV, khoảng cách đầu nối từ các dự án năng lượng mặt trời đến các trạm 110kV tại khu vực khá thuận lợi, nhất là lưới điện trung thế khu vực này đã hội đủ tiêu chuẩn kỹ thuật, sẵn sàng truyền tải công suất đến hộ tiêu thụ hoặc truyền ngược công suất lên lưới truyền tải thông qua các trạm 110kV tại đây [8].

- Từ các dữ liệu trên cho thấy, TP Đà Nẵng là khu vực có điều kiện rất thuận lợi để phát triển điện mặt trời mái nhà.

### 1.4.3 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động của hệ thống điện mặt trời

Điện mặt trời hoạt động theo nguyên lý biến đổi từ quang năng thành điện năng thông qua các tấm pin năng lượng mặt trời. Các hệ thống điện mặt trời hiện nay đều hoạt động theo nguyên lý này tuy nhiên mỗi hệ thống lại có 1 số điểm khác biệt nhỏ trong cách hoạt động, cấu tạo và lắp đặt.

#### + Sơ đồ và nguyên lý điện mặt trời hòa lưới

Điện mặt trời hòa lưới là hệ thống hoạt động kết hợp giữa điện năng lượng mặt trời và điện lưới quốc gia. Trong đó điện lưới quốc gia đóng vai trò là nơi lưu trữ.

Sơ đồ hệ thống điện mặt trời hòa lưới như sau:



Hình 1.2: Sơ đồ cấu tạo của điện mặt trời hòa lưới

Dựa vào sơ đồ, chúng ta nhận thấy các thiết bị cần có của hệ thống bao gồm:

- Tấm pin năng lượng mặt trời.
- Inverter hòa lưới.
- Hệ thống giám sát từ xa qua internet, smartphone.
- Hệ thống khung đỡ, hệ thống cắt sét lan truyền và tiếp địa, cáp điện và các vật tư, phụ kiện trong hệ thống.
- Đồng hồ đo số điện 2 chiều.

#### + Điện mặt trời hòa lưới hoạt động theo nguyên lý:

Khi có ánh sáng mặt trời, tấm pin năng lượng sẽ chuyển đổi ánh sáng mặt trời thành dòng điện một chiều. Dòng điện này sẽ được chuyển thành điện xoay chiều khi đi qua bộ Inverter hòa lưới. Nguồn điện xoay chiều sẽ được kết nối trực tiếp với tủ điện chính, hòa cùng mạng lưới điện quốc gia để cung cấp nguồn điện song song.

Hệ thống không có acquy/pin lưu trữ nên trong trường hợp mất điện thì inverter sẽ nhanh chóng ngắt kết nối với lưới điện. Hệ thống pin năng lượng mặt trời không tạo ra điện năng để đảm bảo an toàn cho nhân viên sửa chữa và người sử dụng.

+ Ưu điểm:

- Tiết kiệm chi phí: Do không cần acquy/pin lưu trữ nên khách hàng sẽ tiết kiệm được rất nhiều chi phí đầu tư, không cần thay thế hay sửa chữa, bảo trì acquy.
- Điện mặt trời luôn được ưu tiên sử dụng trước: ĐMT tạo ra sẽ được sử dụng tại các thiết bị điện trước tiên, nếu không dùng hết thì được đẩy lên lưới điện.

+ Nhược điểm:

- Chỉ sử dụng vào ban ngày khi có ánh sáng mặt trời, vào buổi tối hệ thống không sử dụng được.
- Không thể hoạt động tách rời điện lưới quốc gia nên khi mất điện thì không cung cấp điện năng được.
- Kết luận: Điện mặt trời hòa lưới được tạo ra sẽ được sử dụng ngay tại thời điểm đó, lượng điện dư sẽ được đẩy lên điện lưới quốc gia. Thích hợp sử dụng tại các khu vực có hạ tầng điện lưới ổn định như thành phố, khu vực đồng bằng.

### **1.5. Kết luận chương 1**

Chương này đã trình bày tổng quan về hệ thống điện và hệ thống lưới điện phân phối 22kV thành phố Đà Nẵng từ những giả thiết trên ta thấy lưới điện 22kV tại Đà Nẵng đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo nguồn điện ổn định và liên tục cho các khu dân cư, trung tâm thương mại, khu công nghiệp và hạ tầng công cộng.

Đồng thời giới thiệu về nguồn phân tán cấu tạo và nguyên lý hoạt động cơ bản của hệ thống điện mặt trời. Những nội dung này sẽ là cơ sở cho các chương tiếp theo trong việc xây dựng mô hình, mô phỏng và đánh giá hiệu quả vận hành lưới điện 22kV khi có sự tham gia của nguồn điện mặt trời.

## CHƯƠNG 2: PHƯƠNG PHÁP VÀ CÔNG CỤ TÍNH TOÁN PHÂN TÍCH CHẾ ĐỘ LÀM VIỆC CỦA HỆ THỐNG ĐIỆN

### 2.1. Phương pháp phân tích tính toán lưới điện

Để phân tích tính toán chế độ làm việc của lưới điện 22kV quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng khi có sự tham gia của nguồn phân tán (chủ yếu là điện mặt trời), nhóm tác giả đưa ra những phương pháp nghiên cứu và phân tích đề tài như sau:

#### ✚ Phương pháp nghiên cứu về lý thuyết

- Tìm hiểu về lưới điện thành phố Đà Nẵng.
- Tìm hiểu về cấu trúc cơ bản của điện mặt trời ảnh hưởng đến lưới điện.
- Đọc và tìm hiểu các tài liệu tham khảo liên quan đến đề tài.

#### ✚ Phương pháp thu thập và xử lý số liệu

- Thu thập sơ đồ lưới điện hiện trạng, thông số các phần tử (MBA, đường dây, phụ tải, nguồn phân tán...).
- Tổng hợp dữ liệu công suất phụ tải theo thời gian thực (giờ cao điểm, bình thường, thấp điểm).
- Dữ liệu bức xạ mặt trời và công suất phát của hệ thống điện mặt trời từ thực tế hoặc giả định.

#### ✚ Phương pháp mô phỏng bằng phần mềm chuyên dụng

Hiện nay có nhiều phần mềm chuyên dụng được sử dụng để mô phỏng và phân tích lưới điện như ETAP, PSS/E, PSCAD, Matlab/Simulink, DIgSILENT PowerFactory... Tuy nhiên, trong đề tài này phần mềm DIgSILENT PowerFactory được nhóm tác giả lựa chọn do khả năng mô phỏng linh hoạt, độ chính xác cao và được ứng dụng rộng rãi trong phân tích hệ thống điện, đặc biệt là trong mô hình hóa lưới điện phân phối và các nguồn năng lượng phân tán.

Sau khi lựa chọn được phần mềm nhóm tác giả tiến hành phương pháp nghiên cứu thực nghiệm trên phần mềm:

- Xây dựng sơ đồ lưới điện 22kV cụ thể xuất tuyến 480ADO thuộc trạm 110kV An Đồn bằng phần mềm DIgSILENT PowerFactory.
- Sau đó nhập các thông số thực tế cho các phần tử trên lưới điện
- Thiết lập các kịch bản mô phỏng, bao gồm:
  - Kịch bản ngắn mạch do điện mặt trời phát cực đại gây nên.
  - Kịch bản mây che bất ngờ gây sụt giảm công suất điện mặt trời.
  - Kịch bản tăng trưởng phụ tải và điện mặt trời trong tương lai

#### ✚ Phương pháp phân tích phân bố công suất

Có rất nhiều thuật toán được đề xuất để tính toán phân bố công suất, trong đó phương pháp lặp Gauss – Seidel và phương pháp lặp Newton – Raphson [2] được sử dụng rộng rãi với nhiều ưu điểm có thể kể đến như:

- Phương pháp Gauss–Seidel có ưu điểm nổi bật là cách tiếp cận đơn giản, dễ lập trình và không yêu cầu bộ nhớ lớn do chỉ cần lưu trữ ma trận hệ số nhỏ. Phương pháp này thường phù hợp với các hệ thống nhỏ hoặc yêu cầu độ chính xác không

quá cao. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp là tốc độ hội tụ chậm, đặc biệt khi hệ thống có điều kiện vận hành phức tạp hoặc ma trận hệ số có tính điều kiện kém. Ngoài ra, độ chính xác giảm đáng kể khi áp dụng cho các hệ thống điện lớn.

- Ngược lại, phương pháp Newton–Raphson sử dụng khai triển chuỗi Taylor bậc nhất và giải hệ phương trình tuyến tính tại mỗi bước lặp, nhờ đó đạt được tốc độ hội tụ nhanh và độ chính xác cao ngay cả đối với các hệ thống điện lớn. Phương pháp này có thể hội tụ sau vài vòng lặp nếu chọn giá trị khởi đầu phù hợp. Tuy nhiên, nhược điểm là đòi hỏi lập trình phức tạp hơn.

Với phần mềm DIgSILENT PowerFactory khi thực hiện bài toán phân bố công suất sẽ sử dụng phương pháp lặp Newton – Raphson để tính toán đây cũng là phương pháp được sử dụng trong đề tài này và từ đó phân tích được các chỉ tiêu sau:

- Phân tích các chỉ tiêu vận hành kỹ thuật như: điện áp tại các nút, tổn thất công suất, mức độ quá tải thiết bị, chất lượng điện áp...
- So sánh giữa các kịch bản để đánh giá mức độ ảnh hưởng của nguồn phân tán đến vận hành lưới điện.

#### **Phương pháp đề xuất giải pháp kỹ thuật**

Trên cơ sở kết quả mô phỏng, nhóm tác giả đề xuất các giải pháp kỹ thuật nhằm nâng cao hiệu quả vận hành:

- Bố trí BESS và thiết lập điều kiện vận hành phù hợp về công suất và thời gian sạc/xả để đạt hiệu về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế cho lưới điện.

## **2.2. Công cụ được dùng để tính toán phân tích hệ thống điện (phần mềm DigSILENT PowerFactory)**

### **2.2.1. Tổng quan về phần mềm DigSILENT PowerFactory**

Chương trình tính toán DIgSILENT Power Factory được xây dựng và phát triển bởi DIgSILENT là một công cụ kỹ thuật hỗ trợ máy tính để phân tích truyền tải, phân phối điện của hệ thống điện. Nó được thiết kế như một gói phần mềm tích hợp và tương tác tiên tiến dành riêng cho hệ thống điện và phân tích điều khiển nhằm đạt được các mục tiêu chính của việc lập kế hoạch và vận hành tối ưu hóa.

“DIgSILENT” là một từ viết tắt của DIgital SIMuLation of Electrical NeTworks. PowerFactory phiên bản 15 là phần mềm phân tích hệ thống điện với giao diện đơn sơ đồ họa tích hợp. Nó bao gồm các chức năng vẽ, khả năng chỉnh sửa và tất cả các tính năng tính toán tĩnh và động có liên quan.

PowerFactory được thiết kế và phát triển bởi các kỹ sư và lập trình viên có trình độ với nhiều năm kinh nghiệm trong cả lĩnh vực phân tích và lập trình hệ thống điện. Tính chính xác và hợp lệ của các kết quả thu được với PowerFactory đã được xác nhận trong một số lượng lớn các triển khai, bởi các tổ chức liên quan đến việc lập kế hoạch và vận hành các hệ thống điện trên toàn thế giới [1].

## 2.2.2. Ứng dụng của phần mềm DigSILENT

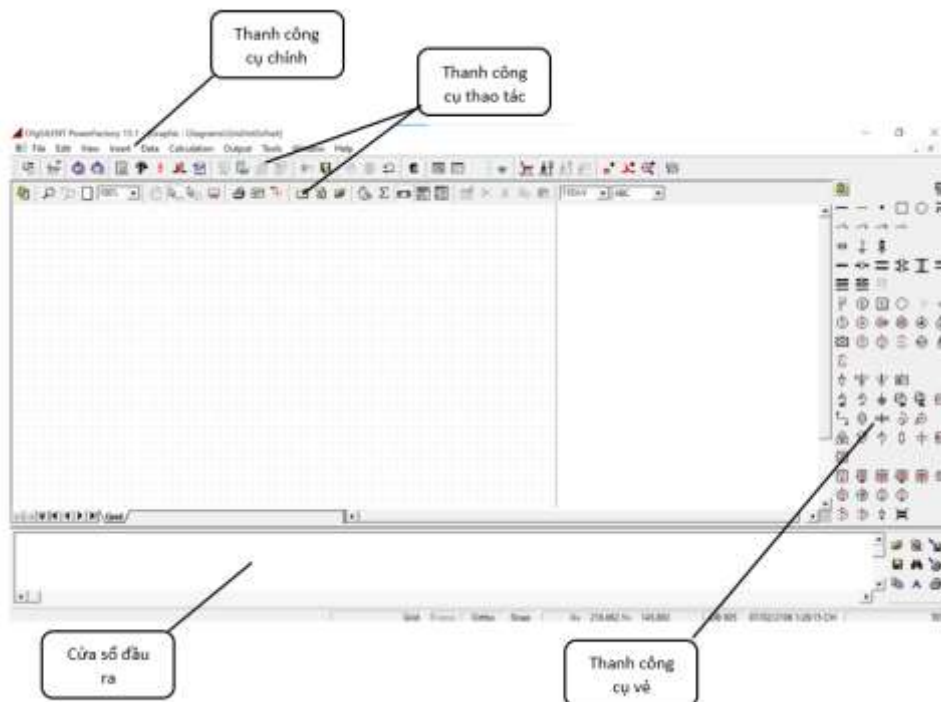
Để giải quyết các yêu cầu phân tích hệ thống điện của người dùng, PowerFactory được thiết kế như một công cụ kỹ thuật tích hợp để cung cấp một bộ toàn diện các chức năng phân tích hệ thống điện trong một chương trình thực thi duy nhất. Các tính năng chính bao gồm:

- Các chức năng cốt lõi của PowerFactory: Định nghĩa, sửa đổi và thiết lập các trường hợp, ghi nhớ các thao tác, dữ liệu các hàm số đầu ra.
- Tích hợp xử lý đồ họa đơn sợi và xử lý dữ liệu trong từng trường hợp.
- Phân tử hệ thống điện và trường hợp dữ liệu cơ sở.
- Các hàm tính toán tích hợp (ví dụ: Tính toán tham số dòng và máy dựa trên thông tin hình học hoặc bảng tên).
- Cấu hình mạng hệ thống điện với truy cập SCADA tương tác hoặc trực tuyến.
- Giao diện chung cho các hệ thống bản vẽ dựa trên máy tính.

Sử dụng một cơ sở dữ liệu, với dữ liệu cần thiết cho tất cả các thiết bị trong hệ thống điện (ví dụ: Dữ liệu đường truyền, dữ liệu máy phát, dữ liệu bảo vệ, dữ liệu sóng hài, dữ liệu điều khiển), có nghĩa là PowerFactory có thể dễ dàng thực hiện tất cả các chức năng mô phỏng nguồn trong một hoàn cảnh chương trình duy nhất - các chức năng như tính toán phân bố công suất, tính toán ngắn mạch, phân tích sóng hài, phối hợp bảo vệ, tính toán ổn định và phân tích phương thức.

## 2.2.3. Giao diện phần mềm DigSILENT và giới thiệu về các thanh menu trong phần mềm (Version Power Factory 15.1)

### 2.2.3.1. Giao diện phần mềm DigSILENT PowerFactory



Hình 2.1. Giao diện phần mềm DigSILENT PowerFactory.

### 2.2.3.2. Khu vực chức năng trong giao diện phần mềm DIgSILENT PowerFactory

Trên giao diện làm việc của phần mềm có một số khu vực chức năng như sau:

#### a) Thanh công cụ chính

Đây là thanh công cụ nằm ở góc trên bên trái của cửa sổ màn hình, chứa đầy đủ các chức năng của phần mềm.



Hình 2.2: Thanh công cụ chính

Có tổng 10 tab làm việc chính bao gồm:

- File: Gồm các lệnh như: Tạo lập New Project, khởi động hay đóng một Project, khởi động hay đóng một Study Case, xuất và nhập dữ liệu liên quan, lưu lại một Project, In một Project với dữ liệu đồ họa đơn dòng và đăng xuất phần mềm.
- Edit: Chứa các chức năng chỉnh sửa như: Undo, Project Data, Single Line Graphic,...
- View: Bao gồm các lệnh như: Phóng to hay thu nhỏ bản vẽ, điều chỉnh khổ giấy vẽ, điều chỉnh phong màu, cài đặt các phương thức trình bày kết quả trên các khối Block của đồ họa Single Line,...
- Insert: Bao gồm các công cụ như: Study Case (cài đặt cái thông số hiện thị theo đơn vị tuyệt đối ) và các thống số cài đặt cho Project như: Grid, Single Line Diagram, Geographic Diagram,...
- Data: Bao gồm các dữ liệu đã cài đặt hay thực hiện trên phần mềm DIgSILENT như: Các Project, các Study Case, các Grid,...
- Calculation: Bao gồm các phương thức tính toán như: Tính toán trào lưu công suất (Load Flow), phân tích dự phòng (Contingency Analysis), tính toán ngắn mạch (ShortCircuit), tính toán sóng hài chất lượng điện (Harmonics/ Power Quality), tính toán kinh tế kỹ thuật, tính toán vị trí lắp tụ điện tối ưu, tính toán phục hồi cấp điện tối ưu, tính toán trào lưu công suất tối ưu (Optimal Power Flow),...
- Output: Bao gồm các công cụ với chức năng xuất các kết quả tính toán của các phép tính toán trong mục Calculation.
- Tool: Bao Gồm các công cụ sau: Xác minh dữ liệu, kiểm tra cấu trúc liên kết, thực thi tập lệnh, so sánh và hợp nhất công cụ, vẽ các yếu tố hiện có, cập nhật cơ sở dữ liệu,...
- Window: Bao gồm các công cụ sau: Sắp xếp biểu tượng, sắp xếp các cửa sổ hiển thị, tối ưu hóa cửa sổ đồ họa, tối ưu hóa cửa sổ đầu ra, lưu cài đặt cửa sổ, tải cài đặt cửa sổ,...
- Help: Bao gồm các công cụ sau: Hướng dẫn sử dụng, tài liệu tham khảo kỹ thuật, giới thiệu thông tin về phần mềm,...

## b) Thanh công cụ thao tác

Ngay phía dưới các tab chính trên thì còn có các biểu tượng để chúng ta có thể thao tác một cách dễ dàng và nhanh nhất.



















Hình 2.3. Thanh công cụ thao tác

Dưới đây là bảng chức năng của từng biểu tượng:

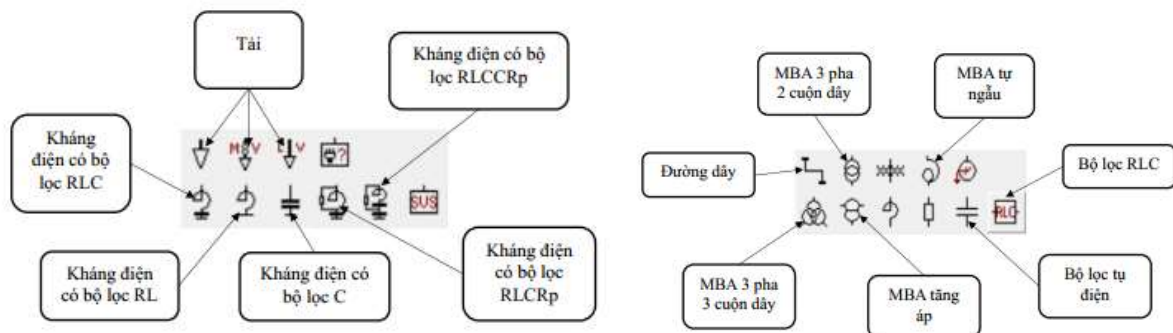
**Bảng 2.1**  
Các biểu tượng trên thanh công cụ thao tác

|  |                                       |   |
|--|---------------------------------------|---|
|  | Open data manager:                    | Quản lý dữ liệu                             |
|  | Edit relevant Objects for Caculation: | Chỉnh sửa các đối tượng trong tính toán     |
|  | Date/time of study case:              | Thời gian nghiên cứu trường hợp             |
|  | Trigger of study case:                | Kích hoạt trường hợp nghiên cứu             |
|  | Data verification:                    | Xác minh dữ liệu                            |
|  | Calculation load flow:                | Tính toán trào lưu công suất                |
|  | Calculation Short- Circuit:           | Tính toán ngắn mạch                         |
|  | Edit Short- Circuit:                  | Chỉnh sửa ngắn mạch                         |
|  | Execute Script:                       | Thực thi tập lệnh                           |
|  | Output Calculation Analysis:          | Phân tích tính toán đầu ra                  |
|  | Documentation of Device Data:         | Tài liệu về dữ liệu thiết bị                |
|  | Comparing of Result on/off:           | So sánh kết quả                             |
|  | Edit comparing of result:             | Chỉnh sửa so sánh kết quả                   |
|  | Update Database:                      | Cập nhật cơ sở dữ liệu                      |
|  | Break:                                | Tạm nghỉ                                    |
|  | Reset Calculation:                    | Đặt lại tất cả tính toán về dữ liệu ban đầu |
|  | Undo:                                 | Quay lại thao tác                           |
|  | User Seting:                          | Người sử dụng cài đặt                       |
|  | Maximize Graphic Window:              | Tối ưu hóa cửa sổ đồ họa                    |

|   |                          |                            |
|---|--------------------------|----------------------------|
|    | Maximize Output Window:  | Tối ưu hóa cửa sổ đầu ra   |
|    | Change Toolbox:          | Lựa chọn các công cụ       |
|    | Freeze Mode:             | Chế độ đóng băng           |
|    | Zoom:                    | Thu phóng đồ họa           |
|    | Zoom All:                | Thu phóng toàn bản vẽ      |
|    | Print:                   | In đồ thị Single Line      |
|    | Drawing format:          | Định dạng bản vẽ           |
|    | Graphic Options:         | Tùy chọn đồ họa            |
|    | Rebuild:                 | Tái tạo lại các công trình |
|    | Insert New Graphic:      | Chèn đồ họa mới            |
|    | Insert Existing Graphic: | Chèn đồ họa hiện có        |
|   | Diagram Colouring:       | Sơ đồ tô màu               |
|  | Graphic Layers:          | Lớp đồ họa                 |
|  | Show Title Block:        | Hiển thị khối tiêu đề      |
|  | Show Legend Block:       | Hiển thị khối ghi chú      |
|  | Colour Legend Block:     | Hiển thị khối màu ghi chú  |

### c) Khung chọn biểu tượng thiết bị

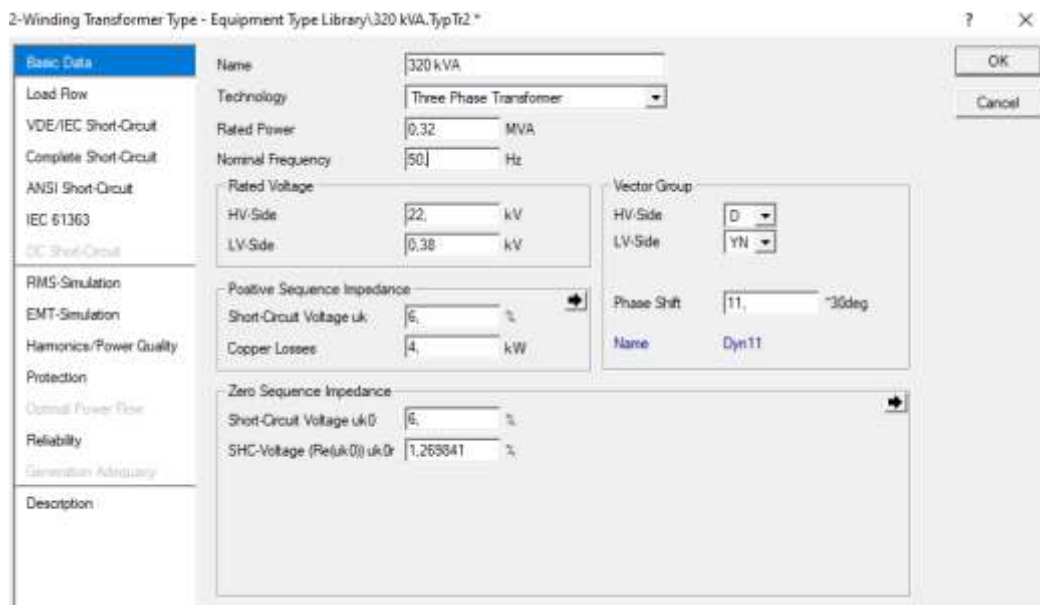
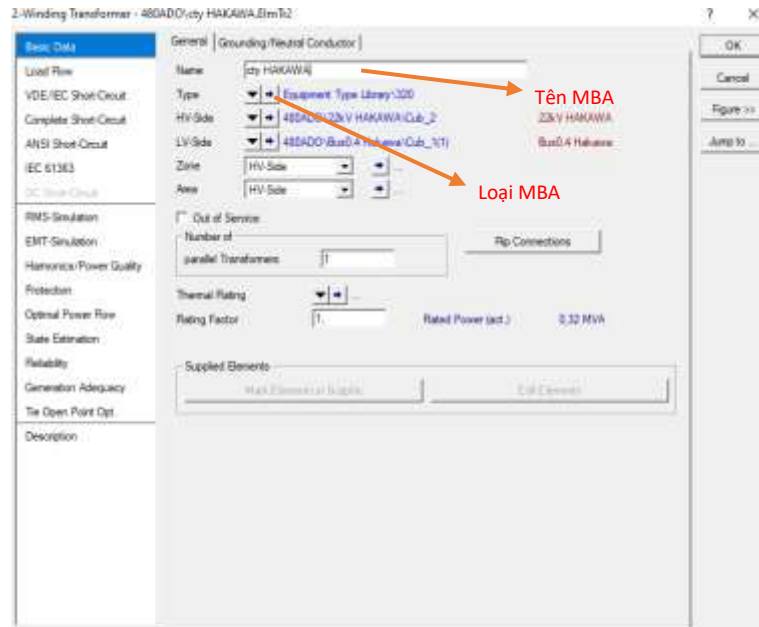
Ở phía bên phải của màn hình làm việc sẽ có một khung chứa các biểu tượng thiết bị cần thiết khi ta vẽ sơ đồ hệ thống điện. Trong khung này được phân chia thành các loại cụ thể như:





## b) Cài đặt máy biến áp

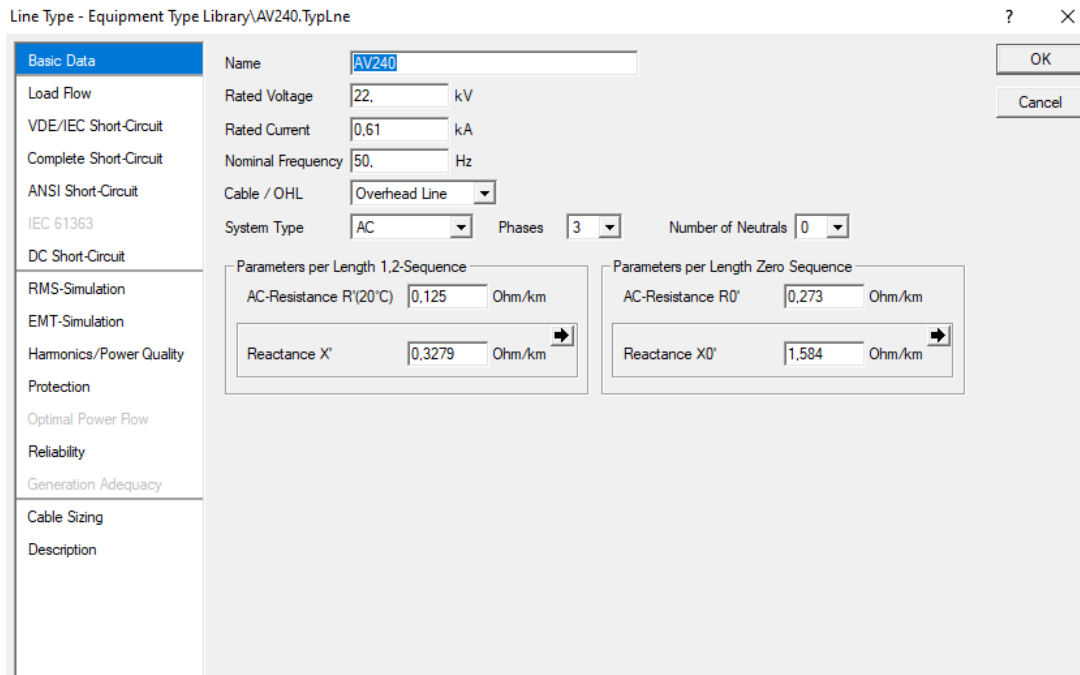
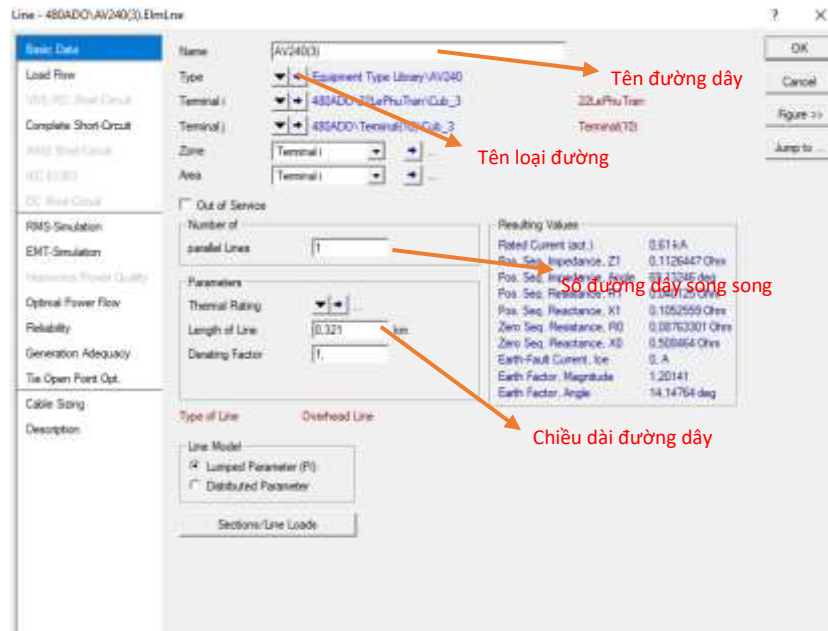
- Trước tiên chọn máy biến áp trên thanh công cụ
- Cài đặt máy biến áp: Tương tự như cài đặt máy phát ta cũng có đặt tên (Name), chọn loại (Type). Khi cài đặt mới máy biến áp (New Project Type) ta cài đặt các thông số như: công suất máy biến áp, điện áp các phía.



Hình 2.7: Cài đặt thông số MBA

## c) Cài đặt đường dây

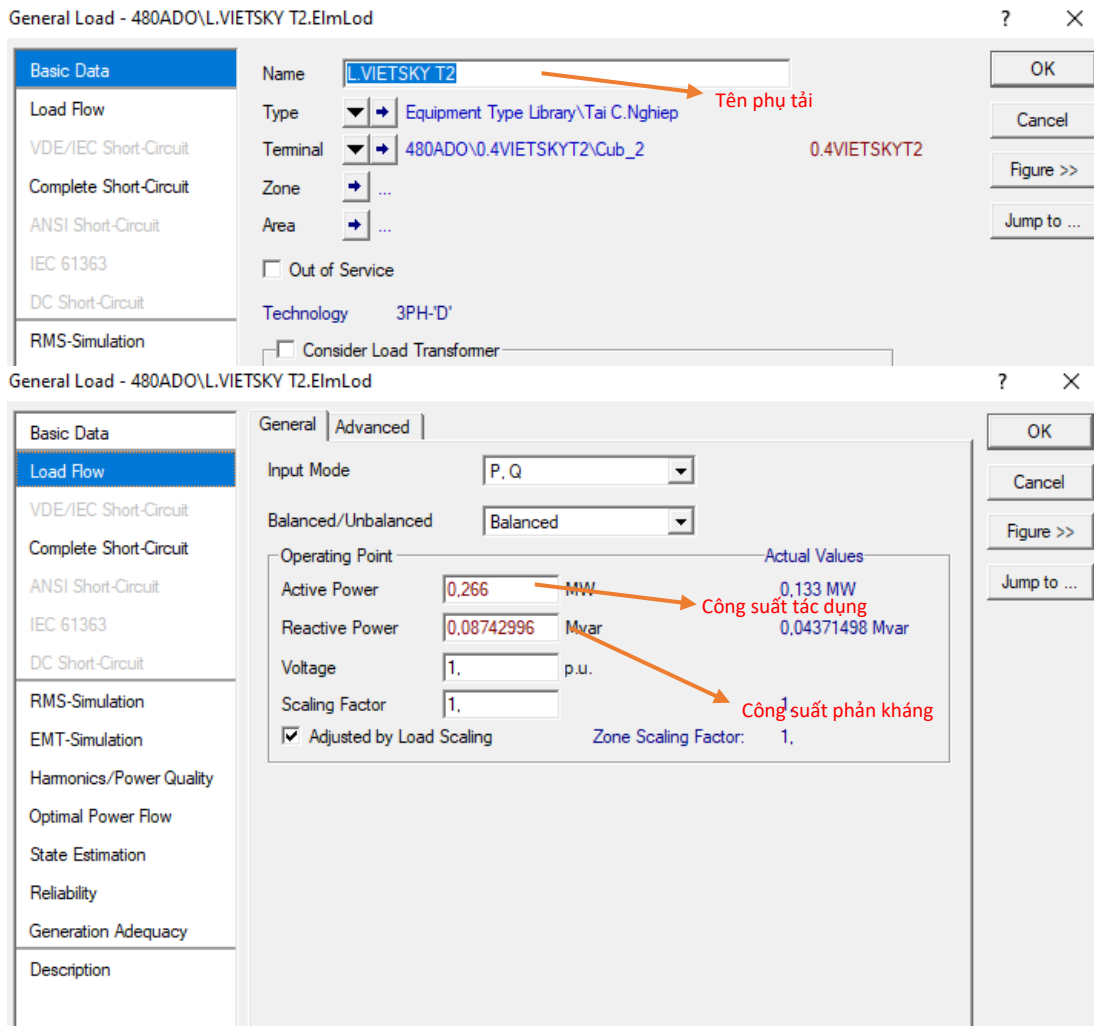
- Trước tiên ta chọn biểu tượng đường dây trên thanh công cụ
- Cài đặt đường dây: Sau khi vẽ được đường dây thì click đúp vào đường dây, sẽ xuất hiện hộp thoại và ta cài đặt các thông số: tên đường dây, loại đường dây, số đường dây song song, chiều dài, điện áp.



Hình 2.8: Cài đặt thông số loại đường dây

#### d) Cài đặt thông số phụ tải

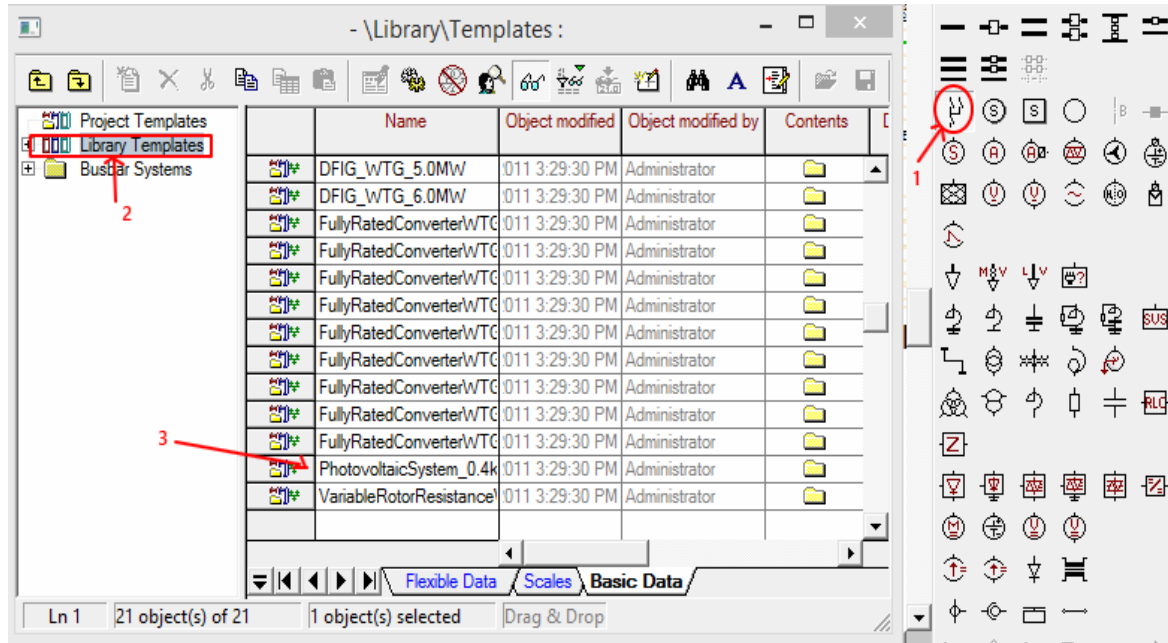
- Trước tiên ta chọn biểu tượng phụ tải trên thanh công cụ
- Cài đặt phụ tải: Để cài đặt phụ tải, trước tiên ta chọn biểu tượng phụ tải để vẽ lên lưới, sau đó click đúp và biểu tượng đã vẽ và tiến hành cài đặt các thông số như hình dưới:



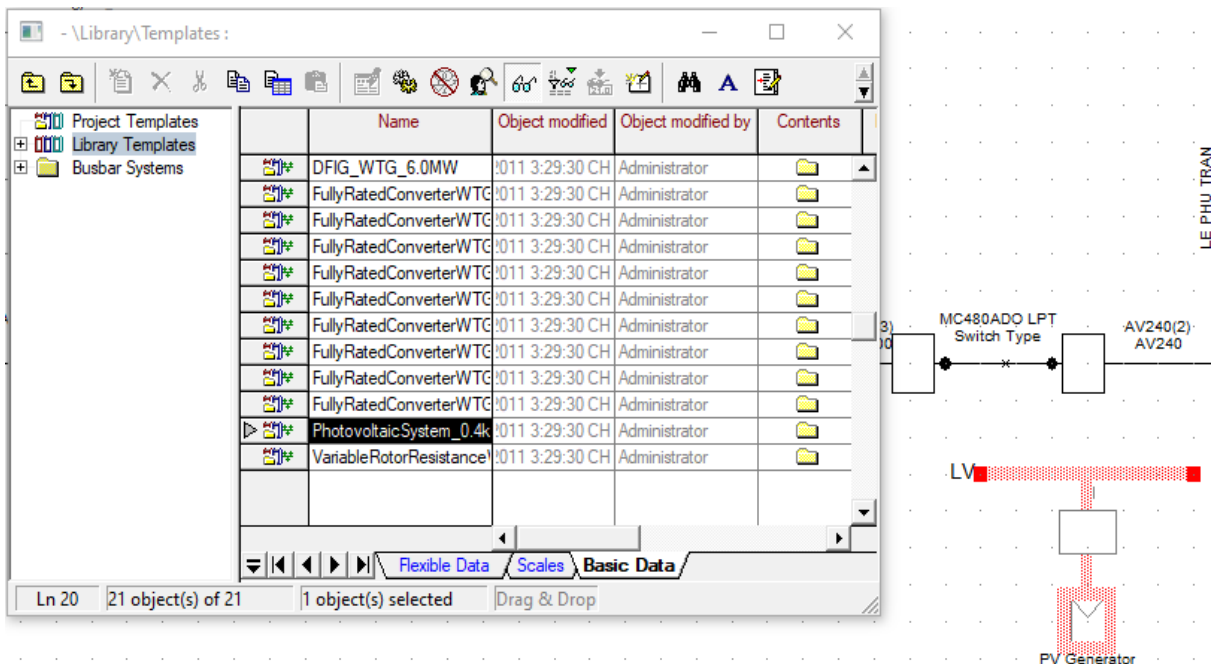
Hình 2.9: Cài đặt thông số phụ tải

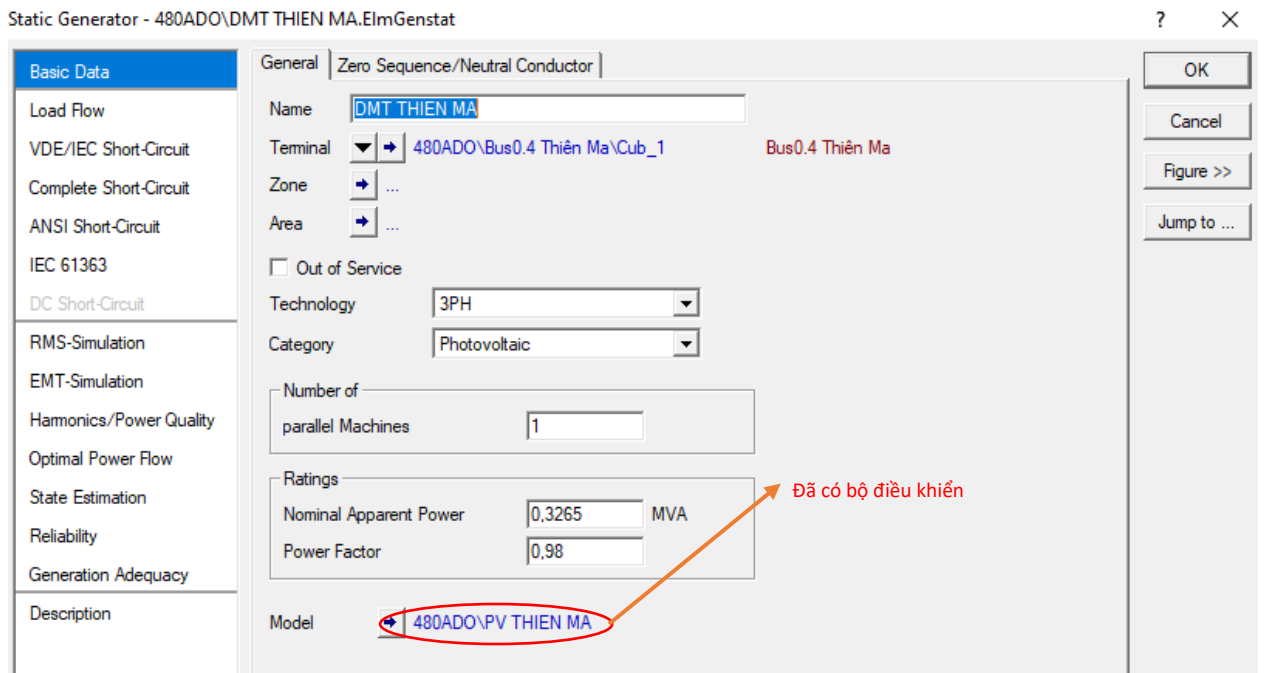
### e) Cài đặt thông số máy phát (ví dụ cài đặt cho nhà máy điện mặt trời)

Để cài đặt bộ điều khiển cho nhà máy điện mặt trời, ta sẽ sử dụng các mẫu nhà máy điện mặt trời có sẵn của phần mềm sau đó ta chỉnh sửa lại các thông số như: công suất định mức, hệ số công suất, cấp điện áp... cho phù hợp với nhà máy mình đang mô phỏng. Các bước tiếp theo sau đây sẽ thực hiện với nhà máy điện mặt trời.



Ta thực hiện theo các bước như hình trên, sau khi click chọn nhà máy điện mặt trời ta đưa con trỏ chuột ra màn hình vẽ lưới và click đơn vào chỗ trống trên lưới thì ta sẽ có được như hình dưới đây.






Hình 2.10: Cài đặt thông số điện mặt trời

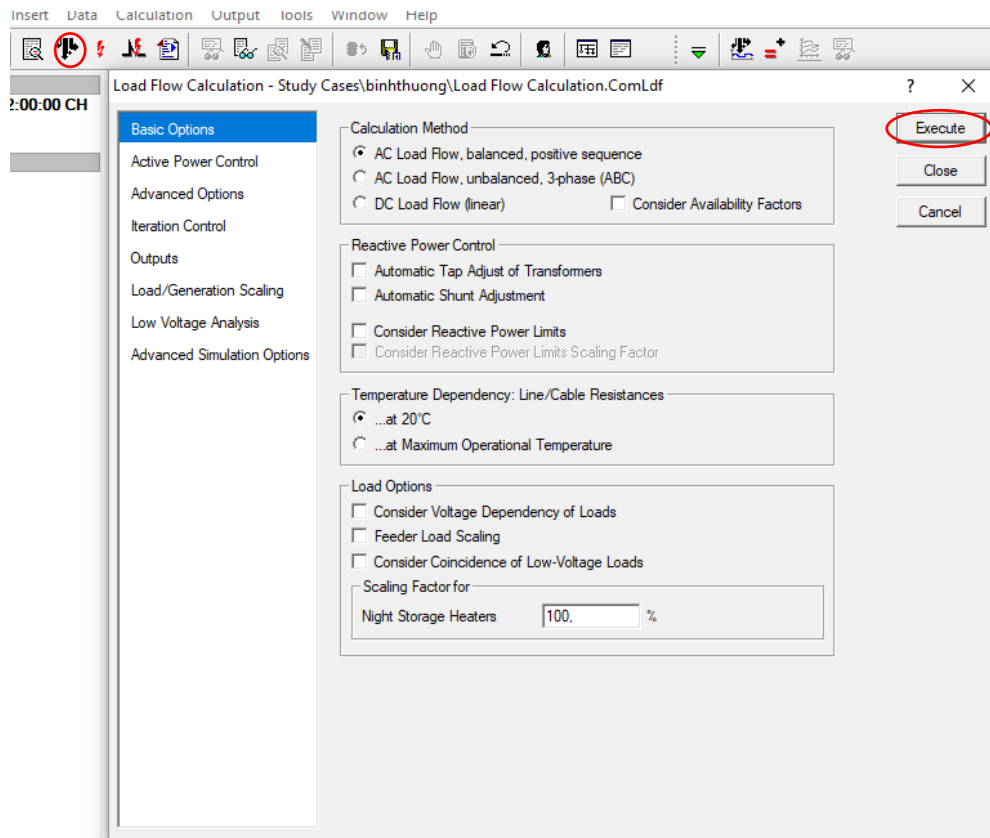
Sau khi tạo thành công, ta click đúp và biểu tượng nhà máy và cài đặt lại các thông số theo nhà máy mình muốn mô phỏng như: công suất biểu kiến định mức, hệ số công suất, tên nhà máy, cài đặt các thông số ở mục Load Flow...

#### 2.2.3.4. Một số chức năng tính toán trên phần mềm PowerFactory

##### a) Tính toán phân bố công suất

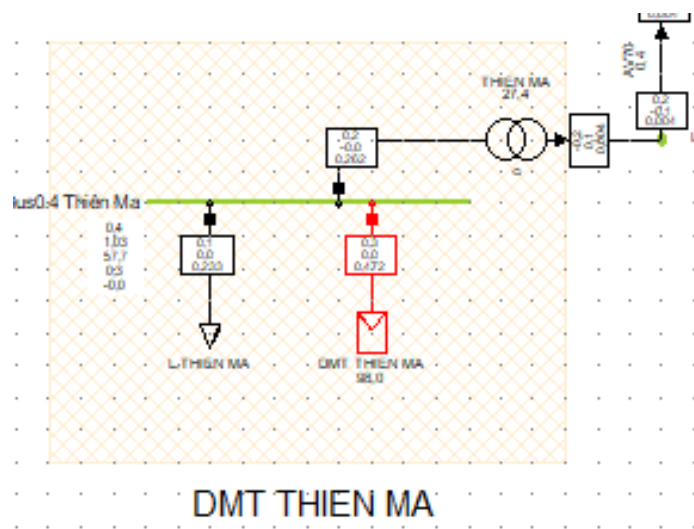
Mục đích: để tính toán trào lưu công suất của lưới, kiểm tra trên lưới có xảy ra tình trạng quá tải hay quá áp trên các phần tử điện của lưới hay không, từ đó đưa ra các kịch bản phát điện của các máy phát hay các biện pháp khắc phục để không xảy ra các tình trạng quá tải hay quá áp trên lưới.

Để tính phân bố công suất ta nhấn vào biểu tượng  Calculate Load Flow.



Hình 2.11: Cửa sổ load Flow Calculation

Sau khi cửa sổ Load Flow Calculation xuất hiện ta nhấn nút Excute để mô phỏng.

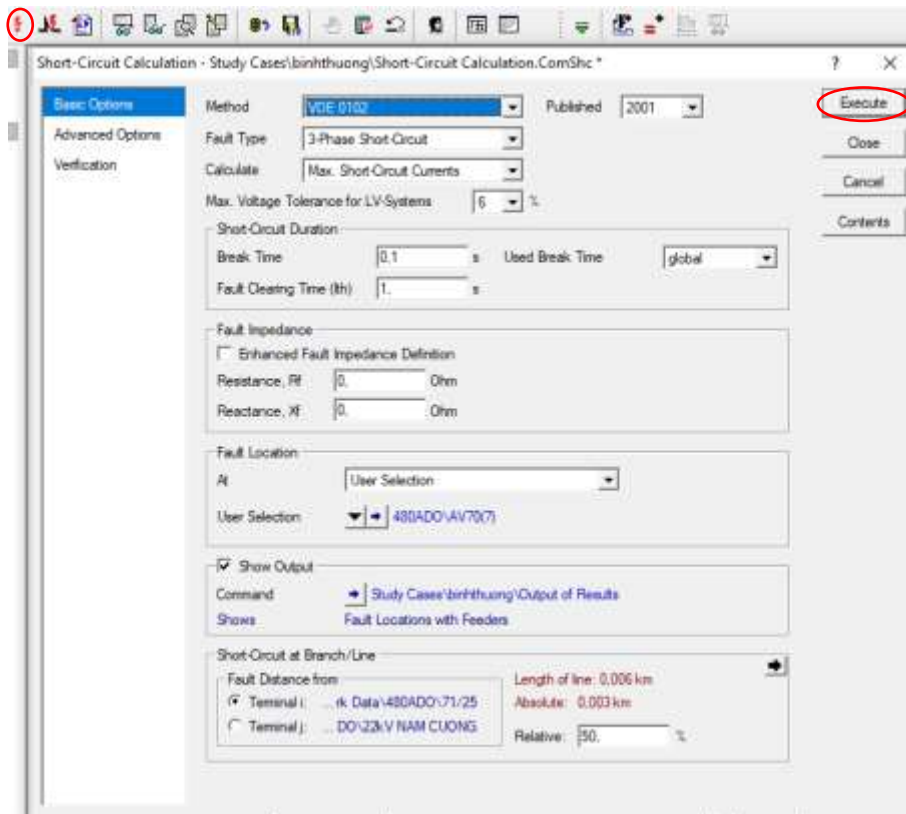


Hình 2.12: Minh họa kết quả mô phỏng phân bố công suất

## b) Tính toán ngắn mạch

Để mở tab làm việc của Short – Circuit Calculation ta thực hiện các bước như sau:

- Trên thanh công cụ chính, vào mục Calculation → Short – Circuit. Hoặc nhấn chọn vào biểu tượng trên thanh công cụ thao tác.
- Khi đó hộp thoại “Short – Circuit Calculation” sẽ xuất hiện:



Hình 2.13: Hộp thoại Short – Circuit

Chức năng: Tính toán các dạng ngắn mạch ba pha, hai pha, 1 pha chạm đất, 2 pha chạm đất, ... theo các tiêu chuẩn quốc tế như IEC60909, ANSI, IEEE,... Chính định thời gian xảy ra ngắn mạch, tính toán dòng điện ngắn mạch xung kích, công suất ngắn mạch. Có thể tính toán ngắn mạch cho từng thanh cái, toàn bộ các thanh cái (không đồng thời), hoặc trên dây dẫn.

Mục đích: Kiểm tra trên lưới khi có sự cố ngắn mạch xảy ra, tính toán các đại lượng ngắn mạch cần thiết, từ đó đưa các biện pháp chỉnh định rơ-le, tính chọn máy cắt, dao cách ly, recloser, ... để khắc phục và cô lập sự cố.

## c) Mô phỏng miền thời gian

Trong phần mềm PowerFactory có công cụ tính toán chuyên dụng dòng tải thay đổi theo thời gian được gọi là Quasi-Dynamic.

Mục đích: công cụ Quasi-Dynamic Simulation được dùng để mô phỏng luồng tải trong miền thời gian. Người dùng có thể cài đặt thời điểm mô phỏng, độ dài thời gian mô phỏng, đơn vị thực hiện tính toán (giây, phút, giờ, ngày, tháng, năm).

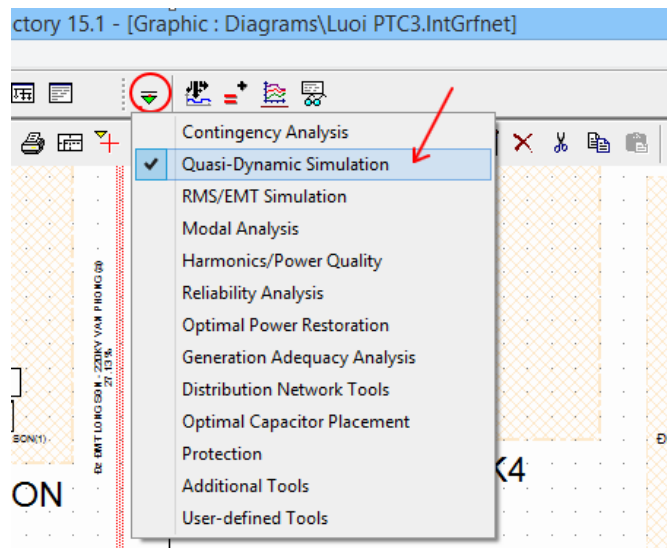
Mô phỏng sử dụng các đặc tính tham số dựa trên thời gian mà người dùng cài đặt từ trước.

#### d) Tính toán ổn định và quá độ điện từ (RMS/EMT Simulation)

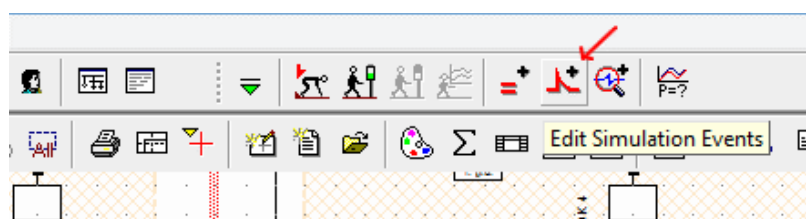
Mục đích: tính toán ổn định các chế độ vận hành, mô phỏng tự động các trường hợp làm việc của hệ thống (sự cố, chuyển mạch, quá độ máy điện...).

- Tạo lỗi để kiểm tra thông số lưới điện:

Click vào mũi tên xanh tại thanh công cụ và chọn mục RMS/EMT Simulation.




Click vào mục Edit Simulation Events.

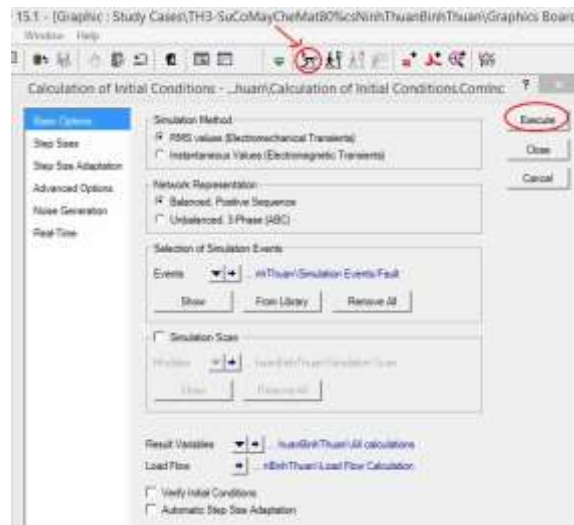



Sau đó ta nhấn vào New Object để tạo lỗi mới.

Simulation Events/Fault - Study Cases\binhthuong\Simulation Events/Fault :

|   | Name                   | Time | Object  | Out of Service           | Object modified    | Object modified by |
|---|------------------------|------|---------|--------------------------|--------------------|--------------------|
| ▶ | Short-Circuit Event(6) | 5    | AV70(7) | <input type="checkbox"/> | 22/05/2025 5:13:49 | ASUS               |
| ▶ | Short-Circuit Event(7) | 5,5  | AV70(7) | <input type="checkbox"/> | 22/05/2025 5:13:52 | ASUS               |

Sau khi tùy chỉnh các lỗi, ta thực hiện mô phỏng. Nhấn biểu tượng  Calculate Initial Conditions rồi nhấn Execute.



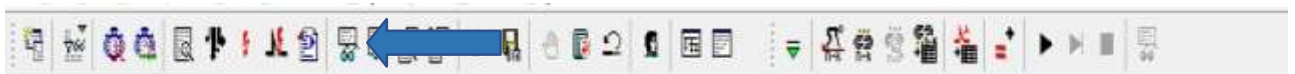
Tiếp tục ta nhấn Start Simulation . Một hộp thoại xuất hiện, tại Stop Time ta thiết lập thời gian muốn chạy mô phỏng rồi nhấn Execute.



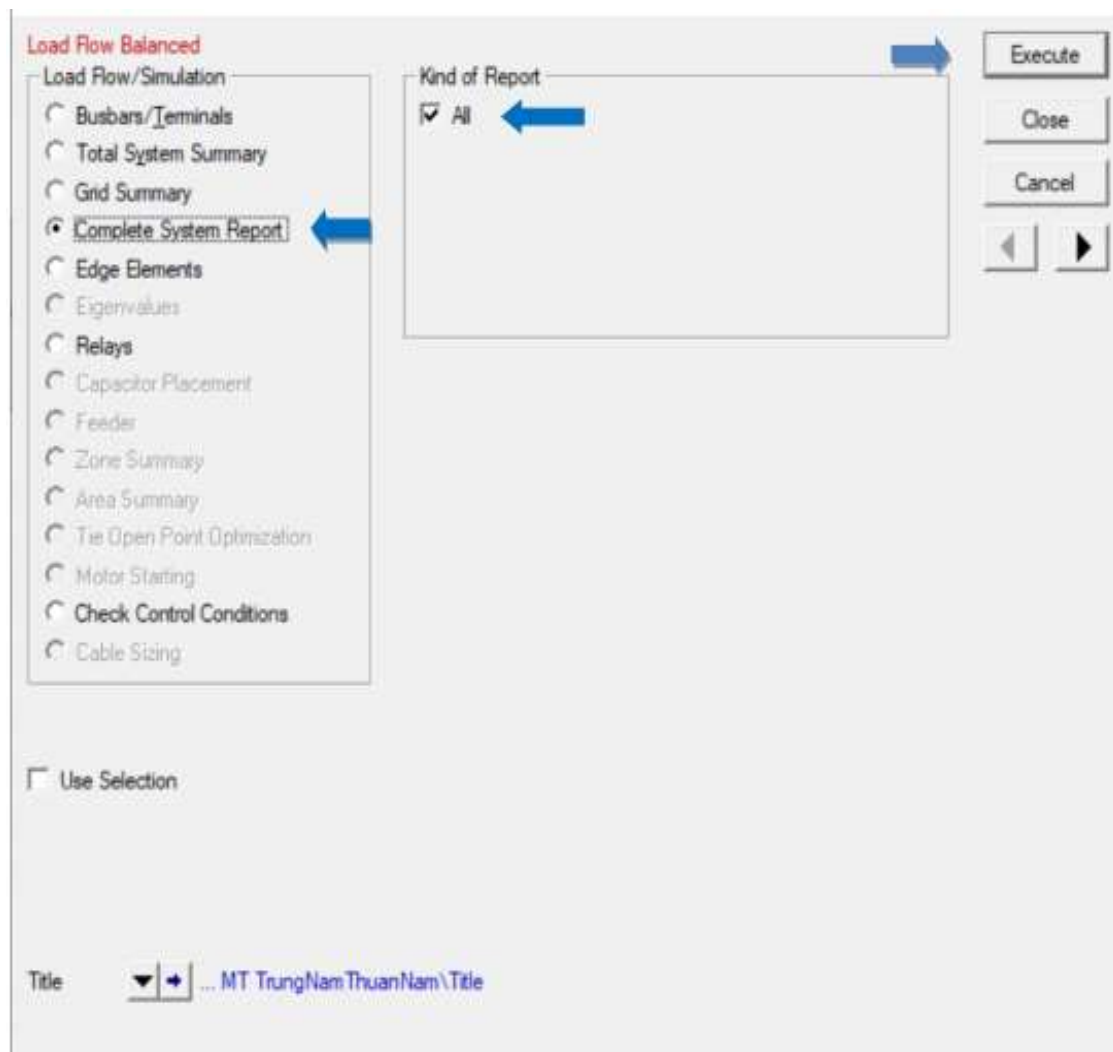
Hình 2.14: Cách cài đặt tính toán quá độ điện từ

### e) Hướng dẫn xuất các kết quả mô phỏng

Để xuất các kết quả mô phỏng ta Click vào biểu tượng Output Calculation Analysis



Sau đó bảng sau xuất hiện ta click vào mục Complete System Report và tích chọn vào All sau đó nhấn vào execute:



Sau đó nhấp vào Window và chọn mục Maximine Output Window:

| Load Flow Calculation                           |             |             |              |                 | Complete System Report: Voltage Profiles, Grid Interchange |              |             |               |             |
|---|-------------|-------------|--------------|-----------------|--|--------------|-------------|---------------|-------------|
| AC Load Flow, balanced, positive sequence       |             |             |              |                 | Automatic Model Adaptation for Convergence                 |              | No          |               |             |
| Automatic Tap Adjust of Transformers            | No          |             |              |                 | Max. Acceptable Load Flow Error for                        |              |             |               |             |
| Consider Reactive Power Limits                  | No          |             |              |                 | Nodes  |              |             | 1,00 kVA      |             |
|   |             |             |              |                 | Model Equations  |              |             | 0,10 %        |             |
| Total System Summary                            |             |             |              |                 | Study Case: binhthuong                                     |              | Annex:      |               | / 7         |
| Generation                                      | Motor Load  | Load        | Compensation | External Infeed | Inter Area Flow  | Total Losses | Load Losses | NoLoad Losses |             |
| [MW]/[Mvar]                                     | [MW]/[Mvar] | [MW]/[Mvar] | [MW]/[Mvar]  | [MW]/[Mvar]     | [MW]/[Mvar]  | [MW]/[Mvar]  | [MW]/[Mvar] | [MW]/[Mvar]   | [MW]/[Mvar] |
| \ASUS\DATN\TK\Network Model\Network Data\480ADO |             |             |              |                 |  |              |             |               |             |
| 1,90  | 0,00        | 27,12       | -0,00        | 25,39           | 0,00   | 0,17         | 0,06        | 0,11          |             |
| 0,00  | 0,00        | 8,91        | -0,38        | 10,18           | 0,00   | 1,65         | 1,51        | 0,14          |             |
| Total:  |             |             |              |                 |  |              |             |               |             |
| 1,90  | 0,00        | 27,12       | -0,00        | 25,39           |  | 0,17         | 0,06        | 0,11          |             |
| 0,00  | 0,00        | 8,91        | -0,38        | 10,18           |  | 1,65         | 1,51        | 0,14          |             |

Hình 2.15: Hướng dẫn xuất kết quả

### **2.3. Kết luận chương 2**

Trong chương 2, tác giả đã trình bày phương pháp tính toán phân tích chế độ làm việc của hệ thống điện. Đây là nền tảng quan trọng để đánh giá hiệu quả vận hành của lưới điện khi có sự tham gia của các nguồn năng lượng phân tán.

Bên cạnh đó, chương này cũng đã giới thiệu tổng quan về công cụ tính toán là phần mềm DIGSILENT PowerFactory một công cụ mạnh mẽ và phổ biến trong mô phỏng, tính toán và phân tích hệ thống điện. Các tính năng chính của phần mềm giúp hỗ trợ hiệu quả việc đánh giá tác động của nguồn phân tán lên lưới điện.

### **CHƯƠNG 3: TÍNH TOÁN, PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA NGUỒN PHÂN TÁN VÀ ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ VẬN HÀNH LƯỚI ĐIỆN 22KV QUẬN SƠN TRÀ THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG**

#### **3.1. Xây dựng mô hình mô phỏng lưới điện phân phối 22kV khu vực Quận Sơn Trà TP Đà Nẵng (cụ thể là xuất tuyến 480ADO thuộc trạm biến áp An Đồn)**

Hiện nay, việc tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời, vào lưới điện phân phối đang đặt ra nhiều thách thức đối với công tác vận hành hệ thống điện tại quận Sơn Trà thành phố Đà Nẵng. Với đặc điểm là khu vực có tiềm năng phát triển điện mặt trời áp mái lớn, công suất phát của các hệ thống này có sự biến động mạnh theo cường độ bức xạ mặt trời, gây ảnh hưởng đến điện áp và cân bằng công suất trong lưới điện phân phối.

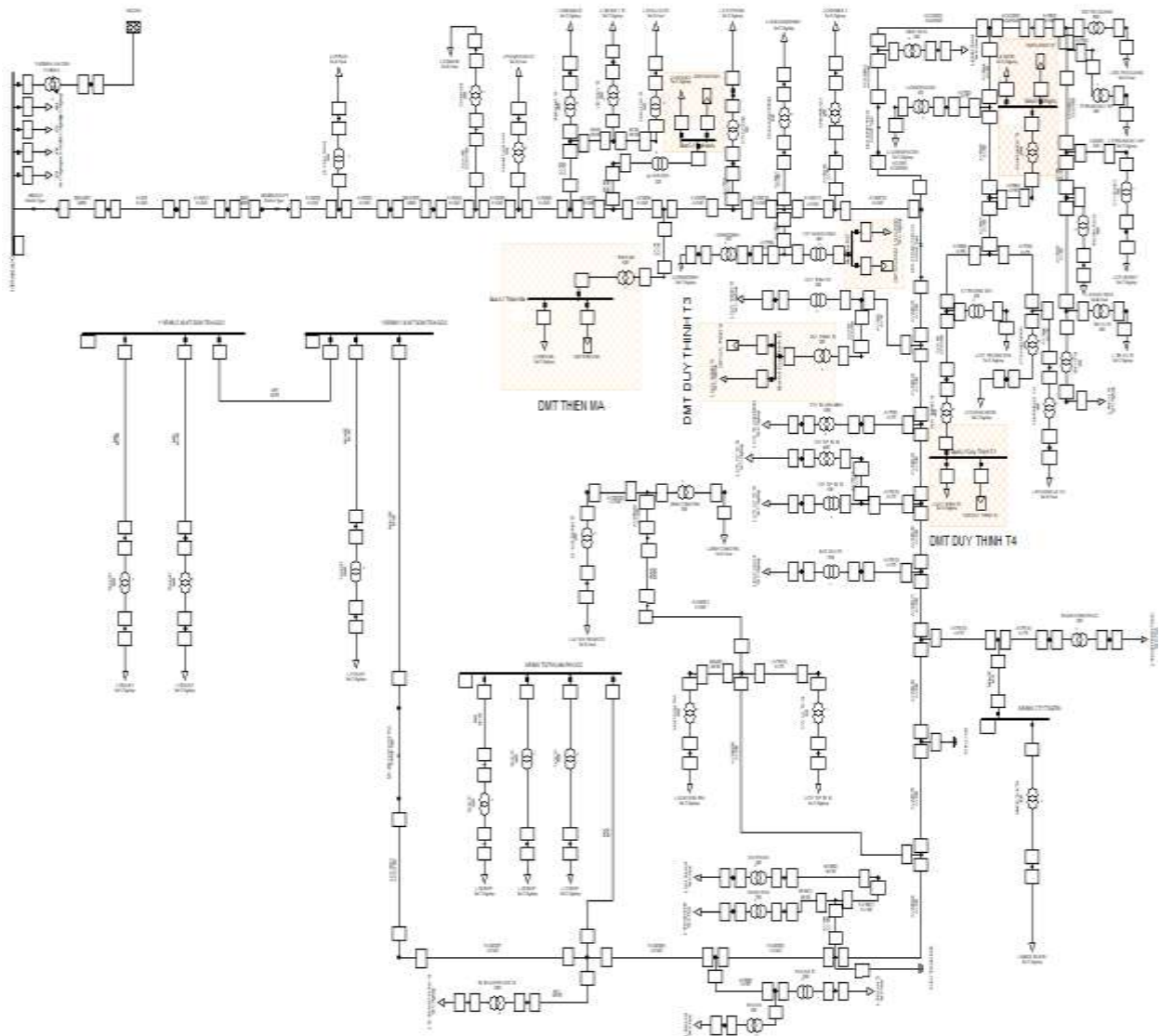
Sự thay đổi công suất phát từ các nguồn điện mặt trời có thể dẫn đến hiện tượng quá áp cục bộ khi công suất phát dư thừa vào thời điểm nhu cầu tiêu thụ thấp hoặc gây mất cân bằng công suất khi thời tiết nhiều mây, làm ảnh hưởng đến chất lượng điện năng và độ ổn định của lưới điện. Đặc biệt, khi xảy ra sự cố ngắn mạch trên lưới 22kV có đầu nối nguồn điện mặt trời, hệ thống có thể gặp phải các vấn đề liên quan đến dao động điện áp, quá dòng hoặc mất ổn định tần số.

Tính đến nay, lưới điện phân phối của quận Sơn Trà đã đầu nối một lượng đáng kể công suất điện mặt trời áp mái, chiếm tỷ trọng lớn trong tổng công suất phụ tải khu vực. Điều này đòi hỏi công tác vận hành lưới điện phải được giám sát chặt chẽ và có các giải pháp điều tiết phù hợp nhằm đảm bảo an toàn và tin cậy trong cung cấp điện.

Để đánh giá đầy đủ tác động của các nguồn điện mặt trời đến lưới điện phân phối quận Sơn Trà, cần thực hiện mô phỏng nhiều kịch bản vận hành khác nhau, bao gồm: mất cân bằng công suất khi bức xạ giảm đột ngột và sự cố ngắn mạch trên lưới có sự tham gia của nguồn điện mặt trời. Phần mềm **DIgSILENT PowerFactory** sẽ được sử dụng để phân tích các tình huống này và đề xuất các giải pháp vận hành tối ưu, giúp nâng cao hiệu quả khai thác nguồn năng lượng tái tạo trong khi vẫn đảm bảo ổn định hệ thống điện khu vực.

- Vì lưới điện phân phối Đà Nẵng hiện nay rất rộng lớn và phức tạp nên ở đây chỉ mô phỏng cụ thể xuất tuyến 480ADO của trạm biến áp 110kV An Đồn. (nhóm tác giả sẽ đính kèm sơ đồ nguyên lý của xuất tuyến tại phụ lục 1)

- Nhóm tác giả đã xây dựng xuất tuyến trên phần mềm DIgSILENT PowerFactory tương đối chính xác theo sơ đồ nguyên lý lưới điện trong thực tế để phục vụ cho việc nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của nguồn điện phân tán đến lưới phân phối.



Hình 3.1: Sơ đồ lưới điện của xuất tuyến 480ADO trên phần mềm DIGSILENT PowerFactory

### 3.1.1. Số liệu của lưới điện 22kV (xuất tuyến 480ADO)

- Dựa trên các tài liệu tham khảo và các dữ liệu đầu vào tác giả đã thu nhập được số liệu của các trạm biến áp, nguồn mặt trời và phụ tải( tác giả sẽ đính kèm thông số tại **phụ lục 2**).

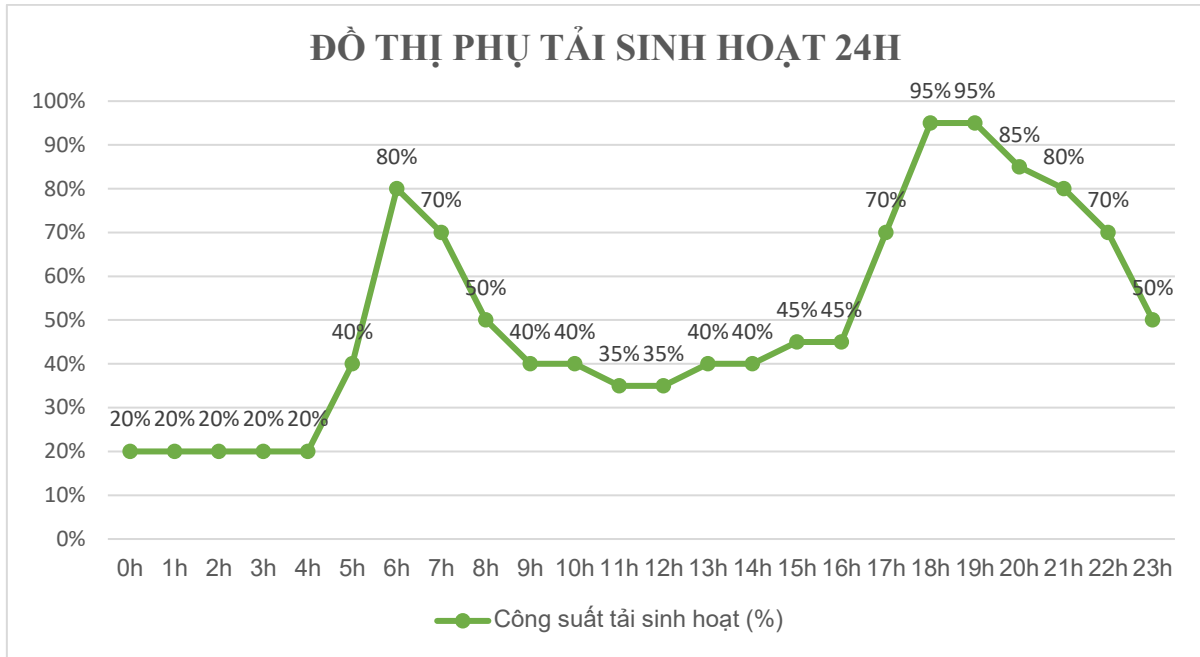
- Do không thể thu thập đầy đủ số liệu thực tế về công suất tiêu thụ của lưới điện trong suốt 24 giờ, tác giả đã dựa vào kinh nghiệm vận hành thực tế của hệ thống điện để đưa ra các giả định hợp lý về tỷ lệ phần trăm công suất tải theo từng khung giờ. Việc giả định này không chỉ giúp đơn giản hóa quá trình tính toán mà còn phản ánh được đặc điểm biến động của phụ tải theo chu kỳ ngày đêm, phù hợp với thực tế vận hành của lưới điện quận Sơn Trà.

- Trong thực tế, công suất phụ tải không phải lúc nào cũng duy trì ở một mức cố định mà luôn thay đổi theo thời gian trong ngày. Sự thay đổi này phụ thuộc vào nhiều yếu tố như thói quen sinh hoạt của người dân, nhu cầu tiêu thụ điện của các cơ sở sản xuất, kinh doanh, và đặc biệt là sự biến động của nguồn năng lượng tái tạo như điện mặt trời. Vào các giờ cao điểm, khi nhu cầu sử dụng điện tăng cao do hoạt động sinh hoạt, sản xuất và thương mại diễn ra mạnh mẽ, công suất tải có thể đạt mức tối đa, tiệm cận hoặc thậm chí vượt quá công suất định mức của máy biến áp trong một khoảng thời gian ngắn. Ngược lại, vào ban đêm hoặc các khoảng thời gian ít hoạt động hơn, phụ tải giảm xuống đáng kể, giúp hệ thống có khoảng dự phòng để vận hành an toàn và ổn định.

- Ngoài ra, với sự tham gia ngày càng nhiều của các nguồn năng lượng tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời, đặc điểm phụ tải cũng có sự thay đổi đáng kể. Vào ban ngày, đặc biệt là khoảng từ 10h đến 14h, công suất phát từ điện mặt trời đạt đỉnh, có thể làm giảm tải cho hệ thống nhưng cũng có nguy cơ gây ra hiện tượng quá áp cục bộ nếu công suất phát dư thừa không được điều tiết hợp lý. Trong khi đó, vào buổi sáng sớm và chiều tối, khi bức xạ mặt trời giảm mạnh nhưng nhu cầu tiêu thụ điện vẫn cao, hệ thống phải bù đắp công suất thiếu hụt từ các nguồn điện khác, dẫn đến sự dao động điện áp đáng kể trên lưới điện phân phối.

- Với những yếu tố trên, để đảm bảo mô hình mô phỏng có thể phản ánh đúng xu hướng vận hành thực tế của lưới điện quận Sơn Trà, tác giả đã sử dụng phương pháp giả định công suất theo tỷ lệ phần trăm công suất định mức của máy biến áp, phân chia theo từng khung giờ cụ thể trong ngày. Phương pháp này không chỉ giúp mô phỏng chính xác hơn sự biến động của phụ tải mà còn là cơ sở quan trọng để đánh giá tác động của điện mặt trời đến sự ổn định điện áp, cân bằng công suất và an toàn vận hành của lưới điện phân phối.

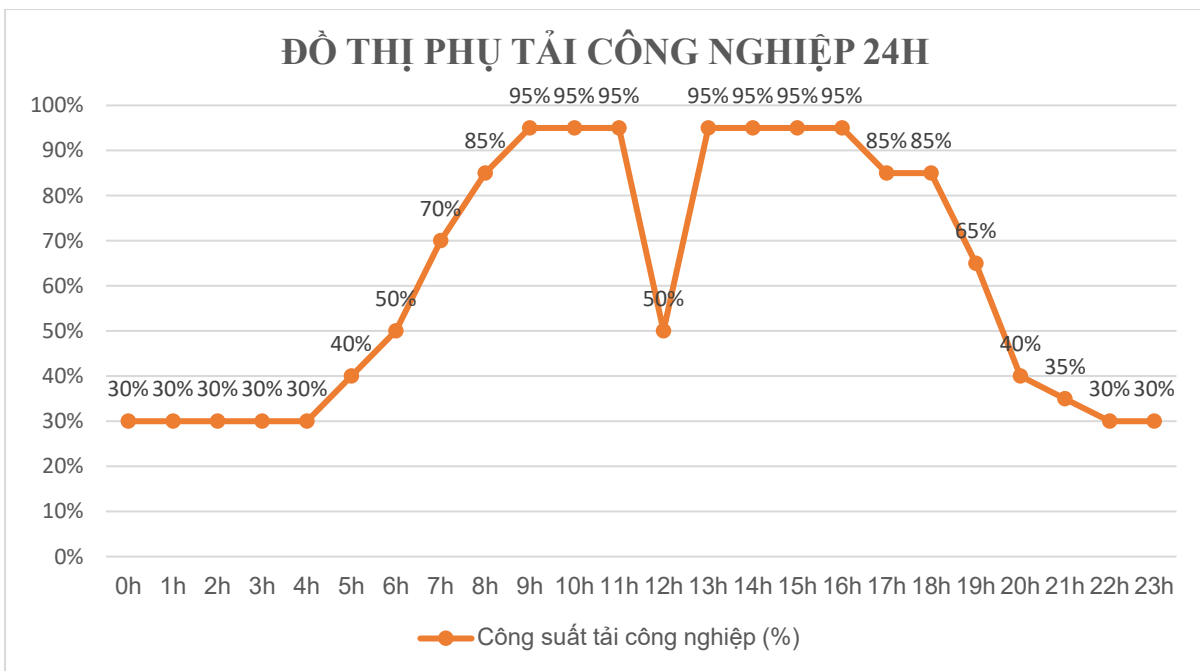
➤ Dưới đây là đồ thị phụ tải của 2 loại phụ tải: Công nghiệp và Sinh hoạt



Hình 3.2: Công suất tải sinh hoạt trong 24h (%)

**Giải thích đồ thị:**

- Ban đêm (00h - 04h): Phụ tải thấp, ổn định ở mức 20%.
- Sáng sớm (05h - 07h): Bắt đầu tăng lên 30 - 80% do nhu cầu sinh hoạt.
- Giờ làm việc (08h - 16h): Giảm nhẹ xuống khoảng 35 - 45%.
- Chiều tối (17h - 21h): Tăng mạnh lên 70 - 95% do nấu ăn, sinh hoạt gia đình.
- Khuya (22h - 23h): Giảm dần còn 70 - 50% trước khi về mức thấp vào ban đêm.

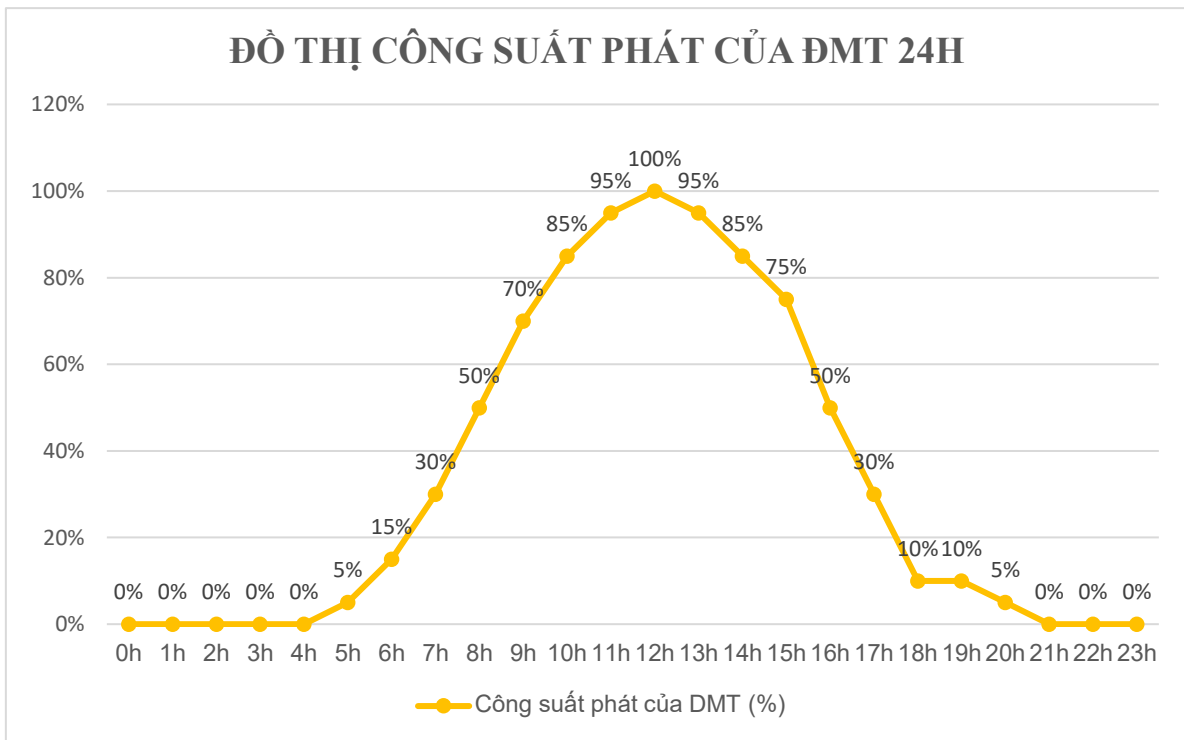


Hình 3.3: Công suất tải công nghiệp trong 24h (%)

### Giải thích đồ thị:

- Ban đêm (00h - 05h): Hoạt động ở mức thấp (30-40%) do ít nhà máy vận hành.
- Sáng sớm (06h - 07h): Bắt đầu tăng dần khi công nhân đến làm việc (50 - 70%).
- Giờ hành chính (08h - 11h): Hoạt động mạnh nhất, đạt đỉnh 80 - 95%.
- 12h - 13h: Phụ tải giảm từ 95% → 50% do giờ nghỉ trưa.
- 13h - 17h: Dần tăng lại khi công nhân quay lại làm việc.
- Giờ tối (18h - 21h): Giảm dần khi nhà máy nghỉ ca (70% xuống 35%).
- Khuya (22h - 23h): Quay về mức thấp 30%, chỉ còn một số dây chuyền chạy ban đêm.

### ➤ Đồ thị phát công suất của điện mặt trời trong 24h



Hình 3.4: Công suất phát của điện mặt trời trong 24h

### Giải thích đồ thị:

- Ban đêm (00h - 05h): Không có phát điện (0%).
- Sáng sớm (06h - 09h): Công suất tăng dần theo cường độ ánh sáng (5% → 70%).
- Buổi trưa (10h - 14h): Công suất đạt đỉnh, dao động 85% - 100%.
- Buổi chiều (15h - 18h): Công suất giảm dần khi mặt trời lặn (70% → 10%).
- Sau 19h: Không còn công suất phát (0%).

### 3.2. Phân tích các chỉ tiêu vận hành ở chế độ xác lập

- Trong quá trình vận hành lưới điện phân phối 22kV tại quận Sơn Trà, việc đánh giá chế độ xác lập của hệ thống là một bước quan trọng để phân tích mức độ ổn định và khả năng đáp ứng của lưới điện trước các điều kiện vận hành khác nhau. Chế độ xác lập thể hiện trạng thái làm việc ổn định của lưới điện khi tất cả các thông số như điện áp, công suất đều duy trì ở mức cân bằng sau một khoảng thời gian nhất định.

#### 3.2.1. Phân bố công suất dòng công suất tại các thời điểm

- Sau khi chạy phân bố công suất ta được kết quả sau:

**Bảng 3.1**

Phân bố công suất ở các chế độ vận hành

|                    | <b>PHÂN BỐ CÔNG SUẤT Ở CÁC CHẾ ĐỘ VẬN HÀNH</b> |                 |                              |                 |                              |                 |
|--------------------|--|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
|                    | <b>Phụ tải cực tiểu (0h – 5h)</b>              |                 | <b>PV phát cực đại (12h)</b> |                 | <b>Phụ tải cực đại (18h)</b> |                 |
|                    | <b>P (MW)</b>                                  | <b>Q (Mvar)</b> | <b>P (MW)</b>                | <b>Q (Mvar)</b> | <b>P (MW)</b>                | <b>Q (Mvar)</b> |
| Công suất          | 4,27   | 1,24            | 7,39                         | 2,43            | 13,2                         | 5,13            |
| Tổn thất công suất | 0,13   | 0,26            | 0,17                         | 0,44            | 0,35                         | 1,3             |

❖ Từ bảng Kết quả phân tích bài toán phân bố công suất tại ba chế độ vận hành cho thấy:

- Ở chế độ phụ tải cực tiểu tổng công suất phụ tải trên toàn hệ thống là:

- Công suất tác dụng  $P = 4,27$  MW
- Công suất phản kháng  $Q = 1,24$  Mvar
- Tổn thất công suất tác dụng trên lưới là  $P = 0,13$  MW, tương ứng với tỷ lệ tổn thất khoảng 3,04 % so với tổng công suất phụ tải. Đây là mức tổn thất thấp, phản ánh lưới điện vận hành ổn định và hiệu quả trong điều kiện tải nhẹ.

- Ở chế độ PV phát cực đại tổng công suất phụ tải trên toàn hệ thống là:

- Công suất tác dụng  $P = 7,39$  MW
- Công suất phản kháng  $Q = 2,43$  Mvar
- Nhưng do có nguồn điện mặt trời phát lên lưới  $P = 1,9$  MW (trong đó là 0,7MW phụ tải tại đó tiêu thụ và 1,2MW phát ngược lên lưới) nên công suất tác dụng trên toàn hệ thống chỉ phát 5,66 MW
- Tổn thất công suất tác dụng trên lưới là  $P = 0,17$  MW, tương ứng với tỷ lệ tổn thất khoảng 3 % so với tổng công suất phụ tải. Đây là mức tổn thất thấp, phản ánh lưới điện vận hành ổn định và hiệu quả trong điều kiện tải có sự hỗ trợ của nguồn mặt trời.

- Ở chế độ phụ tải độ cực đại tổng công suất phụ tải trên toàn hệ thống là:

- Công suất tác dụng  $P = 13,2$  MW
- Công suất phản kháng  $Q = 5,13$  Mvar

- Tổng thất công suất tác dụng trên lưới là  $P = 0,35$  MW, tương ứng với tỷ lệ tổn thất khoảng 2,69% so với tổng công suất phụ tải. Đây là mức tổn thất thấp, phản ánh lưới điện vận hành ổn định và hiệu quả trong điều kiện tải lớn.
- ❖ **Kết luận:** Kết quả phân tích cho thấy hệ thống vận hành ổn định và tổn thất công suất thấp trong cả ba chế độ, đặc biệt khi có nguồn điện mặt trời hỗ trợ giúp giảm công suất tác dụng cần từ lưới, từ đó cho thấy hệ thống đang vận hành hiệu quả.

### 3.2.2. Đánh giá điện áp tại các thời điểm

- Kết quả điện áp 22kV và 0,4kV ở các thời điểm vận hành:

**Bảng 3.2**  
Điện áp 22kV tại các Bus ở các chế độ vận hành

| Tên Bus         | ĐIỆN ÁP 22kV Ở CÁC CHẾ ĐỘ VẬN HÀNH (kV) |                                 |                       |
|-----------------|---|---------------------------------|-----------------------|
|                 | Phụ tải cực tiểu (0h – 5h)              | PV phát công suất cực đại (12h) | Phụ tải cực đại (18h) |
| 480ADO          | 22,74                                   | 22,94                           | 23,04                 |
| C4              | 22,73                                   | 22,93                           | 23,01                 |
| C49             | 22,65                                   | 22,8                            | 22,73                 |
| C71             | 22,61                                   | 22,74                           | 22,59                 |
| 71/1            | 22,61                                   | 22,73                           | 22,59                 |
| 22LePhuTran     | 22,61                                   | 22,72                           | 22,56                 |
| 22CoMan8        | 22,59                                   | 22,69                           | 22,5                  |
| 22PhamVanXao    | 22,58                                   | 22,69                           | 22,49                 |
| 22ThienMa T2    | 22,58                                   | 22,68                           | 22,48                 |
| 22VIETSKYT2     | 22,58                                   | 22,68                           | 22,48                 |
| 22CHAUDOT2      | 22,58                                   | 22,68                           | 22,48                 |
| 22kV HAKAWA     | 22,58                                   | 22,68                           | 22,47                 |
| 22kV THIEN MA   | 22,58                                   | 22,68                           | 22,48                 |
| 22CTYCPXNK      | 22,58                                   | 22,68                           | 22,47                 |
| 22DONGGOIHH     | 22,58                                   | 22,67                           | 22,46                 |
| 22kV NAM CUONG  | 22,58                                   | 22,67                           | 22,46                 |
| 22HAIDUONGTHINH | 22,58                                   | 22,67                           | 22,46                 |
| 22CHEFMEAT      | 22,58                                   | 22,67                           | 22,46                 |
| 22BINHTHAN      | 22,57                                   | 22,67                           | 22,46                 |
| 22LUONGTHUCDN   | 22,57                                   | 22,67                           | 22,45                 |
| 22TDCTHOQUANG   | 22,57                                   | 22,67                           | 22,45                 |
| 22TTTRUNGBAYSP  | 22,57                                   | 22,67                           | 22,45                 |
| 22CTVIETSKY     | 22,57                                   | 22,67                           | 22,45                 |
| 22THANHTOAN     | 22,57                                   | 22,67                           | 22,45                 |
| 22TINVUT3/T4    | 22,57                                   | 22,67                           | 22,45                 |
| 22kV S.NGOC T2  | 22,57                                   | 22,67                           | 22,45                 |
| LEPHUONGVO      | 22,57                                   | 22,67                           | 22,45                 |
| 22CTTRUONGTAN   | 22,57                                   | 22,67                           | 22,45                 |

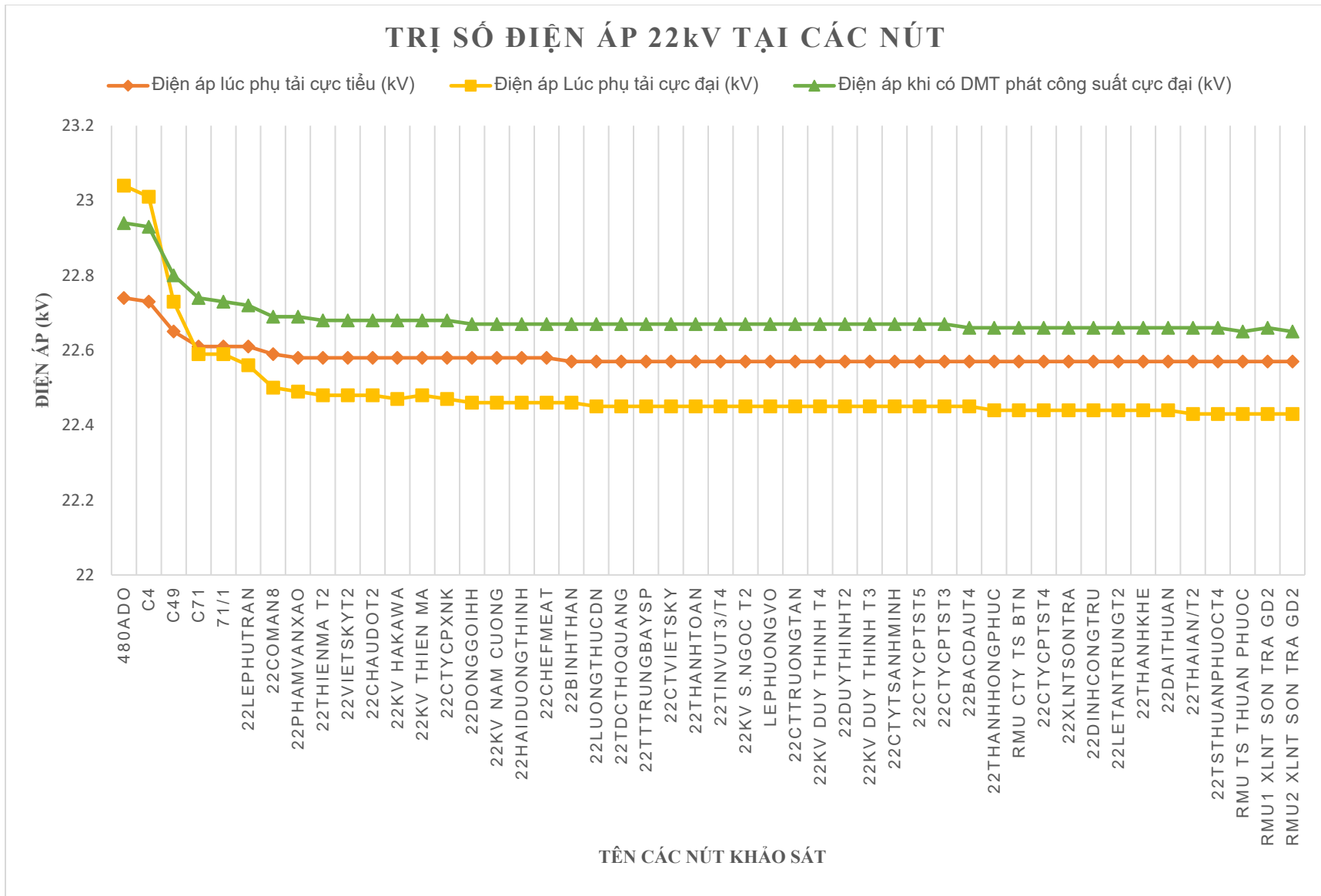
|                   |       |       |       |
|-------------------|-------|-------|-------|
| 22kV DUY THINH T4 | 22,57 | 22,67 | 22,45 |
| 22DUYTHINH2       | 22,57 | 22,67 | 22,45 |
| 22kV DUY THINH T3 | 22,57 | 22,67 | 22,45 |
| 22CTYTSANHMINH    | 22,57 | 22,67 | 22,45 |
| 22CTYCPTST5       | 22,57 | 22,67 | 22,45 |
| 22CTYCPTST3       | 22,57 | 22,67 | 22,45 |
| 22BACDAUT4        | 22,57 | 22,66 | 22,45 |
| 22THANHHONG PHUC  | 22,57 | 22,66 | 22,44 |
| RMU CTY TS BTN    | 22,57 | 22,66 | 22,44 |
| 22CTYCPTST4       | 22,57 | 22,66 | 22,44 |
| 22XLNTSONTRA      | 22,57 | 22,66 | 22,44 |
| 22DINHCONGTRU     | 22,57 | 22,66 | 22,44 |
| 22LETANTRUNG2     | 22,57 | 22,66 | 22,44 |
| 22THANKHE         | 22,57 | 22,66 | 22,44 |
| 22DAITHUAN        | 22,57 | 22,66 | 22,44 |
| 22THAIAN/T2       | 22,57 | 22,66 | 22,43 |
| 22TSTPT4          | 22,57 | 22,66 | 22,43 |
| RMUTSTP           | 22,57 | 22,65 | 22,43 |
| RMU1SON TRA GD2   | 22,57 | 22,66 | 22,43 |
| RMU2SON TRA GD2   | 22,57 | 22,65 | 22,43 |

**Bảng 3.3**  
Điện áp 0,4kV tại các Bus ở các chế độ vận hành

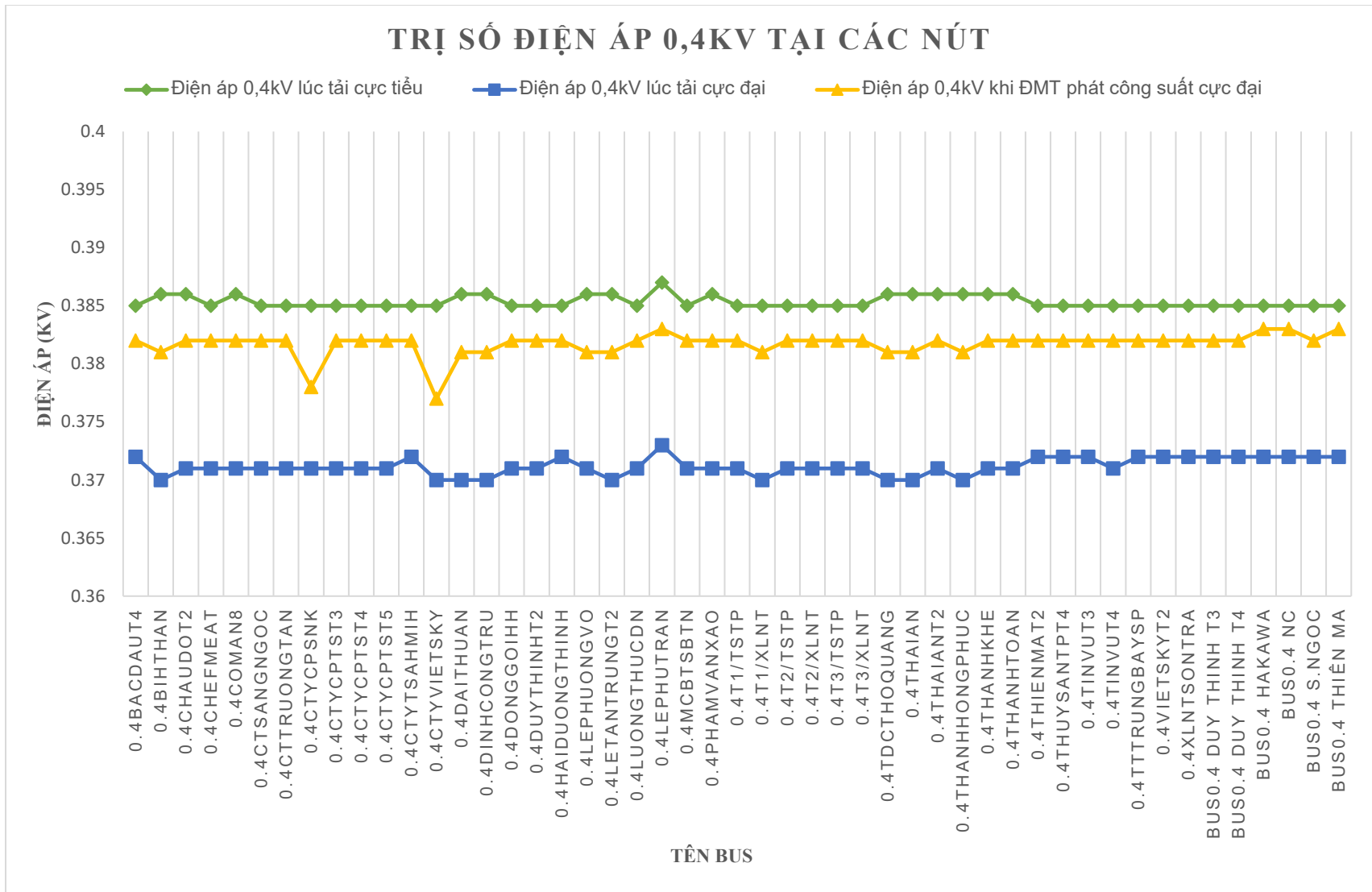
| Tên Bus        | ĐIỆN ÁP 0,4kV Ở CÁC CHẾ ĐỘ VẬN HÀNH (kV) |                                 |                       |
|----------------|--|---------------------------------|-----------------------|
|                | Phụ tải cực tiểu (0h – 5h)               | PV phát công suất cực đại (12h) | Phụ tải cực đại (18h) |
| 0.4BACDAUT4    | 0,385                                    | 0,382                           | 0,372                 |
| 0.4BIHTHAN     | 0,386                                    | 0,381                           | 0,37                  |
| 0.4CHAUDOT2    | 0,386                                    | 0,382                           | 0,371                 |
| 0.4CHEFMEAT    | 0,385                                    | 0,382                           | 0,371                 |
| 0.4COMAN8      | 0,386                                    | 0,382                           | 0,371                 |
| 0.4CTSANGNGOC  | 0,385                                    | 0,382                           | 0,371                 |
| 0.4CTTRUONGTAN | 0,385                                    | 0,382                           | 0,371                 |
| 0.4CTYCPSNK    | 0,385                                    | 0,378                           | 0,371                 |
| 0.4CTYCPTST3   | 0,385                                    | 0,382                           | 0,371                 |
| 0.4CTYCPTST4   | 0,385                                    | 0,382                           | 0,371                 |
| 0.4CTYCPTST5   | 0,385                                    | 0,382                           | 0,371                 |
| 0.4CTY TSAHMIH | 0,385                                    | 0,382                           | 0,372                 |
| 0.4CTYVIETSKY  | 0,385                                    | 0,377                           | 0,37                  |
| 0.4DAITHUAN    | 0,386                                    | 0,381                           | 0,37                  |
| 0.4DINHCONGTRU | 0,386                                    | 0,381                           | 0,37                  |

|                     |       |       |       |
|---------------------|-------|-------|-------|
| 0.4DONGGOIHH        | 0,385 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4DUYTHINH2        | 0,385 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4HAIDUONGTHINH    | 0,385 | 0,382 | 0,372 |
| 0.4LEPHUONGVO       | 0,386 | 0,381 | 0,371 |
| 0.4LETANTRUNG2      | 0,386 | 0,381 | 0,37  |
| 0.4LUONGTHUCDN      | 0,385 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4LePhuTran        | 0,387 | 0,383 | 0,373 |
| 0.4MCBTSBTN         | 0,385 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4PHAMVANXAO       | 0,386 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4T1/TSTP          | 0,385 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4T1/XLNT          | 0,385 | 0,381 | 0,37  |
| 0.4T2/TSTP          | 0,385 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4T2/XLNT          | 0,385 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4T3/TSTP          | 0,385 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4T3/XLNT          | 0,385 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4TDCTHOQUANG      | 0,386 | 0,381 | 0,37  |
| 0.4THAIAN           | 0,386 | 0,381 | 0,37  |
| 0.4THAIANT2         | 0,386 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4THANHHONGPHUC    | 0,386 | 0,381 | 0,37  |
| 0.4THANHKHE         | 0,386 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4THANHTOAN        | 0,386 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4THIENMAT2        | 0,385 | 0,382 | 0,372 |
| 0.4THUYSANTPT4      | 0,385 | 0,382 | 0,372 |
| 0.4TINVUT3          | 0,385 | 0,382 | 0,372 |
| 0.4TINVUT4          | 0,385 | 0,382 | 0,371 |
| 0.4TTTRUNGBAYSP     | 0,385 | 0,382 | 0,372 |
| 0.4VIETSKYT2        | 0,385 | 0,382 | 0,372 |
| 0.4XLNTSONTRA       | 0,385 | 0,382 | 0,372 |
| Bus0.4 Duy Thinh T3 | 0,385 | 0,382 | 0,372 |
| Bus0.4 Duy Thinh T4 | 0,385 | 0,382 | 0,372 |
| Bus0.4 Hakawa       | 0,385 | 0,383 | 0,372 |
| Bus0.4 NC           | 0,385 | 0,383 | 0,372 |
| Bus0.4 S.Ngoc       | 0,385 | 0,382 | 0,372 |
| Bus0.4 Thiên Ma     | 0,385 | 0,383 | 0,372 |

- Để có cái nhìn tổng quan và trực quan hơn về mức độ biến thiên điện áp trên lưới khi chuyển đổi giữa các chế độ vận hành cực đại, cực tiểu và có DMT phát công suất cực đại, tác giả đã tiến hành lập đồ thị so sánh độ lệch điện áp tại các Bus giữa các chế độ.



Hình 3.5: Trị số điện áp 22kV tại các nút ở 3 chế độ cực đại, cực tiểu và khi DMT phát cực đại



Hình 3.6: Trị số điện áp 0,4kV tại các nút ở 3 chế độ cực đại, cực tiểu và khi ĐMT phát cực đại

❖ Từ 2 bảng và 2 hình trên ta nhận thấy rằng:

- chênh lệch điện áp 22kV giữa các thời điểm khá lớn khoảng 0,2kV so với điện áp định danh và có xu hướng tăng dần về phía cuối nguồn.
- ở phía điện áp 0,4kV độ chênh lệch điện áp giữa các thời điểm khoảng 0,015kV. Tại thời điểm cực đại điện áp giảm khoảng 0.1 kV so với điện áp định danh do phụ tải tiêu thụ công suất lớn.

Tuy nhiên điện áp tại tất cả các nút trong hệ thống đều nằm trong giới hạn cho phép theo thông tư 05/2025/TT-BCT, cụ thể trong khoảng  $\pm 5\%$  so với điện áp định mức:

+ Cực tiểu: Bus 22kV  $U_{22\max} = 22,74$  kV,  $U_{22\min} = 22,57$  kV

Bus 0,4kV  $U_{0,4\max} = 0,389$  kV,  $U_{0,4\min} = 0.388$  kV

+ ĐMT phát cực đại: Bus 22kV  $U_{22\max} = 22,94$  kV,  $U_{22\min} = 22,66$  kV

Bus 0,4kV  $U_{0,4\max} = 0,392$  kV,  $U_{0,4\min} = 0.386$  kV

+ Cực đại: Bus 22kV  $U_{22\max} = 23,0$  kV,  $U_{22\min} = 22,4$  kV

Bus 0,4kV  $U_{0,4\max} = 0,374$  kV,  $U_{0,4\min} = 0.368$  kV

Điều này đảm bảo chất lượng điện áp được duy trì, không gây ảnh hưởng đến khả năng làm việc của thiết bị điện và độ tin cậy cung cấp điện.

**Nhìn chung**, trong điều kiện vận hành với sự thay đổi giữa các chế độ thì lưới điện vẫn đáp ứng tốt yêu cầu vận hành về mặt kỹ thuật, đảm bảo ổn định điện áp và duy trì khả năng cấp điện an toàn cho phụ tải.

### 3.3. Mô phỏng các kịch bản xảy ra của lưới điện 22kV quận Sơn Trà TP Đà Nẵng khi xét đến ảnh hưởng của điện mặt trời đến tần số và điện áp.

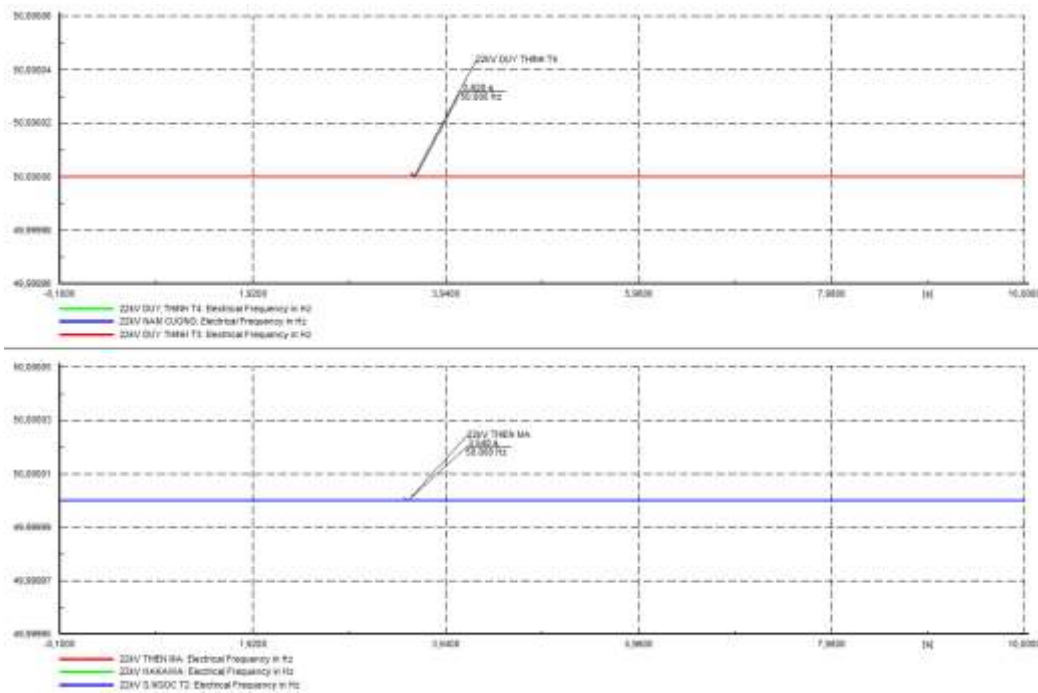
#### 3.3.1. Điện áp và tần số ở chế độ vận hành bình thường

Trước khi phân tích các tình huống sự cố hoặc kịch bản có sự tham gia của nguồn phân tán như điện mặt trời, tác giả thực hiện mô phỏng hệ thống điện trong điều kiện vận hành bình thường để theo dõi và đánh giá dao động ban đầu của các thông số vận hành, đặc biệt là điện áp và tần số. Kết quả thu được từ mô phỏng này sẽ phản ánh trạng thái ổn định của hệ thống tại thời điểm khởi đầu, qua đó làm cơ sở đối chiếu khi hệ thống chịu tác động từ các yếu tố bên ngoài.

- Trạng thái vận hành bình thường:

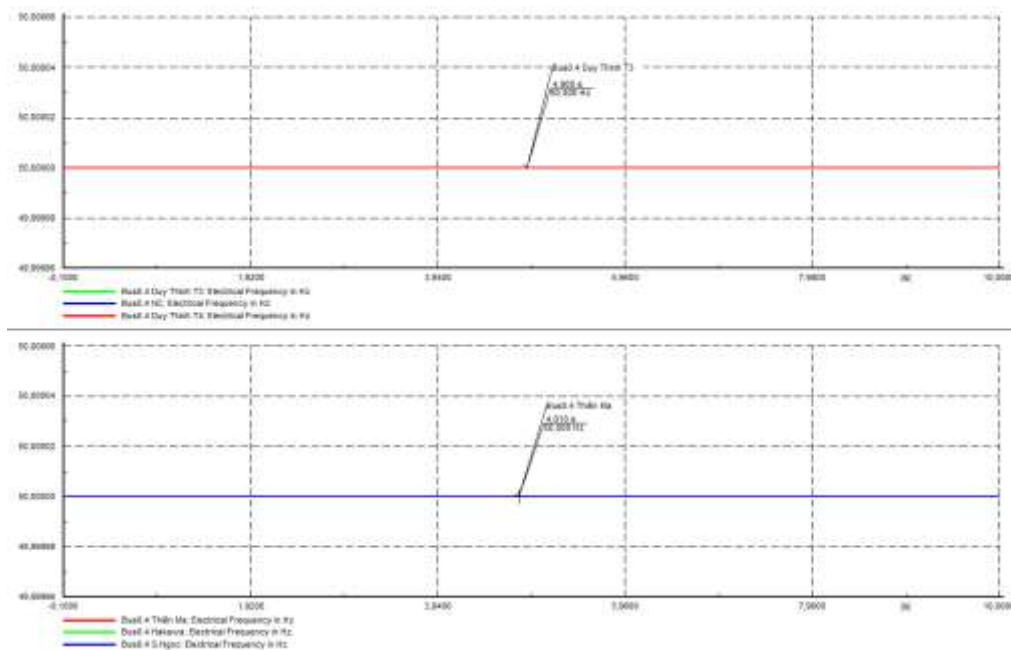
+ Tần số ở chế độ vận hành bình thường

- Tần số của thanh cái 22kV:



Hình 3.7: Tần số của thanh cái 22kV ở chế độ vận hành bình thường

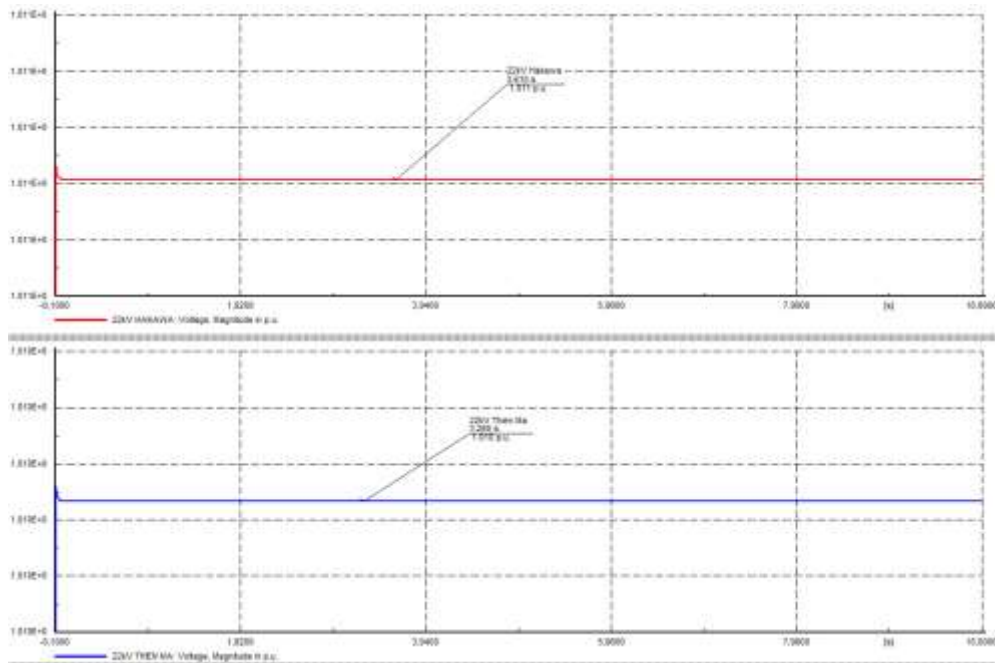
- Tần số của các thanh cái 0.4kV.



Hình 3.8: Tần số của thanh cái 0,4kV ở chế độ vận hành bình thường

❖ Từ hình 3.7 và 3.8 ta thấy tần số ở các Bus 22kV và 0,4kV đều duy trì ổn định không có sai lệch so với tần số định danh [ $f = 50\text{Hz}$ ] cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, không có sự sai lệch đáng kể chứng tỏ sự cân bằng giữa công suất phát và công suất tiêu thụ, không xảy ra tình trạng quá tải hoặc thiếu hụt nguồn cung cấp.

+ Điện áp ở chế độ vận hành bình thường:



Hình 3.9: Dao động điện áp 22kV ở chế độ vận hành bình thường

- ❖ Từ hình 3.9 ta thấy rằng ở chế độ vận hành bình thường, điện áp tại các Bus duy trì hoàn toàn ổn định, không xuất hiện dao động hay biến thiên đáng kể trong suốt thời gian khảo sát. Biểu đồ cho thấy điện áp tại các điểm khảo sát là một đường thẳng ngang, phản ánh rõ ràng rằng hệ thống đang làm việc trong trạng thái ổn định, với cân bằng giữa công suất phát và phụ tải được duy trì tốt.
- ❖ Giá trị điện áp ổn định ở mức xấp xỉ 1.00 p.u, nằm trong giới hạn cho phép theo tiêu chuẩn, chứng tỏ hệ thống điện không chịu ảnh hưởng từ các yếu tố gây nhiễu như sự cố, thay đổi tải đột ngột hay phát thừa công suất từ nguồn phân tán.

**✚ Kết luận:**

Việc mô phỏng chế độ vận hành bình thường có ý nghĩa quan trọng trong phân tích hệ thống điện, vì đây là trạng thái cơ sở để so sánh, đánh giá mức độ ảnh hưởng khi xảy ra sự cố hoặc khi có sự tham gia của các nguồn điện phân tán như điện mặt trời. Nói cách khác, việc xác định rõ trạng thái ổn định ban đầu sẽ tạo tiền đề vững chắc cho việc xây dựng và phân tích các kịch bản bất thường hoặc sự cố trên lưới điện trong các phần tiếp theo.

### 3.3.2. Kịch bản 1: Sự cố ngắn mạch 3 pha trên đường dây rẽ nhánh vào nhà máy điện mặt trời - nguyên nhân do các nhà máy điện mặt trời gây nên

Trong kịch bản này, nhóm tác giả lựa chọn thời điểm 12h trưa để tiến hành mô phỏng, bởi đây là thời điểm mà bức xạ mặt trời đạt đỉnh, các nhà máy điện mặt trời hoạt động với công suất cực đại. Điều này đồng nghĩa với việc công suất phát lên lưới từ các nguồn phân tán (điện mặt trời) sẽ rất lớn, thậm chí có thể vượt quá nhu cầu tiêu thụ nội tại của khu vực nếu phụ tải không cao. Khi đó, lưới điện sẽ chịu ảnh hưởng mạnh bởi dòng công suất từ các nguồn mặt trời.

Mô phỏng sự cố tại thời điểm này cho phép đánh giá mức độ ảnh hưởng của các nguồn điện mặt trời đến ổn định lưới điện khi xảy ra sự cố ngắn mạch, cũng như khả năng phối hợp bảo vệ, phản ứng của các thiết bị đóng cắt và hệ thống bảo vệ rơ le trong bối cảnh lưới đang vận hành với mức độ thâm nhập năng lượng tái tạo cao.

Việc xảy ra sự cố ngắn mạch ba pha trên đường dây gần các nhà máy điện mặt trời là tình huống giả định có thể xảy ra trong thực tế, khi các dòng ngắn mạch lớn kết hợp với công suất phát từ điện mặt trời tạo ra xung đột điện áp hoặc dòng điện tại khu vực kết nối, từ đó có thể dẫn đến các hiện tượng quá dòng, chập pha hoặc làm việc không đồng bộ giữa các thiết bị. Mục tiêu của mô phỏng này là phân tích và làm rõ ảnh hưởng của nguồn phân tán đến hành vi động của lưới khi xảy ra sự cố nghiêm trọng, từ đó đề xuất các giải pháp kỹ thuật giúp đảm bảo an toàn, tin cậy trong vận hành hệ thống.

- Với kịch bản này nhóm tác giả sẽ mô phỏng trường hợp:

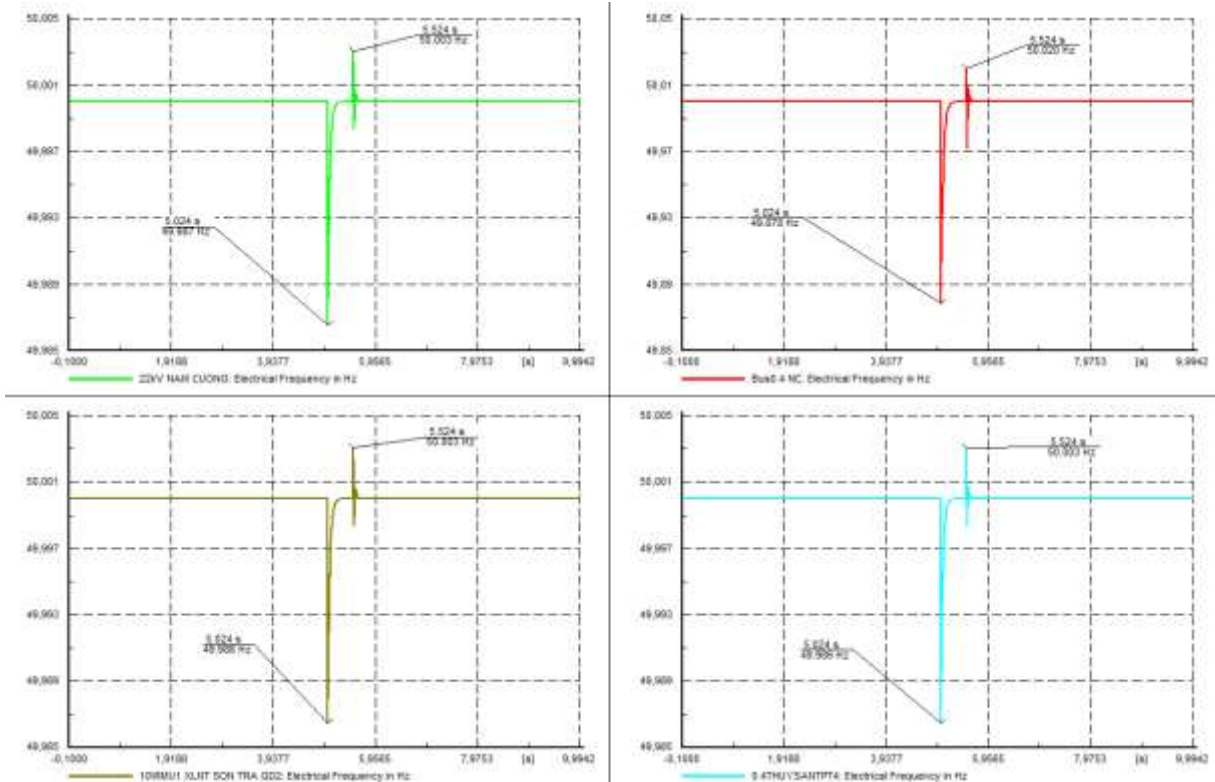
- Ngắn mạch đường dây rẽ nhánh từ Bus 71/25 đến Bus 22kV NAM CUONG đầu nối với nhà máy điện mặt trời có công suất lớn nhất.
- Các trường hợp khác gây ảnh hưởng đến tần số điện áp tác giả sẽ để ở phụ lục 3 đính kèm.

**Bảng 3.4**

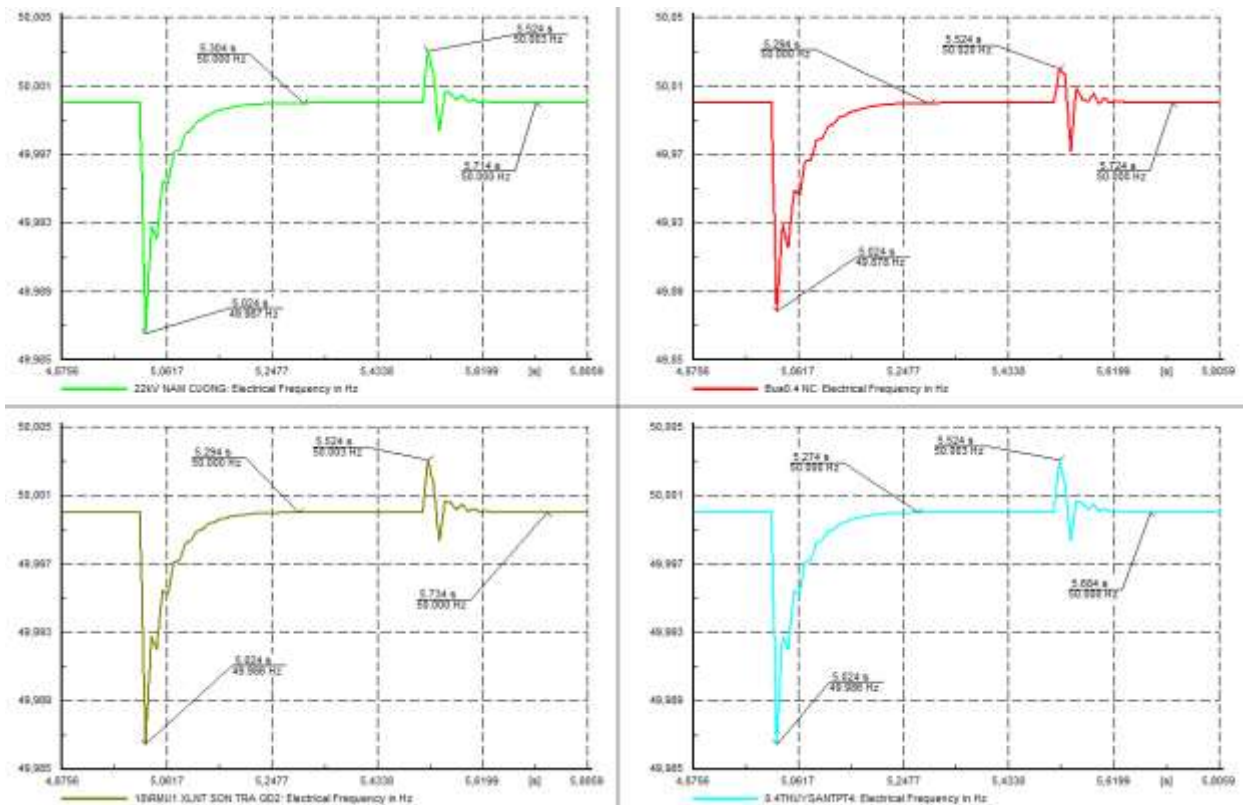
Các thời điểm mô phỏng kịch bản ngắn mạch đường dây

| Vị trí NM  | Thời điểm (s) | Sự kiện  |
|--|---------------|--|
| Dây rẽ nhánh từ Bus 71/25 đến Bus 22kV NAM CUONG | 0 → 5         | Lưới điện đang hoạt động bình thường                             |
|  | 5             | Xảy ra ngắn mạch 3 pha trên đường dây ta xét                     |
|  | 5.5           | Bảo vệ rơ le đưa ra tín hiệu đi cắt máy cắt, sự cố được loại trừ |

- Kết quả khảo sát dao động tần số tại các Bus:



Hình 3.10: Tổng thể dao động tần số tại các Bus trong trường hợp ngắn mạch



Hình 3.11: Chi tiết dao động tần số tại các Bus trong trường hợp ngắn mạch

### ❖ Phân tích kết quả:

Kết quả từ 2 hình trên thể hiện dao động tần số tại các Bus gần và xa tại vị trí xảy ra sự cố

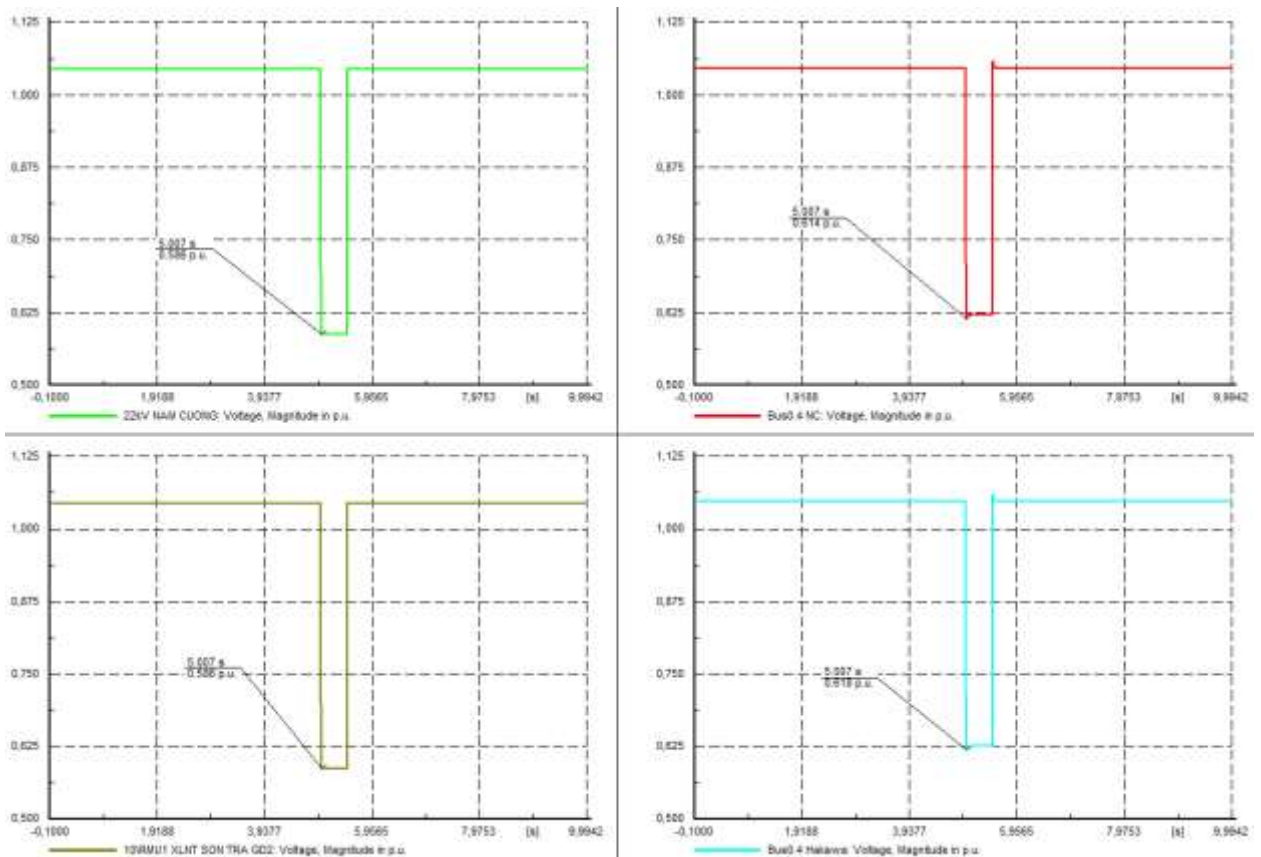
- Từ 0 đến 5 giây: Lưới điện hoạt động bình thường, tần số được duy trì ổn định ở mức xấp xỉ 50 Hz.
- Tại thời điểm 5 giây: Xảy ra sự cố ngắn mạch 3 pha trên đường dây rẽ nhánh làm mất cân bằng công suất tức thời, dẫn đến sụt tần số nhanh chóng của các Bus gần vị trí ngắn mạch là 22kV NAM CUONG 49,985 Hz và bus 0,4 NC là 49,875 Hz, ở các bus xa hơn như GD2 và 0,4thuysanT4 là 49,897 Hz có độ lệch thấp hơn khoảng 0,02 Hz so với các bus gần điểm ngắn mạch.
- Từ 5.0 đến 5.5 giây: Khi vẫn tồn tại ngắn mạch nhưng hệ thống tự điều chỉnh, tần số có xu hướng phục hồi dần về 50 Hz nhờ các cơ chế điều khiển điều khiển công suất trong inverter của điện mặt trời.
- Tại thời điểm 5.5 giây: Thiết bị bảo vệ rơ-le hoạt động, đưa ra tín hiệu cắt máy cắt, loại trừ sự cố khỏi lưới. Sau khi sự cố được loại bỏ, tần số tiếp tục dao động nhẹ (49,97 - 50.020 Hz) và trở lại ổn định ngay sau đó.

Sự cố ngắn mạch 3 pha trên thanh cái gây ra sự suy giảm tần số tức thời, phản ánh đúng bản chất vật lý của hiện tượng mất cân bằng công suất do dòng ngắn mạch tăng vọt.

Tần số phục hồi nhanh chóng cho thấy hệ thống có khả năng điều chỉnh tốt và các thiết bị bảo vệ đã hoạt động đúng chức năng, đúng thời điểm.

Các dao động tần số trên đều nằm trong phạm vi dải tần số được phép dao động từ 49Hz ÷ 51Hz với sự cố đơn lẻ căn cứ theo khoản 1 Điều 4 của Thông tư 05/2025/TT-BCT.

- Kết quả dao động điện áp tại các Bus:



Hình 3.12: Dao động điện áp tại các bus trong trường hợp ngắn mạch

- Từ kết quả hình 3.12 dao động điện áp tại các vị trí trên lưới điện trong kịch bản sự cố ngắn mạch đường dây rẽ nhánh vào nhà máy điện mặt trời (xảy ra vào thời điểm 5s và được loại trừ vào thời điểm 5.5s), có thể nhận thấy các đặc điểm sau:

- Tại thời điểm xảy ra sự cố  $t_1 = 5s$ , điện áp tại tất cả các nút khảo sát đều sụt giảm đột ngột. Mức giảm điện áp dao động trong khoảng 0.586–0.618 p.u, cho thấy ảnh hưởng lan rộng và rõ rệt của sự cố lên lưới điện khu vực.
- Các nút gần khu vực sự cố như Bus0,4 NC, 22kV NAM CUONG do nằm gần điểm ngắn mạch, có mức sụt điện áp sâu hơn khoảng 0,004 p.u so với các nút xa hơn như Bus0,4thuysanT4 hoặc GD2.
- Sau khi rơ le bảo vệ hoạt động và máy cắt loại trừ sự cố  $t_2 = 5.5s$ , điện áp tại các nút nhanh chóng hồi phục và trở lại trạng thái ổn định ban đầu (xấp xỉ 1.0 p.u), cho thấy hệ thống bảo vệ hoạt động hiệu quả, giúp cô lập nhanh vùng sự cố và phục hồi lưới.

### 3.3.3. Kịch bản 2: Ảnh hưởng bởi mây che diện rộng trong khu vực quận Sơn Trà làm làm ảnh hưởng đến công suất của tất cả điện mặt trời

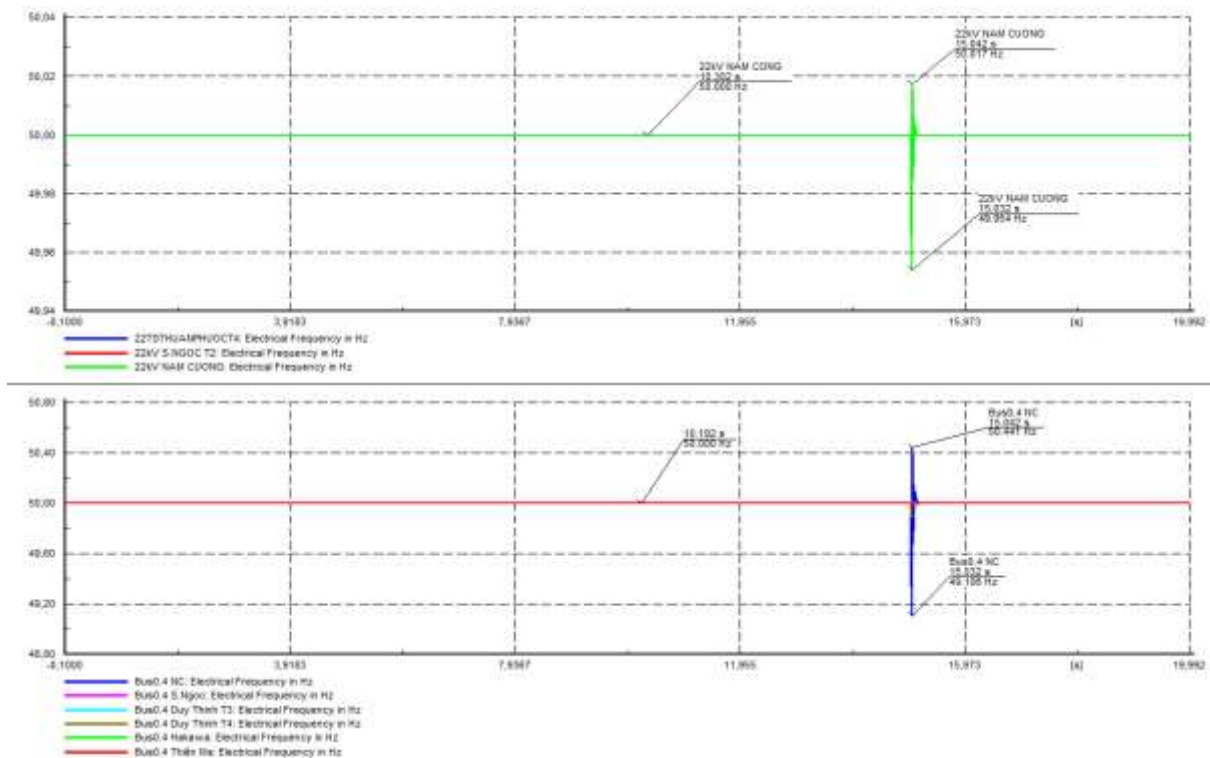
Trong kịch bản mô phỏng, nhóm tác giả lựa chọn khung giờ 12 giờ trưa để tiến hành phân tích, vì đây là thời điểm bức xạ mặt trời đạt cực đại trong ngày tương ứng với công suất phát của hệ thống điện mặt trời ở mức cao nhất. Tuy nhiên, vào thời điểm này, nếu xảy ra hiện tượng mây che phủ đột ngột, công suất phát từ nguồn điện mặt trời sẽ giảm mạnh trong thời gian ngắn, gây ra sự dao động đáng kể về cân bằng công suất trên lưới điện. Hiện tượng này không chỉ ảnh hưởng đến độ ổn định điện áp tại các nút có gắn nguồn phân tán, mà còn gây biến thiên điện áp và tần số, góp phần làm suy giảm chất lượng điện năng trên lưới. Do đó, việc lựa chọn thời điểm 12h trưa là hợp lý và có ý nghĩa kỹ thuật, vì nó giúp dễ dàng nhận diện và đánh giá rõ ràng tác động của sự sụt giảm đột ngột công suất từ nguồn năng lượng tái tạo đến vận hành ổn định và chất lượng điện năng của lưới điện phân phối.

**Bảng 3.5**

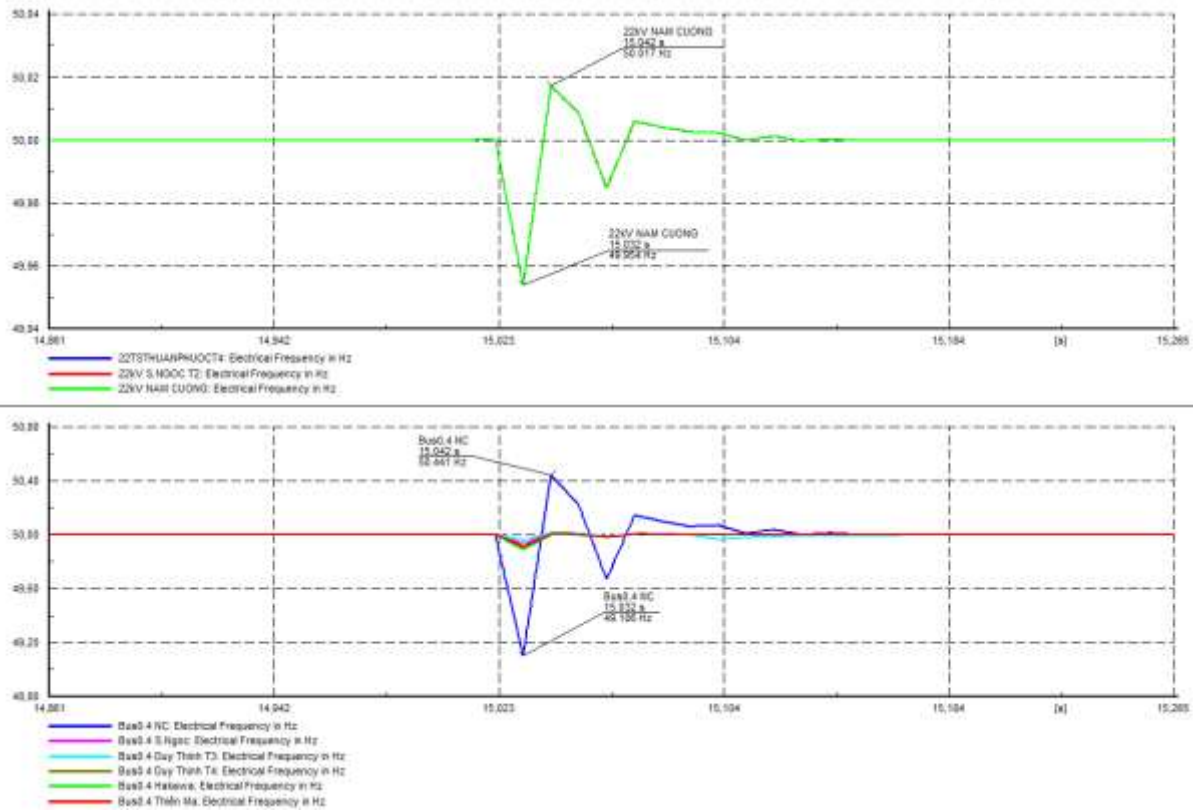
Các thời điểm mô phỏng mây che của nhà máy điện mặt trời

| Thời điểm (s) | Sự kiện  |
|---------------|--|
| 0 đến 10      | Điện mặt trời hoạt động bình thường với công suất đang phát.       |
| 10            | Điện mặt trời mất 90% công suất đang phát do mây che.              |
| 10 đến 15     | Thời gian mây che.   |
| 15            | Điện mặt trời khôi phục lại công suất phát ban đầu do mây hết che. |

Kết quả dao động tần số của các Bus:



Hình 3.13: Dao động tần số tại các Bus trong trường hợp mây che

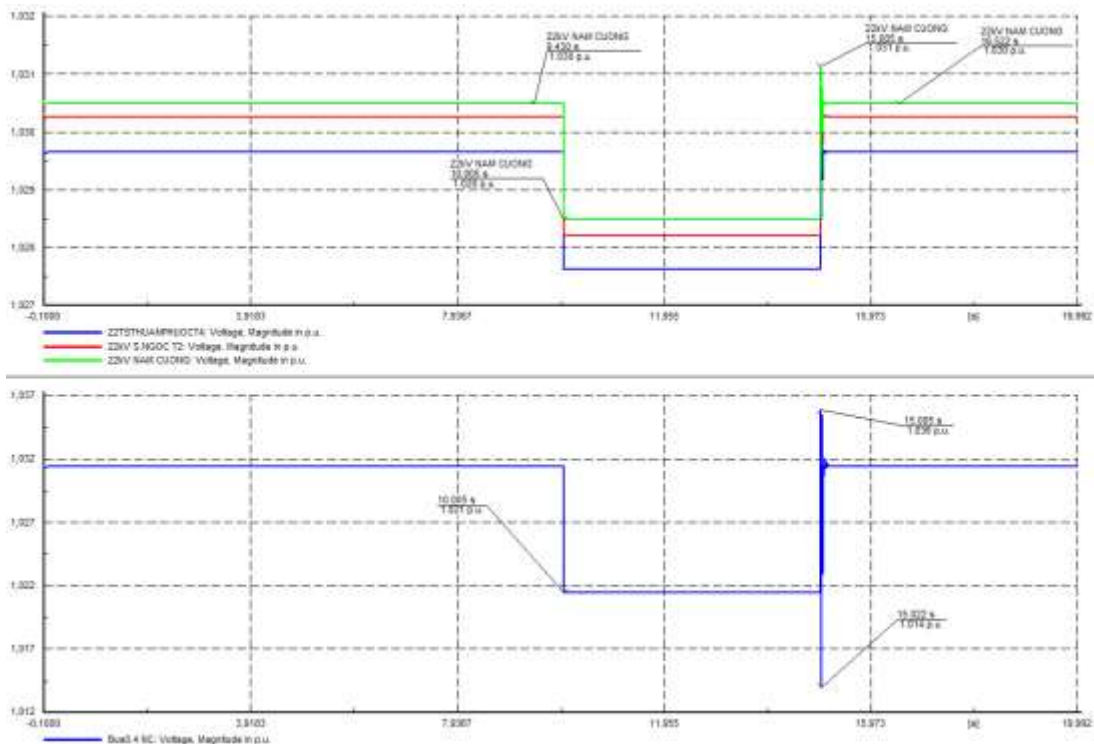


Hình 3.14: Chi tiết dao động tần số tại các Bus trong trường hợp mây che

Kết quả hình 3.13 và 3.14 thể hiện sự dao động tần số tại các thanh cái 22kV và 0,4kV ta thấy:

- Tại thời điểm  $t_1 = 10s$ , tần số không dao động ở thời điểm này có thể là vì hệ thống điện lớn hoạt động hiệu quả, giúp giữ ổn định tần số ngay cả khi có biến động nhỏ trên lưới.
- Tại thời điểm  $t_2 = 15s$ , khi các nhà máy điện mặt trời trong khu vực đột ngột tăng công suất phát do hết bị mây che, hệ thống ghi nhận một dao động tần số khá mạnh, trong khoảng 49,106 Hz đến 50,441 Hz tại thanh cái Bus0,4 NC nơi có điện mặt trời công suất lớn nhất đầu nối nên phản ứng tần số tại đây là rõ rệt nhất, nguyên nhân do sự mất cân bằng giữa công suất phát và tiêu thụ. Sau đó, hệ thống tiếp tục phục hồi và ổn định trở lại.
- Các dao động tần số được ghi nhận đều nằm trong giới hạn cho phép từ 49 Hz đến 51 Hz đối với sự cố đơn lẻ, phù hợp với quy định tại Khoản 1, Điều 4 của Thông tư số 05/2025/TT-BCT.

### Kết quả dao động điện áp tại các Bus:



Hình 3.15: Kết quả dao động điện áp của trường hợp mây che điện mặt trời

Kết quả hình 3.15 thể hiện sự dao động điện áp tại các thanh cái 22kV và 0,4kV ta có nhận xét sau:

Biến thiên điện áp theo thời gian:

- Ở cả hai biểu đồ trên Hình 3.15, khi hiện tượng máy che xuất hiện (khoảng thời gian từ 10s), ta nhận thấy điện áp giảm đột ngột và duy trì ở mức thấp hơn so với thời điểm trước khi xuất hiện máy che. Điều này phản ánh sự sụt giảm công suất phát từ các nguồn điện mặt trời khi bị che khuất.
- Sau khi hết thời gian máy che (từ 15s trở đi), điện áp được phục hồi trở lại mức ban đầu hoặc gần mức ban đầu nhờ việc phát điện mặt trời được khôi phục.

Mức độ giảm điện áp tại các nút:

- Cụ thể tại nút 22kV NAM CUONG, giá trị điện áp giảm từ khoảng 1,030 pu xuống còn 1,028. Mức giảm này phản ánh rõ nét ảnh hưởng của việc mất công suất phát đột ngột từ nguồn mặt trời do mây che gây ra.
- Tại các nút khác như 22kV S.Ngoc và 22kV ThuanPhuocT4, mặc dù mức độ giảm điện áp không lớn bằng nút 22kV NAM CUONG, nhưng vẫn ghi nhận mức giảm rõ rệt và đồng bộ với diễn biến thời gian của hiện tượng máy che.
- Tại nút Bus0,4 NC nơi có điện mặt trời đầu nối thể hiện sự dao động mạnh hơn so vs các nút 22kV cụ thể tại thời điểm  $t_1 = 10s$  từ 1.031 giảm còn 1.021 và  $t_2 = 15s$  dao động trong khoảng 1.014 đến 1.036 trước khi ổn định và trở lại trạng thái ban đầu.

Đặc điểm phục hồi điện áp:

- Sau khi hiện tượng máy che kết thúc (ở thời điểm khoảng 15s), điện áp tại các nút phục hồi nhanh chóng trở lại mức ban đầu. Điều này cho thấy hệ thống lưới điện và các thiết bị điều chỉnh điện áp hoạt động ổn định, đảm bảo duy trì chất lượng điện áp theo yêu cầu vận hành.

### **3.4. Kịch bản tăng trưởng phụ tải và phát triển thêm nguồn điện mặt trời trên lưới 22kV quận Sơn Trà trong giai đoạn (2026-2030)**

Trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và nhu cầu sử dụng điện ngày càng tăng tại khu vực Sơn Trà thành phố Đà Nẵng, dự báo phụ tải điện trong các năm tới sẽ có xu hướng tăng mạnh, đặc biệt trong các lĩnh vực dịch vụ, du lịch và dân cư. Bên cạnh đó, chủ trương khuyến khích phát triển năng lượng tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời áp mái, tiếp tục được đẩy mạnh nhằm giảm áp lực cho hệ thống điện quốc gia và hướng tới phát triển bền vững. Trước thực tế này, việc mô phỏng và đánh giá ảnh hưởng của sự gia tăng đồng thời cả phụ tải và nguồn điện mặt trời lên lưới điện phân phối 22kV khu vực Sơn Trà trong giai đoạn 2026–2030 là hết sức cần thiết.

Kịch bản này nhằm giả lập một viễn cảnh phát triển thực tế, qua đó đánh giá mức độ đáp ứng của lưới điện hiện hữu trước sự thay đổi về quy mô phụ tải và công suất phát phân tán, từ đó đề xuất các giải pháp vận hành hiệu quả, đảm bảo an toàn và ổn định cho hệ thống điện trong tương lai gần.

#### **📌 Tăng trưởng phụ tải:**

Theo các báo cáo của Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN), nhu cầu tiêu thụ điện tại Việt Nam trong những năm gần đây liên tục tăng trưởng ở mức cao, đặc biệt tại các khu vực phát triển nhanh về công nghiệp, dịch vụ và đô thị hóa. Theo hình hoạt động sản xuất kinh doanh điện và đầu tư xây dựng năm 2023 của EVN, tăng trưởng điện thương phẩm bình quân toàn quốc đạt khoảng 7–8% mỗi năm, trong đó nhiều khu vực có tốc độ tăng trưởng phụ tải cao hơn mức trung bình do sự phát triển mạnh mẽ của các khu công nghiệp và dân cư.

Dựa trên xu hướng này, trong phạm vi nghiên cứu, giả định tốc độ tăng trưởng phụ tải là 8%/năm là hoàn toàn có cơ sở, phản ánh sát thực tế phát triển phụ tải hiện nay và trong giai đoạn tới. Giả định này cũng phù hợp với các kịch bản quy hoạch phát triển lưới điện do EVN đề xuất nhằm đảm bảo an ninh cung cấp điện và tối ưu vận hành hệ thống điện quốc gia.

Tăng trưởng phụ tải 8%/năm, tổng phụ tải tăng trưởng trong giai đoạn (2026-2030) là 32% (thông số sẽ được nhóm tác giả đính kèm tại phụ lục 2).

#### **📌 Phát triển nguồn điện mặt trời:**

Trong quá trình nghiên cứu và xây dựng mô hình tích hợp nguồn năng lượng tái tạo vào lưới điện phân phối 22kV tại khu vực Quận Sơn Trà, nhóm tác giả đã tiến hành khảo sát thực địa và thu thập thông tin về hiện trạng cơ sở hạ tầng xây dựng, đặc biệt là

các khu vực có tiềm năng phát triển hệ thống điện mặt trời áp mái. Cụ thể, một số nhà kho, xưởng sản xuất trong khu vực đã được lựa chọn để khảo sát sơ bộ, dựa trên các tiêu chí: diện tích mái có thể khai thác cũng như khả năng đấu nối vào lưới điện hiện hữu.

Kết quả khảo sát cho thấy một số nhà kho có diện tích mái lớn, trung bình từ 800–2000 m<sup>2</sup>, chưa được tận dụng để lắp đặt hệ thống năng lượng mặt trời và tiềm năng công suất lắp đặt tại mỗi nhà kho có thể dao động từ 100–500kWp. Từ đó, nhóm tác giả đã đưa ra giả định lượng công suất điện mặt trời có khả năng phát triển trong tương lai gần, khi các chính sách khuyến khích và cơ chế giá điện mặt trời được hoàn thiện và thúc đẩy đầu tư.

- Nhóm tác giả sẽ giả định phát triển điện mặt trời theo căn cứ sau:

Thông số tấm pin nhóm tác giả sử dụng để mô phỏng phát triển điện mặt trời trong khu vực là LONGi LR5-72HPH-550M (thông số chi tiết nhóm tác giả sẽ đính kèm tại phụ lục 2).

Theo thông số kỹ thuật của nhà sản xuất, kích thước tiêu chuẩn của tấm pin Longi 550Wp là 2278 x 1134 mm, tương đương khoảng 2.58 m<sup>2</sup> diện tích bề mặt.

Tuy nhiên, trong thực tế thi công và lắp đặt hệ thống điện mặt trời, cần tính đến khoảng cách giữa các tấm pin, khung giá đỡ, lối đi bảo trì, cũng như khoảng hở kỹ thuật để đảm bảo thông thoáng, dễ bảo trì và tránh hiện tượng che bóng giữa các dãy pin. Theo kinh nghiệm từ các dự án điện mặt trời áp mái đã triển khai, diện tích chiếm dụng thực tế trung bình của một tấm pin thường cao hơn so với diện tích hình học, dao động từ 8–10% tùy cách bố trí. Vì vậy, để đảm bảo độ an toàn và sát thực tế cho tính toán trong mô hình nghiên cứu, nhóm tác giả giả định diện tích chiếm dụng thực tế cho mỗi tấm pin Longi 550Wp là khoảng 2.8 m<sup>2</sup>/tấm. Con số này đã bao gồm các yếu tố kỹ thuật và điều kiện lắp đặt tiêu chuẩn, và được sử dụng làm cơ sở để xác định mật độ công suất lắp đặt khả thi trên mỗi mét vuông mái nhà.

Ví dụ cho trường hợp phát sinh điện mặt trời tại nhà kho Công ty thủy sản Ánh Minh tổng diện tích mái tác giả khảo sát được là 1530,14 m<sup>2</sup> và sử dụng pin Longi 550Wp để lắp đặt ta tính như sau:

- Số lượng tấm pin có thể lắp đặt:

$$\text{Số tấm pin} = \frac{\text{Diện tích mái}}{\text{Diện tích mỗi tấm pin}} = \frac{1530,14}{2,8} = 546,47 \text{ tấm (ta chọn 546 tấm)}$$

- Tổng công suất lắp đặt:

$$\text{Tổng công suất} = \text{Số tấm pin} \times \text{Công suất mỗi tấm} = 546 \times 550 = 300300 \text{ Wp} = 300 \text{ kWp}$$



Hình 3.16: Diện tích mái công ty thủy sản Ánh Minh

Một số hình ảnh đo diện tích mái của nhà kho khác nhóm tác giả đính kèm tại phụ lục 3.

Ta tính toán tương tự cho một số nhà kho khác và được tổng công suất điện mặt trời phát triển trong bảng sau:

**Bảng 3.6**  
Vị trí và công suất điện mặt trời phát sinh

| TÊN NGUỒN                     | VỊ TRÍ           | CÔNG SUẤT P (MW) |
|-------------------------------|------------------|------------------|
| Điện mặt trời                 | Viesky           | 0,45             |
|                               | ChauDo           | 0,25             |
|                               | CHEFMEAT         | 0,21             |
|                               | KhoNhua-BinhThan | 0,2              |
|                               | TS Ánh Minh      | 0,3              |
|                               | TS BTN           | 0,37             |
|                               | Cty Thai An      | 0,29             |
|                               | TS ThuanPhuoc    | 0,35             |
| <b>TỔNG CÔNG SUẤT LẮP ĐẶT</b> |                  | <b>2,42</b>      |

### 3.4.1. Phân bố công suất và đánh giá điện áp ở kịch bản tăng trưởng phụ tải.

Sau khi hoàn tất việc mô phỏng các kịch bản vận hành của lưới điện 22kV trong điều kiện tăng trưởng phụ tải và phát triển nguồn điện mặt trời, bước tiếp theo là tiến hành phân tích chi tiết các thông số vận hành tại những thời điểm quan trọng trong ngày như giờ cao điểm tiêu thụ, thời điểm điện mặt trời phát công suất cực đại, hoặc khi phụ tải giờ thấp điểm. Việc kiểm tra bao gồm các thông số như phân bố công suất, điện áp tại các nút. Mục tiêu của quá trình này là đánh giá tác động thực tế của nguồn phân tán đến lưới điện, từ đó phát hiện sớm các hiện tượng bất lợi như quá áp cục bộ do phát dư công suất, sụt áp tại các điểm xa nguồn, hoặc mất cân bằng công suất tại các thời điểm chuyển tiếp. Trên cơ sở các kết quả thu được, đề tài sẽ đưa ra các kiến nghị kỹ thuật nhằm tối ưu hóa cấu trúc và chế độ vận hành lưới điện, đảm bảo an toàn, ổn định và hiệu quả khi lưới tiếp tục phát triển trong tương lai.

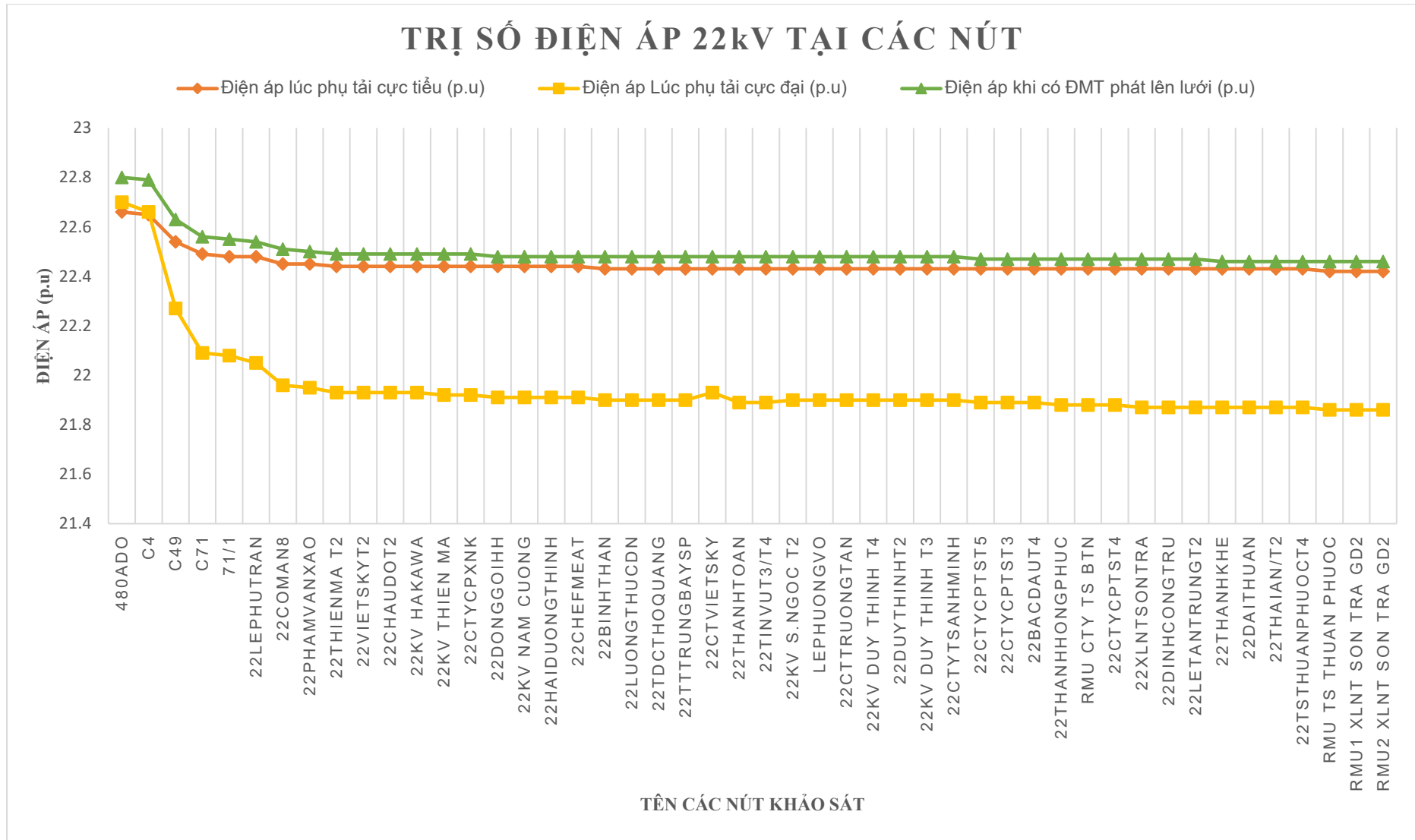
-Nhóm tác giả sẽ chạy phân bố công suất ở 3 khung giờ: tải cực tiểu, tải cực đại, và điện mặt trời phát cực đại.

**Bảng 3.7**

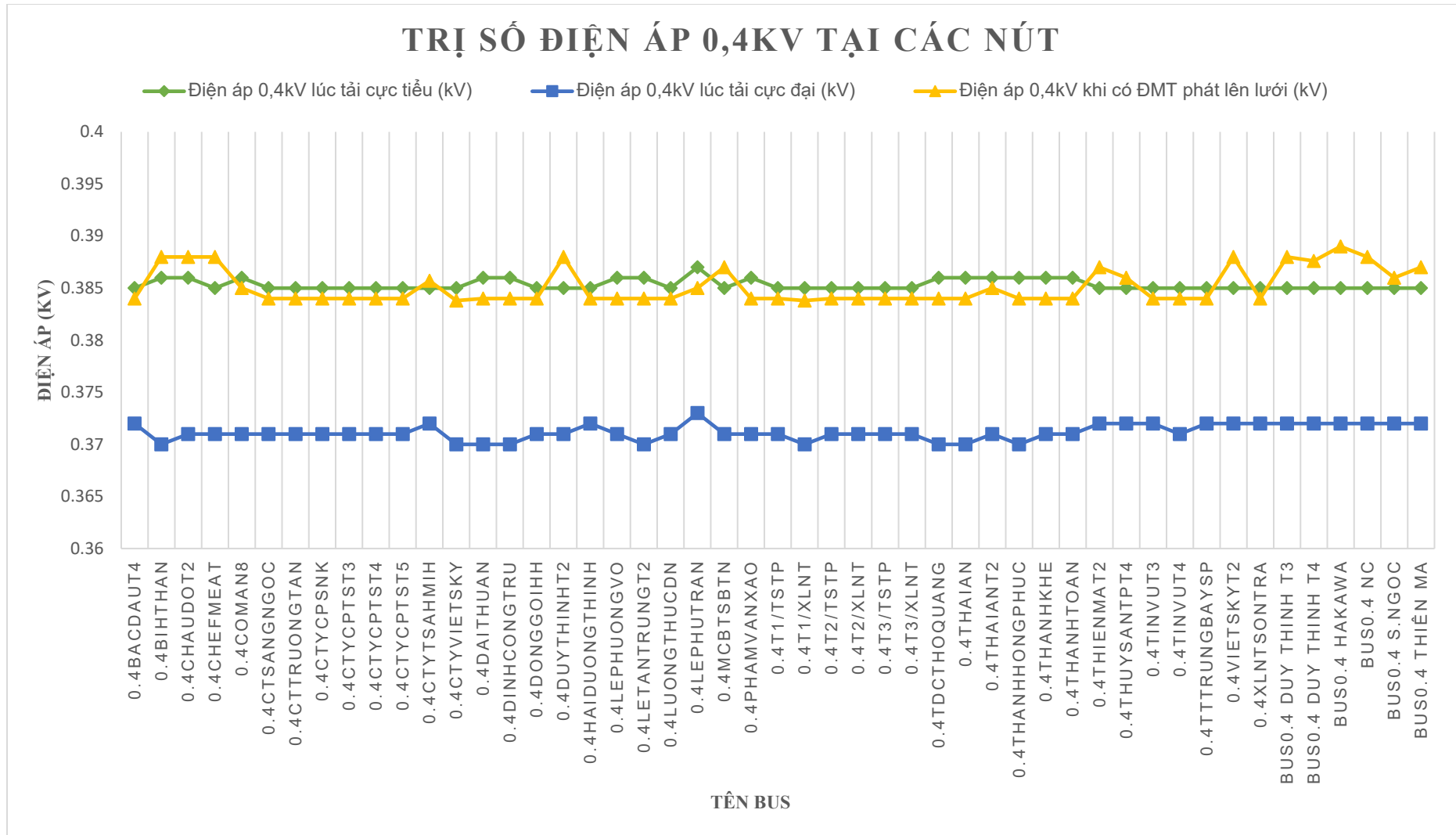
Phân bố công suất ở các chế độ vận hành sau phát sinh

|                    | <b>PHÂN BỐ CÔNG SUẤT Ở CÁC CHẾ ĐỘ VẬN HÀNH</b> |                 |                              |                 |                              |                 |
|--------------------|--|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
|                    | <b>Phụ tải cực tiểu (0h – 5h)</b>              |                 | <b>PV phát cực đại (12h)</b> |                 | <b>Phụ tải cực đại (18h)</b> |                 |
|                    | <b>P (MW)</b>                                  | <b>Q (Mvar)</b> | <b>P (MW)</b>                | <b>Q (Mvar)</b> | <b>P (MW)</b>                | <b>Q (Mvar)</b> |
| Công suất          | 5,58   | 1,76            | 9,69                         | 3,18            | 16,95                        | 7,32            |
| Tổn thất công suất | 0,15   | 0,36            | 0,18                         | 0,52            | 0,42                         | 3,01            |

- Kết quả điện áp giữa 3 chế độ được biểu diễn dưới dạng đồ thị:



Hình 3.17: Đồ thị trị số điện áp 22kV giữa 3 khung giờ sau khi tăng trưởng phụ tải



Hình 3.18: Đồ thị trị số điện áp 0,4kV giữa 3 khung giờ sau khi tăng trưởng phụ tải

- Từ kết quả chạy phân bố công suất của 3 chế độ sau khi phát sinh phụ tải và điện mặt trời ta thấy rằng.

+ Tổng công suất phụ tải cực tiểu trên toàn hệ thống là:

- Công suất tác dụng  $P = 5,58$  MW
- Công suất phản kháng  $Q = 1,76$  Mvar

Tổn thất công suất tác dụng trên lưới là  $P = 0,15$  MW, tương ứng với tỷ lệ tổn thất khoảng 2,69% so với tổng công suất phụ tải. Đây là mức tổn thất thấp, phản ánh lưới điện vận hành ổn định và hiệu quả trong điều kiện tải nhẹ.

Điện áp tại tất cả các nút trong hệ thống đều nằm trong giới hạn cho phép, cụ thể trong khoảng  $\pm 5\%$  so với điện áp định mức:

- Bus 22kV  $U_{22\max} = 22,66$  kV,  $U_{22\min} = 22,42$  kV
- Bus 0,4kV  $U_{0,4\max} = 0,387$  kV,  $U_{0,4\min} = 0,385$  kV

+ Tổng công suất phụ tải khi có điện mặt trời phát lên lưới là:

- Công suất tác dụng  $P = 9,69$  MW
- Công suất phản kháng  $Q = 3,18$  Mvar

Nhưng do có nguồn điện mặt trời phát lên lưới  $P = 4,32$  MW (trong đó là 2,32MW phụ tải tại đó tiêu thụ còn 2MW phát ngược lên lưới) nên công suất tác dụng trên toàn hệ thống chỉ phát 5,55 MW.

Tổn thất công suất tác dụng trên lưới là  $P = 0,18$  MW, tương ứng với tỷ lệ tổn thất khoảng 1,86 % so với tổng công suất phụ tải. Đây là mức tổn thất thấp, phản ánh lưới điện vận hành ổn định và hiệu quả trong điều kiện tải có sự hỗ trợ của nguồn mặt trời.

Điện áp tại tất cả các nút trong hệ thống đều nằm trong giới hạn cho phép, cụ thể trong khoảng  $\pm 5\%$  so với điện áp định mức:

- Bus 22kV  $U_{22\max} = 22,8$  kV,  $U_{22\min} = 22,46$  kV
- Bus 0,4kV  $U_{0,4\max} = 0,389$  kV,  $U_{0,4\min} = 0,384$  kV

+ Tổng công suất phụ tải cực đại trên toàn hệ thống là:

- Công suất tác dụng  $P = 16,95$  MW
- Công suất phản kháng  $Q = 7,32$  Mvar

Tổn thất công suất tác dụng trên lưới là  $P = 0,53$  MW, tương ứng với tỷ lệ tổn thất khoảng 3,12% so với tổng công suất phụ tải. Đây là mức tổn thất thấp, phản ánh lưới điện vận hành ổn định và hiệu quả trong điều kiện tải lớn.

Điện áp tại tất cả các nút trong hệ thống đều nằm trong giới hạn cho phép, cụ thể trong khoảng  $\pm 5\%$  so với điện áp định mức:

- Bus 22kV  $U_{22\max} = 22,7$  kV,  $U_{22\min} = 21,86$  kV

- Bus 0,4kV  $U_{0,4\max} = 0,373$  kV,  $U_{0,4\min} = 0.37$  kV

Điều này đảm bảo chất lượng điện áp được duy trì, không gây ảnh hưởng đến khả năng làm việc của thiết bị điện và độ tin cậy cung cấp điện.

Nhìn chung thì lưới điện đáp ứng tốt yêu cầu vận hành về cả mặt kỹ thuật và kinh tế ở cả 3 chế độ, đảm bảo ổn định điện áp, giảm thiểu tổn thất và duy trì khả năng cấp điện an toàn cho phụ tải.

#### ❖ Kết luận:

Sự chênh lệch điện áp 22kV ở các Bus giữa các thời điểm có sự thay đổi đáng kể tăng từ 0,2kV lên khoản 0,5kV so với điện áp định danh và có xu hướng tăng thêm về phía cuối nguồn so với lưới hiện trạng, do phụ tải tăng cao làm sụt giảm điện áp trên lưới.

Điện áp 0,4kV ở thời điểm ĐMT phát công suất cực đại dao động cao nhất quanh mức 0,384 – 0,388 có sự thay đổi so với lưới hiện trạng do có sự phát sinh thêm của nguồn mặt trời.

Sau khi tăng trưởng phụ tải và điện mặt trời trên lưới điện, điện áp vận hành tại các điểm đầu nối vẫn duy trì trong giới hạn cho phép, đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật theo quy định tại khoản 2 Điều 6 của Thông tư 05/2025/TT-BCT do Bộ Công Thương ban hành.

Cụ thể khoản 2 Điều 6 của Thông tư này quy định các tiêu chí kỹ thuật mà hệ thống truyền tải và phân phối điện phải tuân thủ, bao gồm cả việc đảm bảo điện áp ổn định trong phạm vi cho phép khi có sự tham gia của các nguồn năng lượng tái tạo như điện mặt trời.

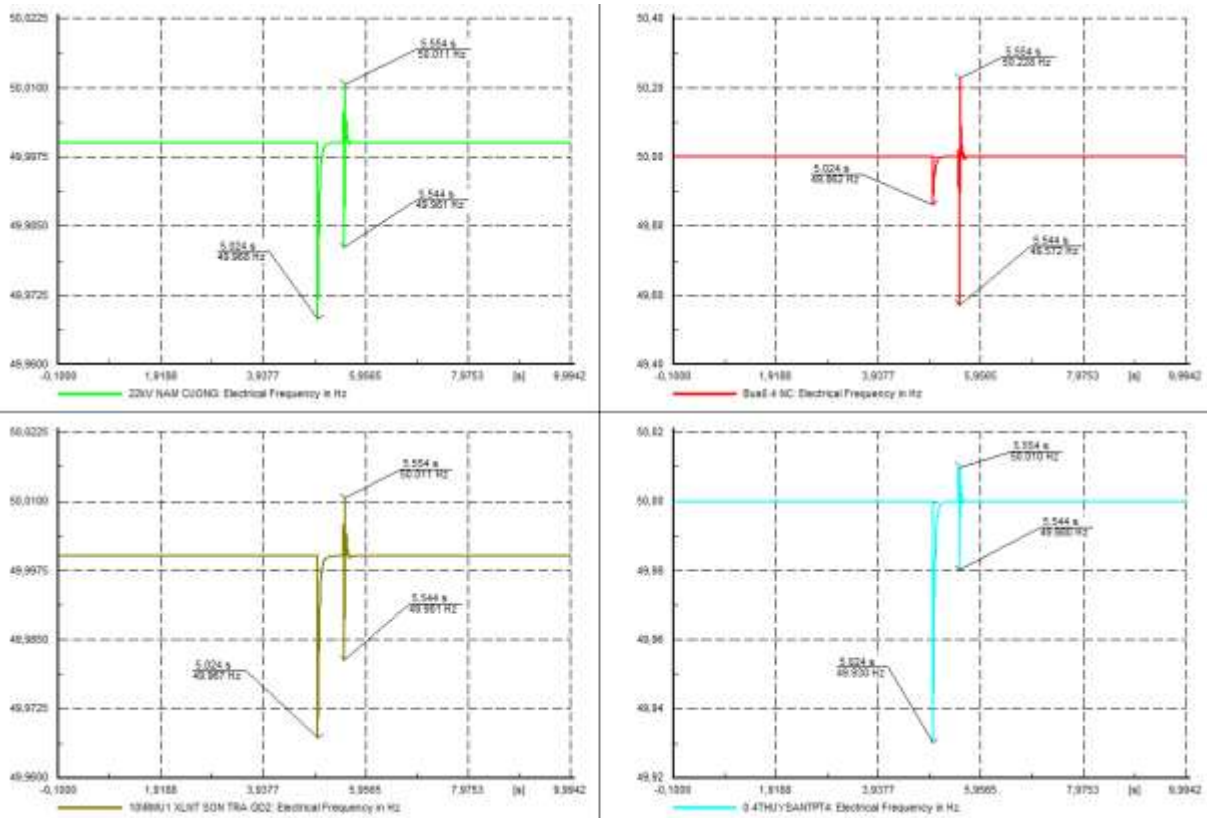
Việc duy trì điện áp ổn định trong điều kiện vận hành có sự tham gia của điện mặt trời là một yêu cầu quan trọng để đảm bảo chất lượng điện năng và an toàn cho hệ thống điện.

#### 3.4.2. Xét lại trường hợp ngắn mạch tương tự kịch bản 1 tại mục 3.3.2 ở lưới hiện trạng

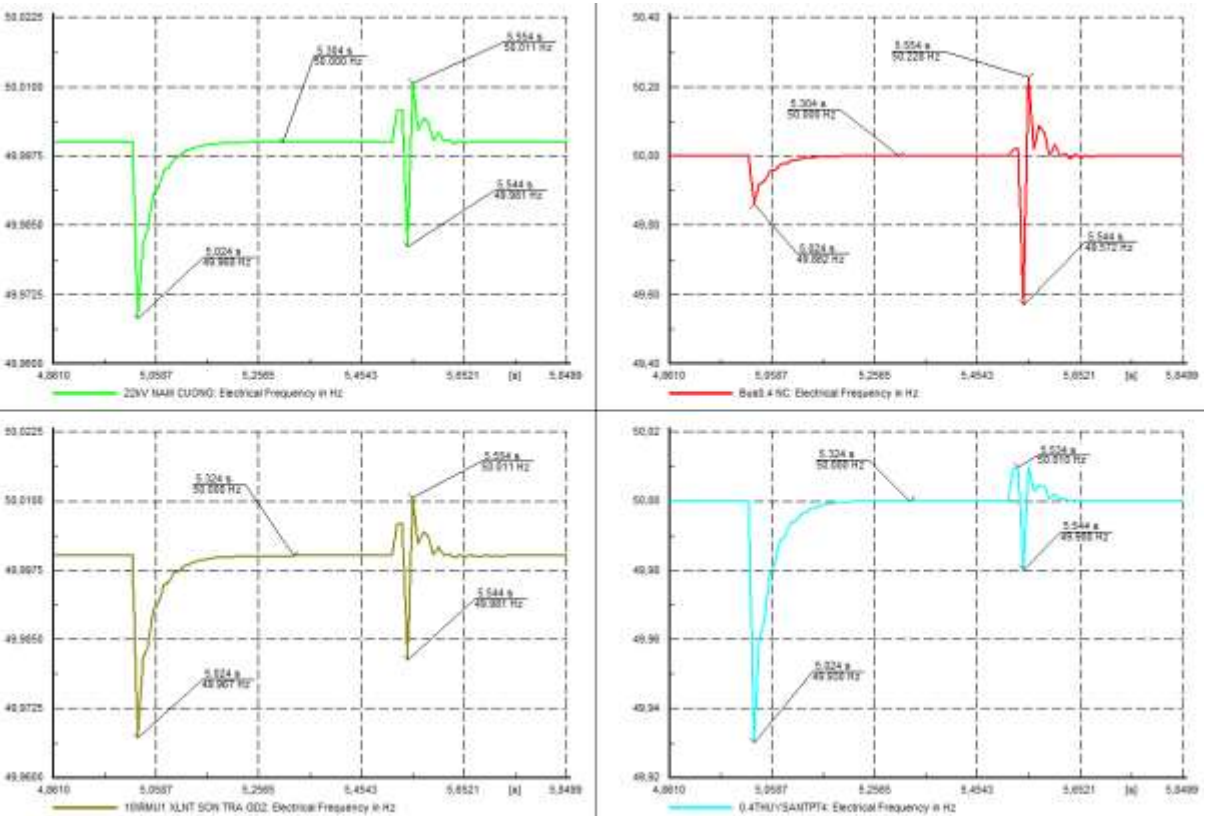
Nhóm tác giả sẽ chạy lại kịch bản ngắn mạch sau khi tăng trưởng phụ tải và điện mặt trời để so sánh với lưới hiện trạng:

| Vị trí NM  | Thời điểm (s) | Sự kiện  |
|--|---------------|--|
| Dây rẽ nhánh từ Bus 71/25 đến Bus 22kV NAM CUONG | 0 → 5         | Lưới điện đang hoạt động bình thường                             |
|  | 5             | Xảy ra ngắn mạch 3 pha trên đường dây ta xét                     |
|  | 5.5           | Bảo vệ rơ le đưa ra tín hiệu đi cắt máy cắt, sự cố được loại trừ |

- Kết quả dao động tần số:



Hình 3.19: Kết quả dao động tần số kịch bản ngắn mạch sau khi tăng trưởng phụ tải



Hình 3.20: Chi tiết kết quả dao động tần số kịch bản ngắn mạch sau khi tăng trưởng phụ tải

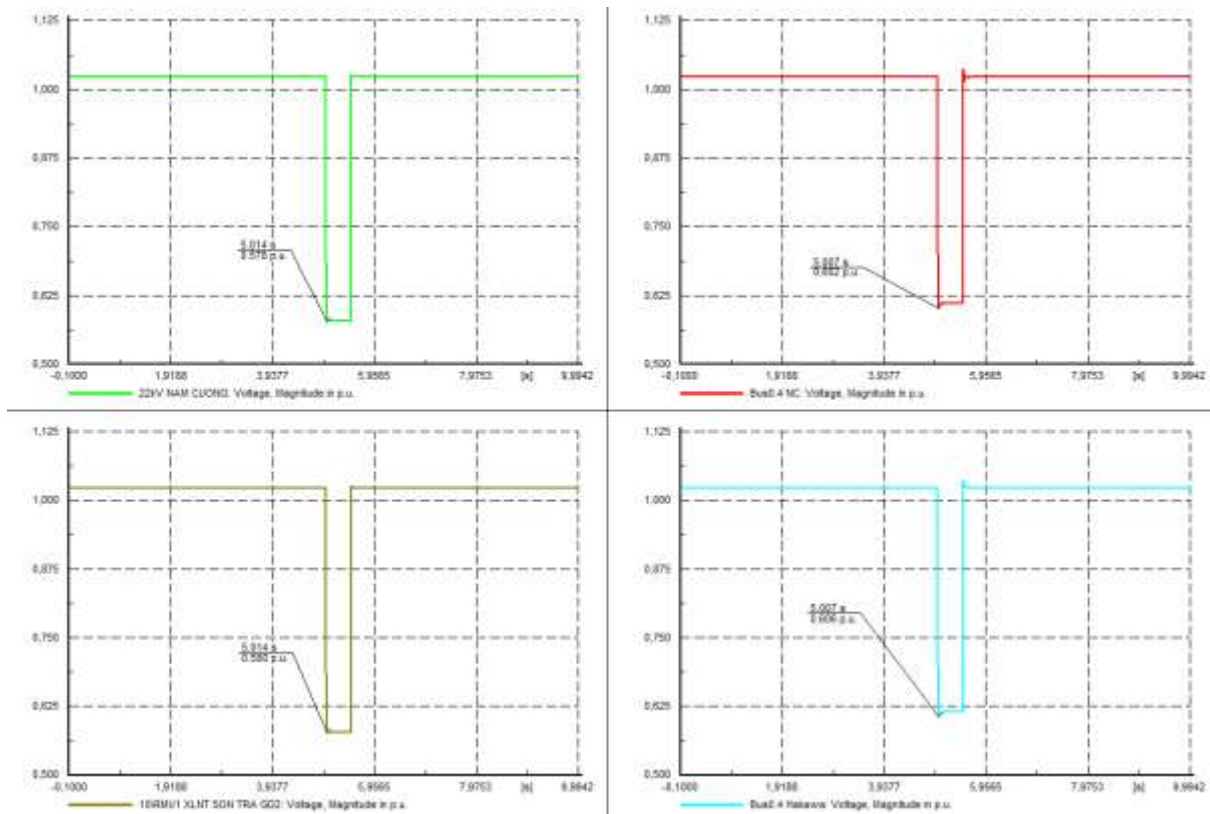
- ❖ **Phân tích kết quả:** Kết quả từ 2 hình trên thể hiện dao động tần số tại các Bus gần và xa tại vị trí xảy ra sự cố.
- Từ 0 đến 5 giây: Lưới điện hoạt động bình thường, tần số được duy trì ổn định ở mức xấp xỉ 50 Hz.
  - Tại thời điểm 5 giây: Xảy ra sự cố ngắn mạch 3 pha trên đường dây rẽ nhánh làm mất cân bằng công suất tức thời, dẫn đến sụt tần số nhanh chóng của các Bus gần vị trí ngắn mạch là 22kV NAM CUONG 49,968 Hz và bus0,4 NC là 49,862 Hz, ở các bus xa hơn như GD2 và 0,4thuysanT4 là 49,930 Hz có độ lệch thấp hơn so với các bus gần điểm ngắn mạch.
  - Từ 5.0 đến 5.5 giây: Khi vẫn tồn tại ngắn mạch nhưng hệ thống tự điều chỉnh, tần số có xu hướng phục hồi dần về 50 Hz nhờ các cơ chế điều khiển điều khiển công suất trong inverter của điện mặt trời.
  - Tại thời điểm 5.5 giây: Thiết bị bảo vệ rơ-le hoạt động, đưa ra tín hiệu cắt máy cắt, loại trừ sự cố khỏi lưới. Sau khi sự cố được loại bỏ, tần số tiếp tục dao động trong khoảng 49,572 - 50.228 Hz đây là dao động lớn nhất tại thanh góp nơi có điện mặt trời đầu nối và trở lại ổn định ngay sau đó.

Sự cố ngắn mạch 3 pha gây ra sự suy giảm tần số tức thời, phản ánh đúng bản chất vật lý của hiện tượng mất cân bằng công suất do dòng ngắn mạch tăng vọt.

Tần số phục hồi nhanh chóng cho thấy hệ thống có khả năng điều chỉnh tốt và các thiết bị bảo vệ đã hoạt động đúng chức năng, đúng thời điểm.

Các dao động tần số trên đều nằm trong phạm vi dải tần số được phép dao động từ 49Hz ÷ 51Hz với sự cố đơn lẻ căn cứ theo khoản 1 Điều 4 của Thông tư 05/2025/TT-BCT.

▪ Kết quả dao động điện áp:



Hình 3.21: Kết quả dao động điện áp kịch bản ngắn mạch sau khi tăng trưởng phụ tải

Qua kết quả dao động điện áp tại các vị trí trên lưới điện trong kịch bản sự cố ngắn mạch đường dây rẽ nhánh vào nhà máy điện mặt trời (xảy ra vào thời điểm 5s và được loại trừ vào thời điểm 5.5s), có thể nhận thấy các đặc điểm sau:

Tại thời điểm xảy ra sự cố  $t_1 = 5s$ , điện áp tại tất cả các nút khảo sát đều sụt giảm đột ngột. Mức giảm điện áp dao động trong khoảng 0.578–0.606 p.u, cho thấy ảnh hưởng lan rộng và rõ rệt của sự cố lên lưới điện khu vực.

Các nút gần khu vực sự cố như Bus0,4 NC, 22kV NAM CUONG do nằm gần điểm ngắn mạch, có mức sụt điện áp sâu hơn khoảng 0,004kV so với các nút xa hơn như Bus0,4thuysanT4 hoặc GD2.

Sau khi rơ le bảo vệ hoạt động và máy cắt loại trừ sự cố  $t_2 = 5.5s$ , điện áp tại các nút nhanh chóng hồi phục và trở lại trạng thái ổn định ban đầu (xấp xỉ 1.0 p.u), cho thấy hệ thống bảo vệ hoạt động hiệu quả, giúp cô lập nhanh vùng sự cố và phục hồi lưới.

➤ So sánh kết quả:

So sánh với kết quả mô phỏng sự cố ngắn mạch tại lưới hiện trạng được trình bày trong mục 3.3.2, ta nhận thấy rằng sau khi tăng phụ tải và nguồn điện mặt trời, các thông số kỹ thuật của hệ thống trong tình huống xảy ra sự cố ngắn mạch biến thiên rõ rệt theo chiều hướng bất lợi hơn. Cụ thể, tần số và điện áp tại các thanh góp (bus) sụt giảm và dao động mạnh hơn so với trường hợp hiện trạng chưa có phát sinh phụ tải và ĐMT.

Nguyên nhân: Gia tăng phụ tải làm tăng dòng điện ngắn mạch trong hệ thống, do đó khi xảy ra sự cố, dòng ngắn mạch thực tế tăng lên và gây ra sụt áp mạnh tại khu vực xảy ra sự cố cũng như các nút lân cận.

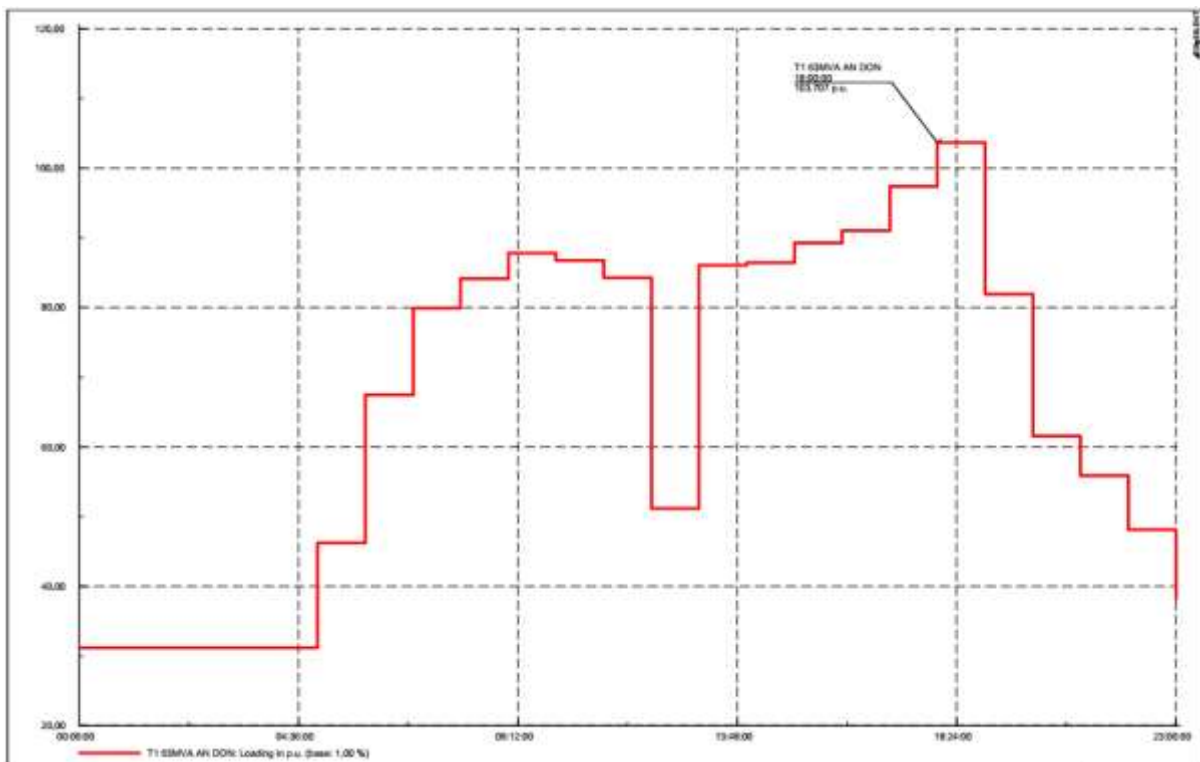
Nguồn điện mặt trời tăng cao khi phát công suất tại thời điểm xảy ra sự cố sẽ góp phần đẩy dòng vào điểm ngắn mạch và làm tăng biên độ dao động.

### 3.4.3. Vấn đề kỹ thuật phát sinh trên lưới

Sau khi phát triển các nguồn điện mặt trời áp mái và xét đến sự tăng trưởng nhanh chóng của phụ tải trên lưới đã phát sinh một số vấn đề kỹ thuật đáng chú ý. Trong đó, hiện tượng quá tải máy biến áp 110kV tại trạm biến áp 110kV An Đồn vào thời điểm phụ tải cực đại được xem là vấn đề nghiêm trọng cần được phân tích và xử lý kịp thời.

Nguyên nhân chính dẫn đến quá tải máy biến áp là do tổng công suất phụ tải tiêu thụ tại khu vực ngày càng tăng, đặc biệt vào khung giờ cao điểm chiều tối. dẫn đến tăng dòng công suất qua máy biến áp 110/22kV tại trạm An Đồn vượt mức công suất định mức cho phép.

Hiện tượng quá tải nếu kéo dài sẽ gây suy giảm tuổi thọ cách điện của máy biến áp, làm tăng tổn thất công suất, giảm hiệu suất vận hành và tiềm ẩn nguy cơ sự cố nghiêm trọng, ảnh hưởng đến độ tin cậy cung cấp điện trong khu vực. Do đó, cần có các giải pháp kỹ thuật hợp lý như tăng cường điều phối công suất, ứng dụng hệ thống lưu trữ năng lượng (BESS), hoặc nâng cấp công suất máy biến áp nhằm đảm bảo vận hành an toàn và hiệu quả của lưới điện.



Hình 3.22: Đồ thị loading (%) của MBA 110kV An Đồn

- Từ hình 3.22 ta thấy rằng máy biến áp đã vượt công suất định mức vào giờ cao điểm chiều tối (18h00) loading 103,707 % quá tải 3,707% so với công suất định mức của MBA, điều này cho thấy hiện tượng quá tải ngắn hạn, gây nguy cơ suy giảm tuổi thọ cách điện, tăng tổn hao và rủi ro sự cố thiết bị.

### **3.5. Giải pháp nâng cao hiệu quả vận hành về mặt kỹ thuật và về mặt kinh tế khi phụ tải và nguồn điện mặt trời tăng trưởng trong tương lai.**

Qua phân tích kịch bản tăng trưởng phụ tải và điện mặt trời trên lưới điện tại mục 4.3, nhóm tác giả nhận thấy vào thời điểm cao điểm buổi tối (khoảng 18h), phụ tải tăng cao đột biến, dẫn đến hiện tượng quá tải máy biến áp tại trạm 110kV An Đồn và vào khung giờ giữa trưa (khoảng 12h) khi điện mặt trời đạt công suất phát cực đại một lượng lớn công suất dư thừa không được tiêu thụ làm giảm hiệu quả khai thác nguồn năng lượng tái tạo.

Trước tình hình đó, nếu thực hiện giải pháp truyền thống là nâng công suất hoặc thay thế máy biến áp 110kV, chi phí đầu tư sẽ rất lớn, thời gian thi công kéo dài, đồng thời không giải quyết được vấn đề hấp thụ công suất tái tạo dư thừa vào buổi trưa.

Để tối ưu hiệu quả cả về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế, **tác giả đề xuất giải pháp tích hợp hệ thống lưu trữ năng lượng bằng pin (BESS - Battery Energy Storage System).** Giải pháp này cho phép:

- Sạc năng lượng vào giờ thấp điểm (đêm) khi giá điện thấp.
- Hấp thụ công suất dư từ hệ thống điện mặt trời vào buổi trưa.
- Xả điện vào giờ cao điểm buổi tối khi giá điện cao và phụ tải tăng mạnh.

Qua đó, BESS góp phần:

- Giảm áp lực vận hành lên máy biến áp 110kV vào giờ cao điểm.
- Hạn chế tình trạng dư thừa công suất điện mặt trời vào giữa trưa.
- Làm phẳng biểu đồ phụ tải, giúp vận hành lưới điện ổn định hơn.

Tính toán thêm chi phí mua điện giờ thấp bán điện giờ cao để thu hồi vốn lắp đặt BESS đạt hiệu quả về mặt kinh tế.

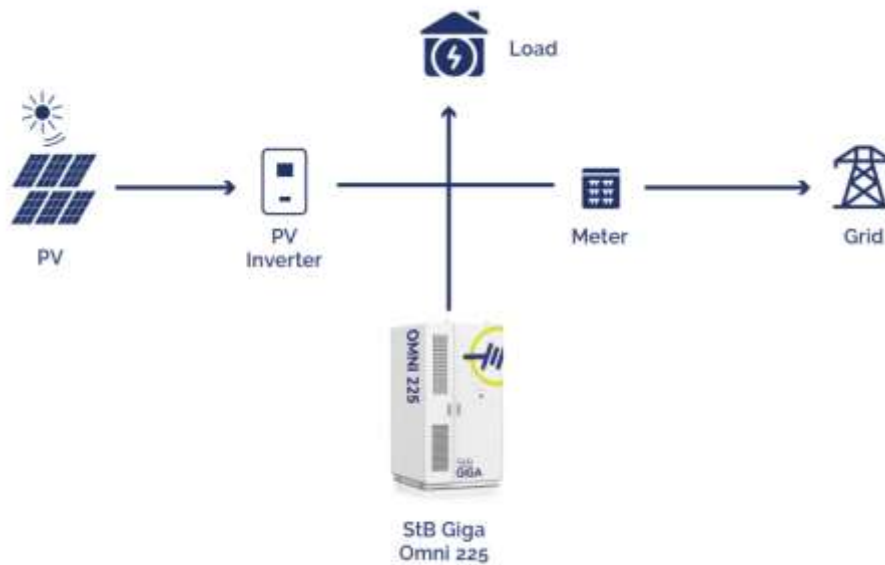
#### **3.5.1. Hệ thống pin lưu trữ năng lượng – BESS**

Hệ thống lưu trữ năng lượng bằng pin (Battery Energy Storage System – BESS) là một công nghệ hiện đại sử dụng pin lithium-ion (Li-ion) chuyên dụng để tích trữ điện năng, cho phép sử dụng lại nguồn năng lượng này vào thời điểm khác khi cần thiết. BESS đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ các nguồn năng lượng tái tạo như điện mặt trời và điện gió, giúp điều hòa giữa cung và cầu điện năng, từ đó nâng cao hiệu quả vận hành của hệ thống điện.

- Về quy mô: Khác với các hệ thống lưu trữ thông thường vốn chỉ có dung lượng giới hạn khoảng vài trăm đến 1000 kWh – chủ yếu phục vụ tải trong thời gian ngắn, các hệ thống BESS hiện đại có thể đạt tới dung lượng lưu trữ hàng trăm MWh, đủ khả năng cấp điện liên tục trong nhiều giờ. Điều này giúp hệ thống có

thể tham gia vào các chức năng như điều tần, san bằng phụ tải, hoặc thậm chí hỗ trợ cấp điện trong giờ cao điểm.

- Công nghệ lõi lưu trữ: Thành phần chính của BESS là các module pin sử dụng công nghệ tiên tiến như lithium-ion hoặc vanadium redox. Đây là hai trong số những công nghệ pin có hiệu suất cao và độ tin cậy tốt nhất hiện nay trong lĩnh vực lưu trữ năng lượng.
- Hình thức tổ chức: Các hệ thống BESS thường được thiết kế theo dạng mô-đun, lắp đặt trong các container tiêu chuẩn hoặc các khối box di động. Cách thiết kế này giúp việc vận chuyển, lắp đặt và mở rộng công suất trở nên linh hoạt hơn, đồng thời dễ dàng triển khai tại nhiều địa điểm khác nhau theo nhu cầu cung cấp năng lượng cục bộ.



Hình 3.23: Hệ thống BESS kết nối với lưới điện.

### 3.5.2. Vai trò của hệ thống BESS

Sự bùng nổ của các hệ thống điện mặt trời trong thời gian gần đây đã dẫn đến tình trạng quá tải cục bộ trên lưới điện quốc gia, đặc biệt vào những thời điểm có bức xạ mặt trời mạnh, trong khi nhu cầu tiêu thụ điện chủ yếu lại tập trung vào khung giờ chiều tối. Sự mất cân đối này gây áp lực lên hệ thống truyền tải và ảnh hưởng đến chất lượng cung cấp điện. Để khắc phục vấn đề này, giải pháp lưu trữ năng lượng bằng hệ thống BESS được triển khai nhằm điều phối nguồn điện hợp lý hơn, tận dụng tối đa sản lượng điện mặt trời và giảm tải cho lưới điện vào các thời điểm không phù hợp.

Ngoài việc hỗ trợ cân bằng cung - cầu điện năng, BESS còn cho phép tích trữ điện trong các giờ thấp điểm để sử dụng vào giờ cao điểm, góp phần giảm chi phí tiêu thụ điện và tối ưu hóa hiệu quả sử dụng năng lượng. Thêm vào đó, hệ thống này cũng có thể đảm bảo nguồn cung điện liên tục trong trường hợp xảy ra sự cố mất điện lưới, từ đó nâng cao độ tin cậy trong cung cấp điện cho người sử dụng.

### 3.5.3. Nguyên lý của các hình thức lưu trữ điện của BESS

Khi kết hợp với nguồn năng lượng tái tạo: Hệ thống lưu trữ điện BESS có khả năng tích trữ lượng điện dư thừa được tạo ra trong thời gian nguồn phát dồi dào, để sử dụng vào các thời điểm thiếu hụt như ban đêm, trời nhiều mây (đối với điện mặt trời) hoặc khi gió yếu (đối với điện gió). Điều này không chỉ giúp giảm sự phụ thuộc vào điện lưới mà còn góp phần tiết kiệm chi phí điện năng. Đồng thời, BESS còn đóng vai trò điều tiết công suất phát, ngăn không cho nguồn tái tạo phát ngược lên lưới vào những thời điểm lưới đã đầy tải, đáp ứng yêu cầu vận hành từ phía EVN.

Khi kết hợp với điện lưới: BESS có thể sạc điện từ lưới vào các khung giờ giá điện thấp và xả ra để sử dụng vào giờ cao điểm. Cách làm này giúp người dùng tối ưu chi phí điện năng tiêu thụ mà vẫn đảm bảo được nguồn điện liên tục trong các tình huống khẩn cấp như mất điện. Khả năng sử dụng điện một cách linh hoạt này đặc biệt phù hợp trong các mô hình quản lý năng lượng hiện đại.

Tính linh hoạt trong triển khai: Hệ thống BESS được thiết kế theo dạng mô-đun nên có thể dễ dàng thay đổi về mặt công suất hoặc dung lượng lưu trữ tùy theo nhu cầu thực tế. Ngoài ra, nhờ tính cơ động cao, hệ thống có thể được di chuyển và lắp đặt tại các vị trí mới, đáp ứng kịp thời cho các khu vực đang gặp tình trạng quá tải hoặc thiếu hụt điện cục bộ.

### 3.5.4. Ưu điểm của hệ thống lưu trữ BESS

So với các hệ thống lưu điện truyền thống khác thì việc sử dụng hệ thống BESS mang lại những ưu điểm như sau:

- Tăng tính tự chủ năng lượng: Lưu trữ điện để sử dụng vào ban đêm hoặc khi mất điện, đảm bảo hoạt động ổn định cho các thiết bị, đặc biệt là các tải quan trọng.
- Dung lượng lớn, thời gian cấp điện dài: Hệ thống BESS hiện nay có công suất phổ biến từ 50kW đến 1MW, đủ cung cấp điện liên tục từ 2–5 giờ, đáp ứng nhu cầu cho doanh nghiệp và dân cư.
- Phù hợp vùng chưa có điện lưới: Kết hợp với năng lượng mặt trời/điện gió, BESS là giải pháp hiệu quả cho các khu vực vùng sâu, vùng xa, hải đảo.
- Chế độ sạc/xả linh hoạt: Cho phép cài đặt theo thời gian hoặc theo nhu cầu tải, giúp tận dụng hiệu quả nguồn năng lượng tái tạo và giảm chi phí điện.
- Tiết kiệm diện tích: Thiết kế theo dạng container nhỏ gọn, dễ triển khai tại khu dân cư hoặc trung tâm phụ tải mà không cần mặt bằng lớn.
- Dễ nâng cấp và bảo trì: Cấu trúc dạng mô-đun cho phép thay thế, sửa chữa từng phần dễ dàng; đồng thời có khả năng chống chịu môi trường ngoài trời tốt.
- Thân thiện môi trường: Góp phần giảm phụ thuộc vào điện từ nhiên liệu hóa thạch, giảm phát thải CO<sub>2</sub>, hướng tới phát triển bền vững.
- Hướng chính sách ưu đãi: Được Chính phủ khuyến khích phát triển với các hỗ trợ tài chính, phù hợp với định hướng “trung hòa carbon vào năm 2050” theo cam kết tại COP26.

### 3.5.5. Một vài ứng dụng cụ thể của BESS

Tiết kiệm chi phí điện năng: BESS tại các khu công nghiệp, tòa nhà thương mại hoặc hộ gia đình giúp sạc vào giờ thấp điểm và xả vào giờ cao điểm, giảm chi phí tiêu thụ điện. Đồng thời, tích trữ phần điện dư từ hệ thống điện mặt trời áp mái, tránh lãng phí.

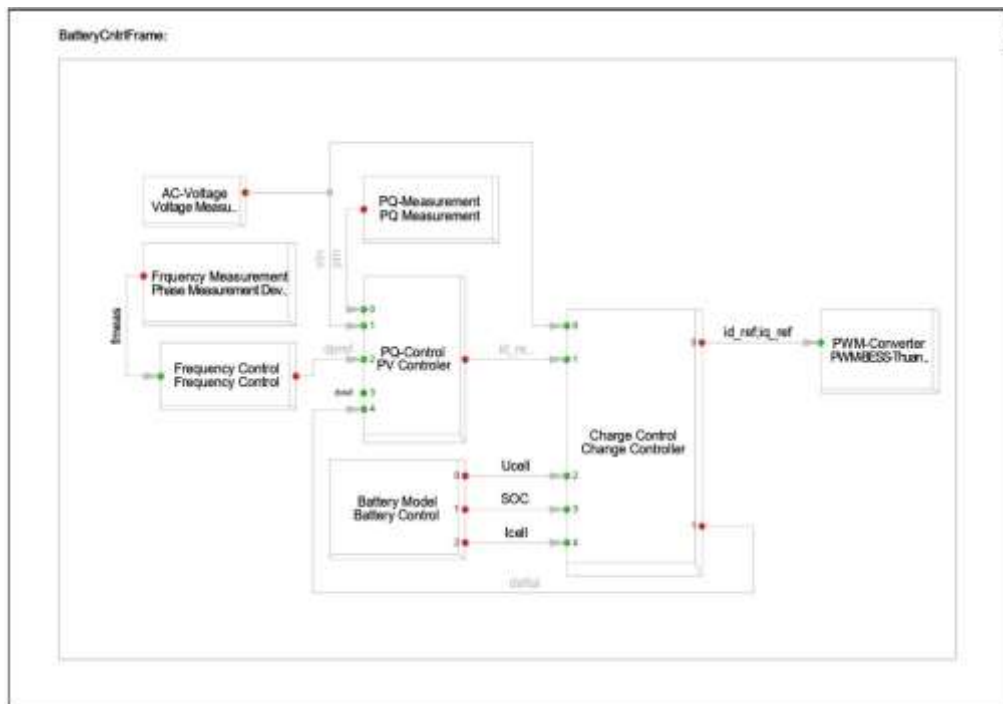
Hỗ trợ vận hành lưới điện: BESS nối lưới có thể cung cấp các dịch vụ như:

- Dịch chuyển phụ tải (load shifting)
- Ổn định tần số và điện áp (frequency & voltage regulation)
- Giảm nhu cầu đầu tư nâng cấp lưới cục bộ (grid deferral)

Ổn định nguồn năng lượng tái tạo: BESS tại các dự án điện mặt trời, điện gió giúp làm mượt công suất phát, cải thiện chất lượng điện năng (renewable smoothing).

### 3.5.6. Mô hình thiết bị BESS áp dụng vào mô phỏng

Nhóm tác giả sẽ sử dụng thiết bị BESS trong phần mềm DIgSILENT PowerFactory với bộ điều khiển như hình:



Hình 3.24: Bộ điều khiển thiết bị BESS trong phần mềm DIgSILENT Power Factory.

Để đánh giá hiệu quả của việc ứng dụng hệ thống lưu trữ năng lượng bằng pin (Battery Energy Storage System – BESS) trong vận hành lưới điện phân phối có tích hợp nguồn năng lượng tái tạo, nhóm tác giả đề xuất phương án lắp đặt hệ thống BESS với tổng công suất 4 MW. Hệ thống BESS sẽ được phân bố đồng đều tại 8 vị trí khác nhau trên lưới điện, tương ứng với 8 trạm biến áp phân phối có tích hợp hệ thống điện mặt trời và thuộc tài sản của ngành điện.

Cụ thể, tại mỗi trạm biến áp có đầu nối nguồn điện mặt trời, hệ thống BESS công suất 0,5 MW sẽ được lắp đặt tại thanh cái hạ áp 0,4 kV. Việc lựa chọn vị trí đầu nối tại

thanh cái hạ áp nhằm đảm bảo khả năng phản ứng nhanh của hệ thống lưu trữ với các biến động công suất do nguồn điện mặt trời gây ra, đồng thời hỗ trợ san bằng phụ tải, hấp thụ công suất dư thừa trong các thời điểm điện mặt trời phát vượt nhu cầu phụ tải tại chỗ.

Phương án phân bố BESS theo hướng phân tán như trên mang lại nhiều lợi ích so với phương án tập trung, bao gồm:

- Giảm thiểu hiện tượng quá áp cục bộ tại các khu vực có điện mặt trời phát dư.
- Tăng cường độ ổn định điện áp cục bộ nhờ khả năng điều chỉnh công suất BESS.
- Giảm tổn thất truyền tải khi công suất sạc/xả được thực hiện ngay tại khu vực phát sinh/tiêu thụ.
- Tăng tính linh hoạt trong vận hành lưới điện, đặc biệt trong điều kiện phụ tải và nguồn phân tán thay đổi nhanh.

### 3.5.6.1. Thiết lập điều kiện vận hành

Khi hệ thống lưu trữ năng lượng bằng pin (Battery Energy Storage System - BESS) đã được tích hợp vào lưới điện phân phối, tác giả sẽ tiến hành thiết lập chiến lược vận hành sạc – xả tối ưu nhằm đáp ứng đồng thời các mục tiêu kinh tế và kỹ thuật của hệ thống. Việc cài đặt điều kiện vận hành BESS sẽ dựa trên dữ liệu giá điện theo thời gian thực, dữ liệu phát điện từ nguồn điện mặt trời, cũng như đặc điểm phụ tải trong ngày của khu vực.

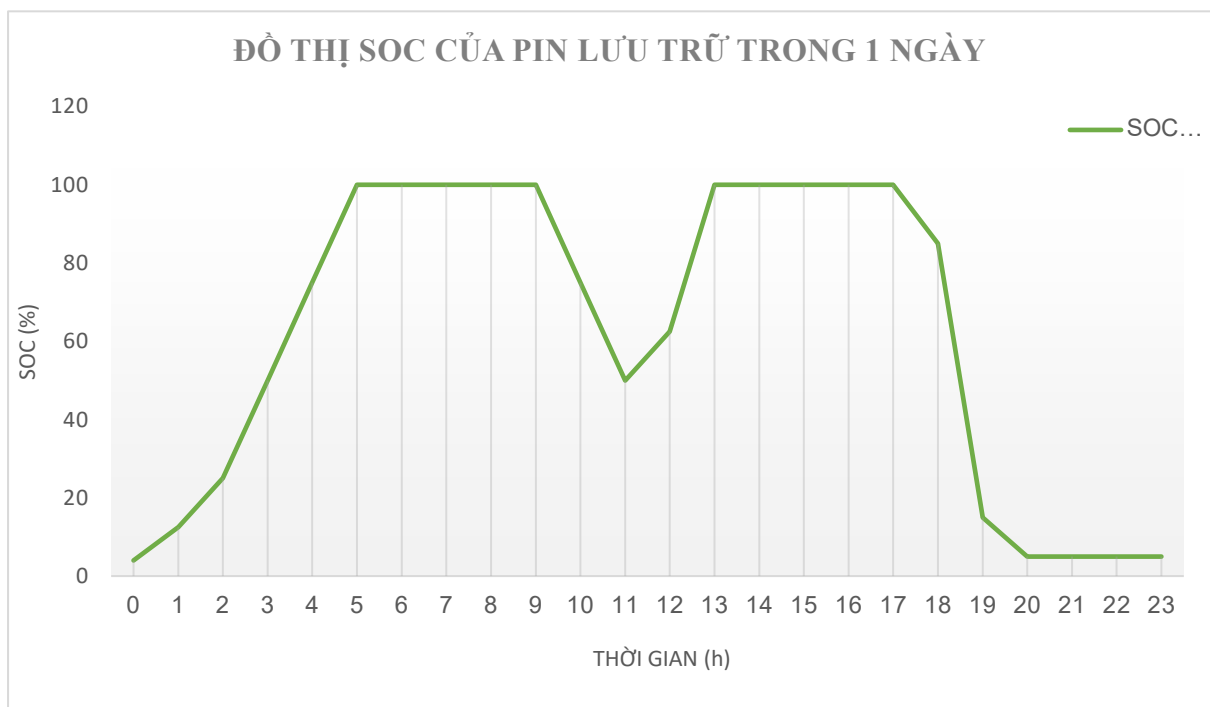
- Chế độ sạc xả được cài đặt như sau:

**Bảng 3.8**

chế độ sạc xả của BESS trong các khung giờ

| Thời gian (h) | Chế độ vận hành | Công suất (MWh) | Giải thích lý do vận hành  |
|---------------|-----------------|-----------------|--|
| 0 – 1         | Sạc             | 0,5             | Đây là đầu khung giờ thấp điểm, nên bắt đầu sạc với công suất nhỏ để giảm sốc dòng cho pin và tránh ảnh hưởng đột ngột đến lưới điện ban đêm. Đồng thời, giúp đánh giá tình trạng vận hành pin và lưới trước khi tăng dần công suất sạc. |
| 1 - 2         | Sạc             | 0,5             | Tiếp tục sạc ổn định ở mức thấp để duy trì quá trình nạp bền vững, vẫn nằm trong thời gian giá điện thấp. Giữ mức này giúp tăng hiệu quả sạc theo đặc tính SOC–hiệu suất của pin.  |
| 2 - 3         | Sạc             | 1               | Sau 2 giờ khởi động nhẹ, pin đã ổn định nhiệt và SOC chưa cao, cho phép tăng công suất sạc để tận dụng phần còn lại của thời gian thấp điểm, đẩy nhanh tiến độ nạp đầy.  |
| 3 - 4         | Sạc             | 1               | Duy trì sạc nhanh khi giá điện vẫn thấp. Đây là lúc hiệu suất sạc vẫn cao và giúp đảm bảo đầy pin trước khi bắt đầu xả sáng.   |

|         |     |     |   |
|---------|-----|-----|---|
| 4 - 5   | Sạc | 1   | Giai đoạn kết thúc sạc ban đêm, SOC đã cao, nhưng vẫn tiếp tục sạc đầy để đạt trạng thái sẵn sàng xả vào buổi sáng.   |
| 9 - 10  | Xả  | 1   | Bắt đầu xả nhẹ vào giờ cao điểm sáng để tận dụng giá điện cao. Đồng thời giảm tải cho lưới khi nhu cầu tiêu thụ sáng tăng cao.  |
| 10 - 11 | Xả  | 1   | Tiếp tục xả để san phụ tải và tạo dòng thu lợi nhuận bán điện. Tổng lượng xả sáng vừa phải để dành năng lượng cho cao điểm chiều.   |
| 11 - 12 | Sạc | 0,5 | Bắt đầu thời điểm điện mặt trời phát, lượng công suất dư xuất hiện, nên sạc nhẹ để hấp thụ dần công suất PV dư thừa, tránh gây quá áp cục bộ.   |
| 12 - 13 | Sạc | 1,5 | Đây là thời điểm phát cực đại của điện mặt trời, dư thừa nhiều nhất. Sạc với công suất cao nhằm hấp thụ phần dư tránh phát ngược lên lưới. Đồng thời tích trữ chuẩn bị cho xả buổi tối. |
| 17 - 18 | Xả  | 0,6 | Khởi động xả buổi tối khi phụ tải bắt đầu tăng. Xả nhẹ để kiểm soát điện áp và SOC pin.   |
| 18 - 19 | Xả  | 2,8 | Xả công suất lớn nhất trong ngày để hỗ trợ hạ đỉnh phụ tải, giảm quá tải MBA  |
| 19 - 20 | Xả  | 0,6 | Giảm công suất xả khi nhu cầu lưới bắt đầu giảm. SOC pin cũng gần cạn nên hạ công suất để tránh xả quá sâu, ảnh hưởng đến tuổi thọ pin.   |



Hình 3.25: SOC của pin lưu trữ trong 1 ngày

### ❖ Giải thích đồ thị:

0h – 5h: SOC tăng từ ~5% lên đến 100%. Pin đang được sạc có thể do có nguồn điện rẻ vào ban đêm.

9h – 11h: SOC giảm đều từ 100% xuống 50%. Pin xả đang hỗ trợ phụ tải cao điểm buổi sáng.

11h – 12h: SOC tăng mạnh từ 50% lên 100%. Pin sạc nhanh đây do mua điện từ nguồn mặt trời dư thừa vào thời điểm mặt trời phát cực đại.

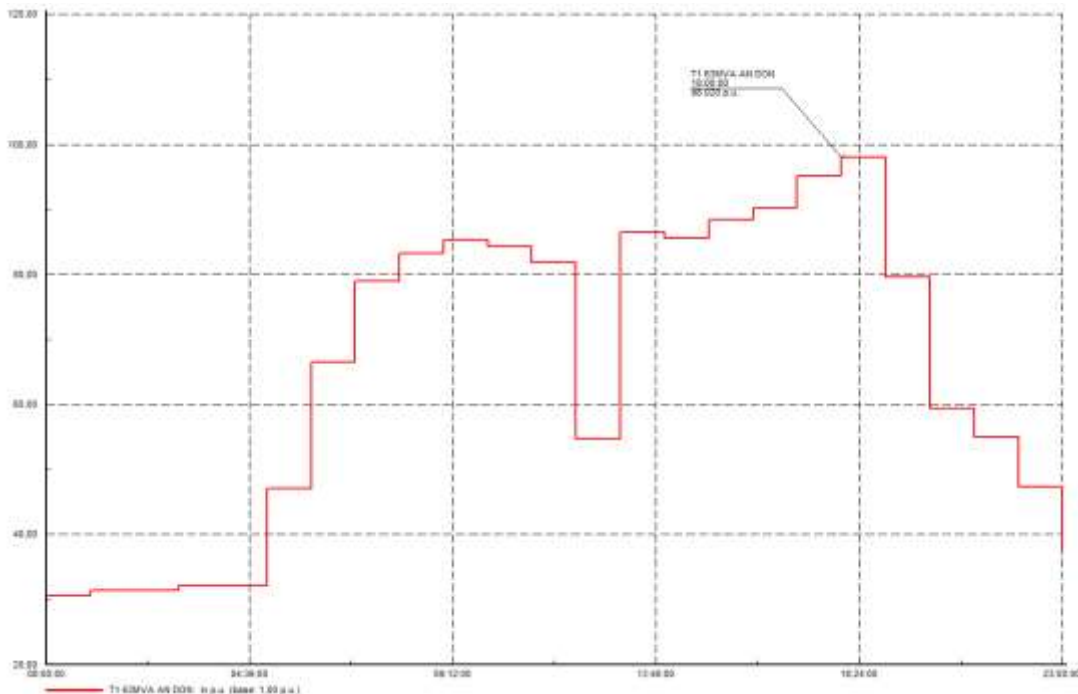
17h – 20h: SOC tụt mạnh xuống 5% và giữ nguyên. Pin xả hết công suất để hỗ trợ giờ cao điểm (giờ chiều tối).

Sau đó pin không còn năng lượng để xả tiếp (SOC ~5%).

### 3.5.6.2. Hiệu quả về mặt kỹ thuật

Sau khi lắp đặt và vận hành hệ thống lưu trữ năng lượng BESS trên lưới điện phân phối khu vực, nhóm tác giả tiến hành đánh giá các hiệu quả kỹ thuật mà hệ thống này mang lại. Qua các mô phỏng và phân tích kết quả vận hành trong các chế độ sạc – xả theo thời gian thực, BESS đã thể hiện vai trò quan trọng trong việc nâng cao chất lượng điện năng và độ tin cậy vận hành lưới.

- Trước tiên là giải quyết được tình trạng quá tải MBA 110kV An Đồn ở giờ cao điểm (18h).



Hình 3.26: Đồ thị loading (%) của MBA 110kV An Đồn sau khi lắp BESS

### ❖ So sánh kết quả:

+ Hình 3.22: Đồ thị mức độ quá tải của máy biến áp 110kV trước khi lắp BESS

- Mức độ quá tải cao hơn đáng kể trong giờ cao điểm (18h).
- Đường cong tăng vọt, đạt đỉnh khoảng trên 100% cụ thể là 103,707% tải MBA trong khoảng 18h - 19h.
- Thời gian duy trì mức tải cao kéo dài, thể hiện việc quá tải MBA xảy ra có thể gây áp lực lên hệ thống và tiềm ẩn nguy cơ sự cố.

+ Hình 3.26: Đồ thị mức độ quá tải của máy biến áp 110kV sau khi BESS được lắp đặt

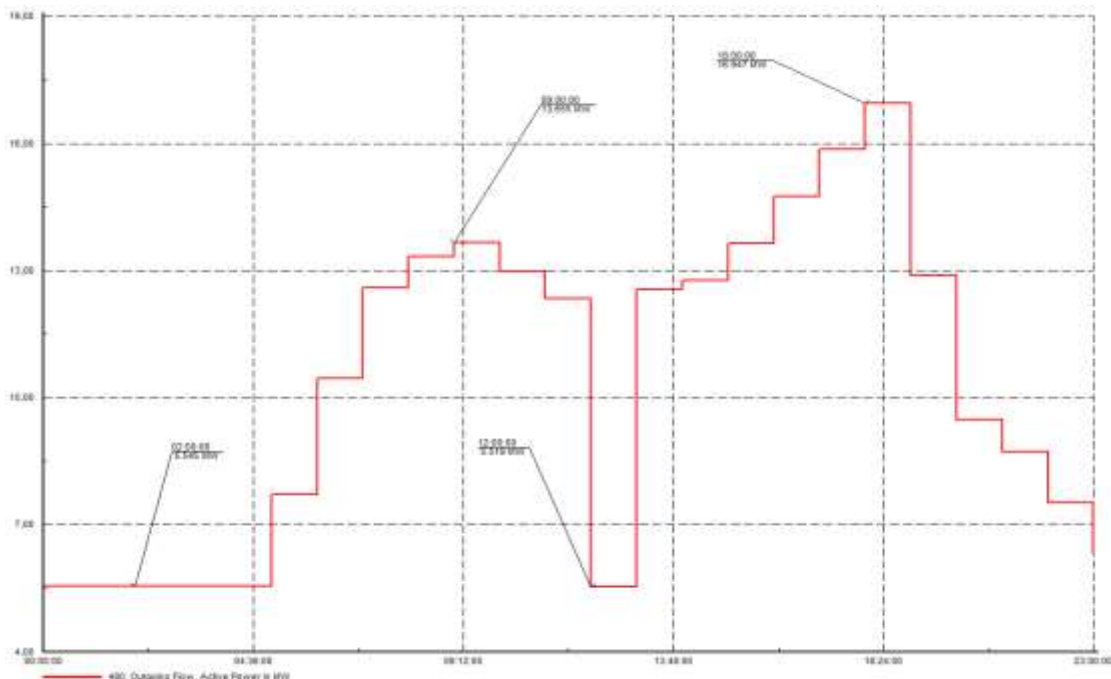
- Mức tải tại các giờ cao điểm đã giảm đáng kể, không còn vượt quá 100% công suất MBA và duy trì ở mức 98%.
- Đường cong được san phẳng hơn, không còn những đỉnh nhọn, thể hiện hiệu quả cắt đỉnh phụ tải nhờ BESS.
- Đã làm giảm áp lực quá tải cho MBA vào giờ cao điểm (18h-19h).

**Bảng 3.9**

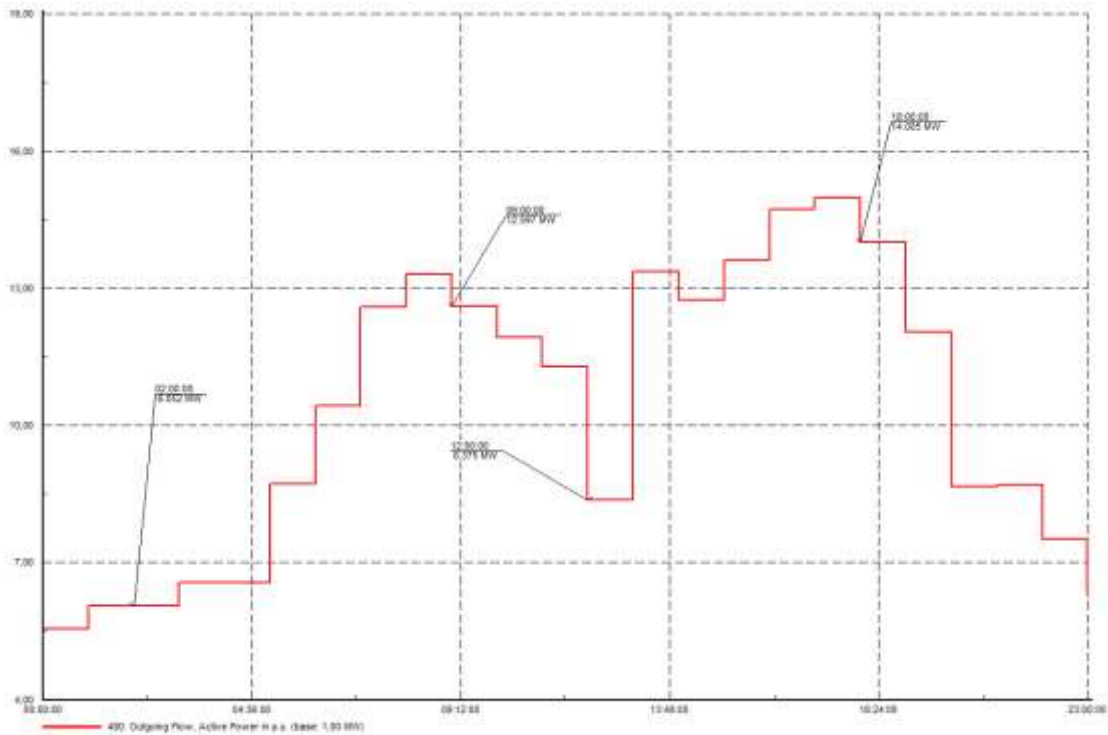
So sánh kết quả quá tải trước lắp BESS và sau lắp BESS

| Đặc điểm          | Trước lắp BESS       | Sau lắp BESS                   |
|-------------------|----------------------|--------------------------------|
| Mức quá tải       | MBA Quá tải 3,707%   | MBA hết quá tải giảm còn 98%   |
| Độ ổn định        | Cao vào giờ cao điểm | Tải ổn định hơn, san phẳng hơn |
| Hiệu quả của BESS |                      | Hỗ trợ giảm quá tải MBA        |

- Việc lắp đặt hệ thống BESS giúp giảm tải rõ rệt vào giờ cao điểm, làm giảm tình trạng quá tải của MBA tại trạm 110kV An Đồn, cải thiện tính ổn định và độ tin cậy của lưới điện.
- Tiếp theo là hỗ trợ san bằng đồ thị phụ tải của xuất tuyến 480ADO



Hình 3.27: Đồ thị phụ tải P (MW) của xuất tuyến 480ADO trước khi lắp BESS



Hình 3.28: Đồ thị phụ tải P (MW) của xuất tuyến 480ADO sau khi lắp BESS

❖ **So sánh kết quả:** Từ kết quả của 2 đồ thị trên ta thấy.

+ (Hình 3.27) Biểu đồ phụ tải của xuất tuyến 480ADO trước khi lắp đặt BESS thể hiện đặc điểm điển hình của phụ tải ngày làm việc, với hình dạng dạng bậc thang rõ rệt và các biến thiên công suất tải có biên độ lớn. Cụ thể:

- Công suất tải cực đại xuất hiện vào khung giờ từ 9h00 - 11h00 và 17h00 - 19h00 công suất đạt cực đại vào 18h00 với 16,9MW, trùng với thời điểm nhu cầu điện cao nhất trong ngày (giờ cao điểm).
- Độ dốc của các bước tải lớn, thể hiện phụ tải thay đổi nhanh chóng và bất thường, dẫn đến yêu cầu cao về khả năng điều chỉnh công suất phát của các nhà máy điện cũng như yêu cầu cao về khả năng đáp ứng phụ tải tức thời của lưới điện.
- Khoảng thời gian tải thấp điểm xuất hiện vào sáng sớm (trước 6h00) và buổi tối (sau 20h00) với mức công suất dao động dưới 7 MW. Sự chênh lệch lớn giữa đỉnh tải và đáy tải (khoảng trên 10 MW) cho thấy sự bất cân bằng lớn trong biểu đồ phụ tải.

Với đặc điểm như trên, lưới điện 22kV của xuất tuyến 480ADO có thể gặp các thách thức về:

- Quá tải cục bộ vào giờ cao điểm dẫn đến nguy cơ quá tải máy biến áp, dây dẫn và các thiết bị đóng cắt.
- Tổn thất công suất cao do dòng điện tăng đột biến.
- Yêu cầu công suất dự phòng lớn, ảnh hưởng đến hiệu quả vận hành kinh tế và độ ổn định của lưới điện.

+ (Hình 3.28) Sau khi tích hợp hệ thống BESS vào xuất tuyến 480ADO, đồ thị phụ tải cho thấy các cải thiện rõ rệt:

- Giá trị công suất cực đại đã được giảm xuống 14 MW, cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc cắt đỉnh phụ tải. Điều này được thực hiện bằng cách BESS xả điện vào khung giờ cao điểm để đáp ứng bớt nhu cầu tăng đột biến từ phụ tải, giúp duy trì phụ tải ở mức ổn định hơn.
- Độ dốc của các bước tải đã được làm phẳng hơn, thể hiện quá trình điều tiết công suất tải mượt mà hơn. BESS đã hoạt động như một nguồn hỗ trợ phụ tải, bù đắp công suất thiếu hụt hoặc dư thừa, giúp làm giảm sự biến thiên tải trên lưới điện.
- Khoảng thời gian tải thấp điểm có xu hướng được nâng lên nhẹ nhờ BESS tiến hành sạc vào ban đêm, giúp san bằng phụ tải và giảm độ lệch giữa đỉnh tải và đáy tải. Điều này đồng thời giúp tối ưu hóa biểu đồ phụ tải và giảm tổn thất truyền tải do dòng điện dao động nhỏ hơn.

+ So sánh chi tiết:

**Bảng 3.10**  
So sánh kết quả đồ thị phụ tải trước và sau khi lắp BESS

| Tiêu chí kỹ thuật                    | Trước khi lắp BESS  | Sau khi lắp BESS   |
|--------------------------------------|---|--|
| Đỉnh tải ( $P_{max}$ )               | 16,947 (MW)   | 14,02 (MW) (giảm hơn 17,27% so với đỉnh tải ban đầu)                       |
| Đáy tải ( $P_{min}$ )                | ~5,454 (MW)   | ~6,025 (MW) (tăng 9,48% so với ban đầu do BESS sạc vào ban đêm)            |
| Hình dạng đồ thị phụ tải             | Bậc thang rõ rệt, biến thiên đột ngột trong giờ cao điểm. | BESS làm phẳng đồ thị phụ tải, cải thiện chất lượng cung cấp điện.         |
| Độ tin cậy vận hành                  | Có nguy cơ quá tải cục bộ, yêu cầu dự phòng lớn.          | Ổn định hơn, giảm nguy cơ quá tải MBA, tăng tính linh hoạt của lưới.       |
| Khả năng hòa lưới năng lượng tái tạo | Hạn chế, dễ bị ảnh hưởng bởi biến thiên phụ tải.          | Tốt hơn, do BESS giúp hấp thụ công suất dư thừa và xả hỗ trợ tải cao điểm. |

#### ❖ Kết luận:

- Hệ thống BESS đã góp phần điều chỉnh phụ tải vào các thời điểm tải thấp và cao, giảm biến động công suất, từ đó giảm tổn thất điện năng truyền tải và nâng cao độ tin cậy vận hành của lưới điện 22kV.

- Hiệu quả của hệ thống BESS trong việc san bằng phụ tải có ý nghĩa lớn trong bối cảnh lưới điện ngày càng tích hợp nhiều nguồn năng lượng tái tạo, giúp tăng tính ổn định của hệ thống và tối ưu hóa chi phí vận hành.

Qua so sánh hai biểu đồ phụ tải, có thể thấy rằng hệ thống BESS đóng vai trò quan trọng trong việc san bằng phụ tải, cắt đỉnh và lấp đáy công suất, đồng thời cải thiện chất lượng điện áp và độ ổn định lưới điện. Đây là giải pháp kỹ thuật khả thi và cần được khuyến khích ứng dụng rộng rãi trong các xuất tuyến 22kV có tích hợp nguồn năng lượng tái tạo hoặc có phụ tải biến động mạnh.

### 3.5.6.3. Hiệu quả về mặt kinh tế

Việc đầu tư và vận hành hệ thống điện mặt trời kết hợp với các giải pháp điều chỉnh bộ lưu trữ năng lượng – BESS không chỉ mang lại lợi ích về mặt kỹ thuật (như giảm dao động điện áp và tần số) mà còn có ý nghĩa rất lớn về mặt kinh tế. Phân tích hiệu quả kinh tế giúp đánh giá tính khả thi của dự án trong việc thu hồi vốn đầu tư, tối ưu chi phí vận hành và tăng lợi nhuận. Do đó, việc tính toán hiệu quả kinh tế là cần thiết nhằm chứng minh rằng giải pháp đề xuất có tính khả thi cao, góp phần thúc đẩy phát triển các dự án năng lượng tái tạo nói chung và điện mặt trời nói riêng. Phần dưới đây sẽ tiến hành phân tích các chi phí đầu tư, vận hành và lợi ích kinh tế mang lại để có cái nhìn tổng quan về hiệu quả tài chính của dự án.

- Giả thiết và thông số kinh tế

**Bảng 3.11**  
Thông số kinh tế ban đầu khi đầu tư BESS

| Thông số                           | Giá trị               | Ghi chú   |
|------------------------------------|-----------------------|---|
| Công suất BESS                     | 4 (MW)                | Theo phương án đầu tư   |
| Chi phí đầu tư BESS                | 4 triệu vnd/kW        | Theo giá thị trường   |
| Giá mua điện từ lưới giờ thấp điểm | 1234 vnd/kWh          | Theo Quyết định số 1279/QĐ-BCT ngày 09/5/2025 của Bộ Công Thương [11] |
| Giá mua điện mặt trời              | 1107 vnd/kWh          | Theo Quyết định số 988/QĐ-BCT ngày 10/4/2025 của Bộ Công Thương [12]  |
| Giá bán điện giờ cao điểm          | 3508 vnd/kWh          | Theo Quyết định số 1279/QĐ-BCT ngày 09/5/2025 của Bộ Công Thương [11] |
| Chi phí vận hành bảo trì BESS      | 2% chi phí đầu tư/năm |   |
| Lãi suất vay ngân hàng             | 8% chi phí đầu tư/năm |   |

#### a) Chi phí đầu tư:

Chi phí đầu tư BESS = 4 (MW) × 4.000.000 vnd/kW × 1000 = 16.000.000.000 vnd

#### b) Chi phí bảo trì và vận hành hàng năm:

$$\begin{aligned}\text{Chi phí vận hành bảo trì BESS} &= 2\% \times \text{chi phí đầu tư BESS} \\ &= 2\% \times 16.000.000.000 = 320.000.000 \text{ vnd}\end{aligned}$$

**c) Lãi suất vay ngân hàng:**

$$\begin{aligned}\text{Lãi suất vay ngân hàng} &= 8\% \times \text{chi phí đầu tư BESS} \\ &= 8\% \times 16.000.000.000 = 1.280.000.000 \text{ vnd}\end{aligned}$$

**d) Tuổi thọ của BESS**

- Với các công nghệ tiên tiến hiện nay, tuổi thọ của pin Lithium-ion có thể lên đến 10 – 12 năm tùy vào điều kiện sử dụng và bảo dưỡng, chu kỳ sạc/xả lên đến 6000 – 7000 lần. [14]
- Với điều kiện vận hành như trên thì tuổi thọ của BESS khoản 6000 chu kỳ.
- Theo chế độ sạc xả ở bảng 3.11 ta thấy trong một ngày sẽ sạc xả 1,5 chu kỳ.

Vậy ta tính được tuổi thọ của BESS là:

$$\text{Tuổi thọ (ngày)} = \frac{6000}{1,5} = 4000 \text{ (ngày)}$$

$$\text{Tuổi thọ (năm)} = \frac{4000}{365} \approx 11 \text{ (năm)}$$

**e) Doanh thu bán điện hàng năm:** với phương thức vận hành sạc, xả như bảng sau

| Thời gian (h) | Chế độ vận hành | Công suất (MWh) |
|---------------|-----------------|-----------------|
| 0 - 1         | Sạc             | 0,5             |
| 1 - 2         | Sạc             | 0,5             |
| 2 - 3         | Sạc             | 1               |
| 3 - 4         | Sạc             | 1               |
| 4 - 5         | Sạc             | 1               |
| 9 - 10        | Xả              | 1               |
| 10 - 11       | Xả              | 1               |
| 11 - 12       | Sạc             | 0,5             |
| 12 - 13       | Sạc             | 1,5             |
| 17 - 18       | Xả              | 0,6             |
| 18 - 19       | Xả              | 2,8             |
| 19 - 20       | Xả              | 0,6             |

❖ **Từ lịch vận hành ta tính được như sau:**

- Sạc từ 0h-5h:  $0,5 + 0,5 + 1 + 1 + 1 = 4$  MWh/ngày (với giá 1234 vnd/kWh)
- Xả cao điểm ngày:  $1 \times 2$  giờ = 2 MWh/ngày (với giá 3508 vnd/kWh)
- Sạc ĐMT giờ trưa:  $0,5 + 1,5 = 2$  MWh/ngày (với giá 1107 vnd/kWh)
- Xả cao điểm chiều tối:  $0,6 + 2,8 + 0,6 = 4$  MWh/ngày (với giá 3508 vnd/kWh)

| Khoản mục         | Điện năng (kWh/ngày) | Đơn giá (vnd/kWh) | Thành tiền (vnd/ngày) |
|-------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| Mua điện lưới     | 4000                 | 1234              | 4.936.000             |
| Mua điện mặt trời | 2000                 | 1107              | 2.214.000             |
| Bán điện          | 6000                 | 3508              | 21.048.000            |

❖ **Dòng tiền hàng năm:**

**Bảng 3.12**

Tính toán lợi nhuận trong 1 năm

| Khoản mục   | Thành tiền (vnd/năm)                    |
|---|---|
| Chi phí mua điện lưới                                     | $4.936.000 \times 356 = 1.801.640.000$  |
| Chi phí mua điện mặt trời                                 | $2.214.000 \times 365 = 808.110.000$    |
| Chi phí vận hành BESS                                     | 320.000.000                             |
| Lãi suất vay ngân hàng                                    | 1.280.000.000                           |
| <b>Tổng chi phí</b>                                       | <b>4.209.750.000</b>                    |
| Doanh thu bán điện  | $21.048.000 \times 365 = 7.682.520.000$ |
| <b>Tổng doanh thu</b>                                     | <b>7.682.520.000</b>                    |
| <b>Lợi nhuận ròng/năm = Tổng doanh thu - Tổng chi phí</b> | <b>3.472.770.000</b>                    |

**f) Thời gian hoàn vốn đầu tư (PBP):**

$$PBP = \frac{\text{Chi phí đầu tư}}{\text{Lợi nhuận ròng/năm}} = \frac{16.000.000.000}{3.472.770.000} \approx 4,6 \text{ năm}$$

**🌟 Kết Luận:**

Như vậy, thời gian hoàn vốn đầu tư của hệ thống BESS (Battery Energy Storage System) là 4,6 năm, một con số tương đối khả quan so với tuổi thọ thiết kế của hệ thống lên tới 11 năm. Điều này đồng nghĩa với việc sau giai đoạn hoàn vốn ban đầu, nhà đầu tư vẫn còn tận hưởng thêm khoảng 6 năm lợi nhuận thuần từ hoạt động của hệ thống lưu trữ. Trong suốt quãng thời gian đó, hệ thống không những tiếp tục mang lại dòng tiền ổn định mà còn hỗ trợ tích cực cho lưới điện bằng cách giảm công suất cực đại, tối ưu hóa nguồn điện mặt trời và góp phần nâng cao độ ổn định của hệ thống điện.

Đặc biệt, trong bối cảnh giá điện giờ cao điểm ngày càng tăng, hệ thống BESS còn giúp tận dụng tối đa lợi ích từ việc sạc vào giờ thấp điểm và xả vào giờ cao điểm, làm gia tăng hiệu quả kinh tế của dự án.

Với tuổi thọ pin lithium-ion 11 năm, khoảng thời gian 6 năm lợi nhuận sau hoàn vốn chính là giai đoạn “vàng” để tối đa hóa giá trị kinh tế của dự án. Đây chính là minh chứng rõ ràng cho tính khả thi và sức hấp dẫn của các dự án đầu tư hệ thống lưu trữ năng lượng trong xu hướng phát triển lưới điện hiện đại và bền vững.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### **Kết luận:**

Trên cơ sở nghiên cứu nhóm tác giả đã xây dựng mô hình lưới điện có sự tham gia của nguồn điện mặt trời cụ thể là xuất tuyến 480ADO trên phần mềm DIgSILENT PowerFactory và tiến hành khảo sát phân tích, giả định các trường hợp tiêu cực nhất để đánh giá độ ổn định của hệ thống. Nhóm tác giả đã đi sâu phân tích các kịch bản như ngắn mạch do điện mặt trời phát công suất cực đại gây nên, cường độ bức xạ mặt trời thay đổi đột ngột và giả định tăng trường phụ tải và điện mặt trời trong tương lai.

Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, khi có sự tham gia của nguồn điện mặt trời, lưới điện 22kV tại quận Sơn Trà có những biến động đáng kể về điện áp và dòng. Cụ thể:

Với kịch bản ngắn mạch 3 pha trên các đường dây rẽ nhánh gần khu vực đầu nối nhà máy điện mặt trời. Tại thời điểm sự cố xảy ra tùy theo khoảng cách điểm sự cố thì sự dao động điện áp, tần số sẽ khác nhau, sau khi loại trừ sự cố ngắn mạch thì điện áp và tần số phục hồi. Tần số có sự dao động nhưng vẫn nằm trong phạm vi an toàn, đảm bảo vận hành hệ thống sau khoảng vài chu kỳ điện áp dần về điện áp ban đầu.

Mất cân bằng công suất do biến thiên nhanh của nguồn điện mặt trời (mây che nắng bất chợt) dẫn đến dao động điện áp và công suất tác dụng trên lưới điện, làm phức tạp công tác vận hành và điều độ.

Với kịch bản giả định tăng trường phụ tải và điện mặt trời điện áp và tần số tại các kịch bản sự cố cũng không vượt mức cho phép. Chỉ phát sinh vấn đề quá tải máy biến áp 110kV vào giờ cao điểm từ đó ta đề xuất giải pháp để giải quyết vấn đề và nâng cao hiệu quả vận hành và hiệu quả kinh tế.

Các kết quả phân tích thấy rằng các ảnh hưởng về điện áp cũng như tần số đến hệ thống, trường hợp ngắn mạch thì xảy ra dao động mạnh hơn các trường hợp mây che. Tuy nhiên sự dao động này vẫn nằm trong phạm vi cho phép của thông tư 05/2025/TT – BCT và để giải quyết vấn đề phát sinh đề án ứng dụng thiết bị BESS để nâng cao ổn định và hiệu quả kinh tế.

### **Kiến nghị:**

Từ các kết quả phân tích nhóm tác giả nhận thấy rằng với mục tiêu nâng cao hiệu quả vận hành và hiệu quả kinh tế thì BESS hỗ trợ rất tốt. Vì vậy, đề án kiến nghị trên lưới điện 22kV quận Sơn Trà nói riêng và lưới điện phân phối Quốc gia nói chung có thể ứng dụng và lắp đặt hệ thống BESS cho việc hỗ trợ ổn định vận hành cho hệ thống điện có kết nối điện mặt trời.

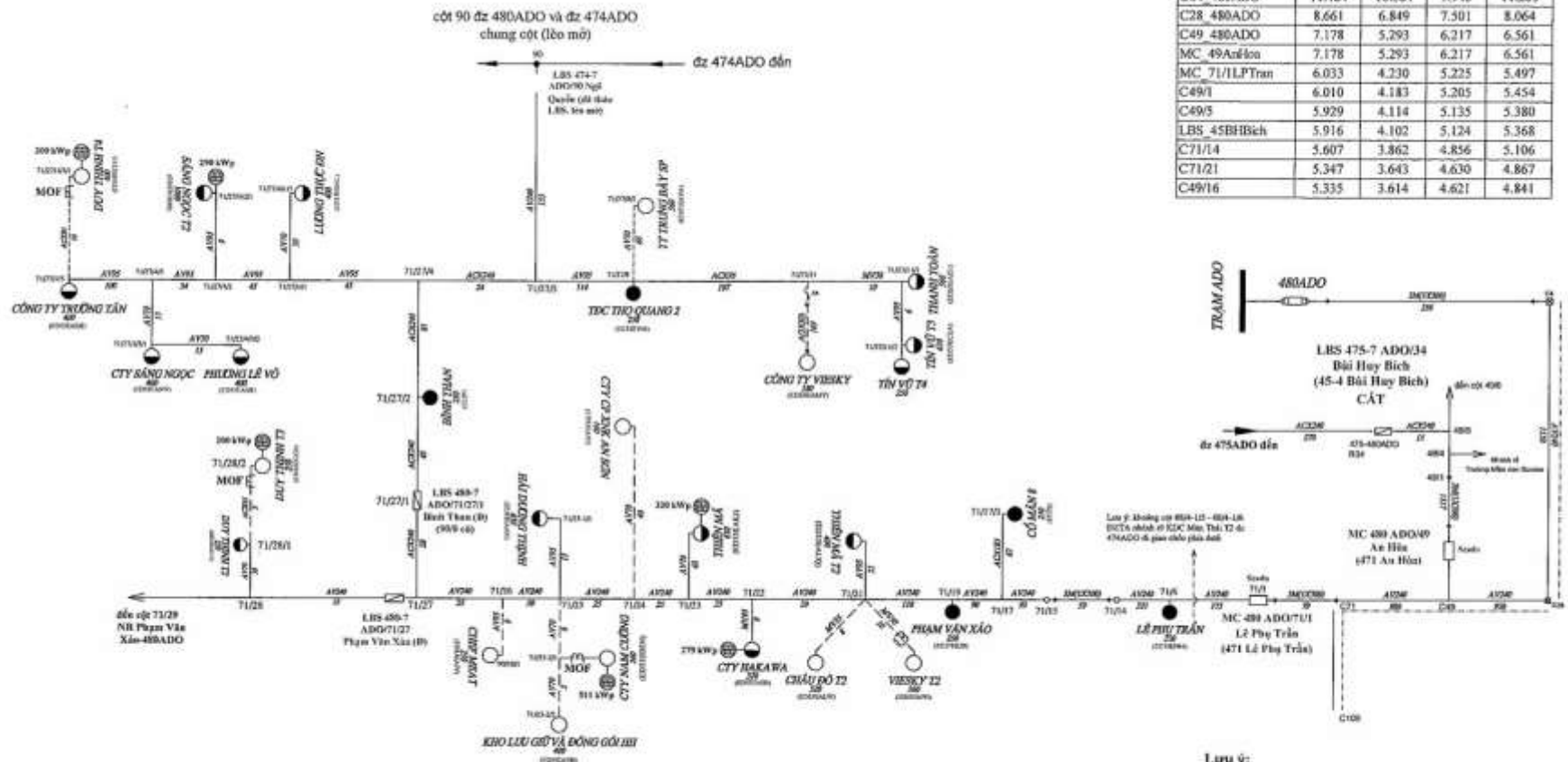
Đặc tính của thiết bị BESS là có khả năng nạp và xả năng lượng khi cần thiết, vì vậy BESS rất phù hợp với việc hỗ trợ điện mặt trời cũng như hệ thống. Ngoài sự ổn định, BESS có thể hỗ trợ về chạy phủ đỉnh (san bằng đồ thị phụ tải) giảm tổn thất truyền tải, tăng khả năng phát công suất (cung cấp dự phòng quay) và mang lại hiệu quả kinh tế.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] DIgSILENT GmbH, (2014). *PowerFactory 15 User Manual*
- [2] PGS. TS. Lê Kim Hùng. *Giáo trình Giải tích mạng điện*, 2014th ed.
- [3] Ts. Ngô Hồng Quang. *Giáo trình cung cấp điện*, NXB Giáo Dục.
- [4] Dương Minh Quân, Hoàng Dũng, Mã Phước Khánh, Trần Ngọc Thiên Nam (2018). *Nghiên cứu ảnh hưởng của nhà máy điện mặt trời Phong Điền đến lưới điện tỉnh Thừa Thiên Huế*, Tạp chí khoa học và công nghệ - Đại học Đà Nẵng.
- [5] Abdulsalam Elsaidi. (2013). *Photovoltaic (Pv) Type Solar Generators And Their Effect On Distribution Systems*, Master Of Science, Al-Tahadi University.
- [6] Smrutirekha Sahoo. (2016). *Impact Study: Photovoltaic Distributed Generation On Power System*, Degree Project, Energy Technology.
- [7] Trương Minh Tú, (2013). *nghiên cứu các giải pháp nâng cao hiệu quả vận hành lưới điện phân phối điện lực liên chiểu TP Đà Nẵng*, luận văn thạc sĩ, Đại Học Đà Nẵng.
- [8] Nguyễn Văn Bộ, (2022). *Phân tích và đề xuất giải pháp ổn định điện áp vận hành lưới điện khu vực thẳng bình khi có sự tham gia các nguồn phân tán*, luận văn thạc sĩ, Đại Học Đà Nẵng.
- [9] Nguyễn Minh Trí, (2013). *Nghiên cứu đề xuất các giải pháp để vận hành tối ưu của lưới điện quận Cẩm Lệ - TP Đà Nẵng*, luận văn thạc sĩ, Đại Học Đà Nẵng.
- [10] Thông tư 05/2025/TT-BCT, *Quy định hệ thống truyền tải điện, phân phối điện và đo đếm điện năng*, Bộ Công Thương.
- [11] Biểu giá bán lẻ điện (theo Quyết định số 1279/QĐ-BCT ngày 09/5/2025 của Bộ Công Thương)
- [12] 988/QĐ-BCT. *Phê duyệt khung giá phát điện áp dụng cho loại hình nhà máy điện mặt trời*, Bộ Công Thương.
- [13] Tạp chí Năng lượng Việt Nam. (2018). *Tích hợp nguồn NLTT với hệ thống điện: Những thách thức phải đối mặt*, website: <https://nangluongvietnam.vn/tich-hop-nguon-nltt-voi-he-thong-dien-nhung-thach-thuc-phai-doi-mat-21228.html>.
- [14] EVNPECC3. (2023). *Ứng dụng hệ thống pin lưu trữ năng lượng BESS cho các dự án năng lượng tái tạo*, website: <https://www.pecc3.com.vn/ung-dung-he-thong-pin-luu-tru-nang-luong-bess-cho-cac-du-an-nang-luong-tai-tao/>.

## PHỤ LỤC 1

### Sơ đồ nguyên lý của xuất tuyến 480ADO thuộc trạm 110kV An Đôn



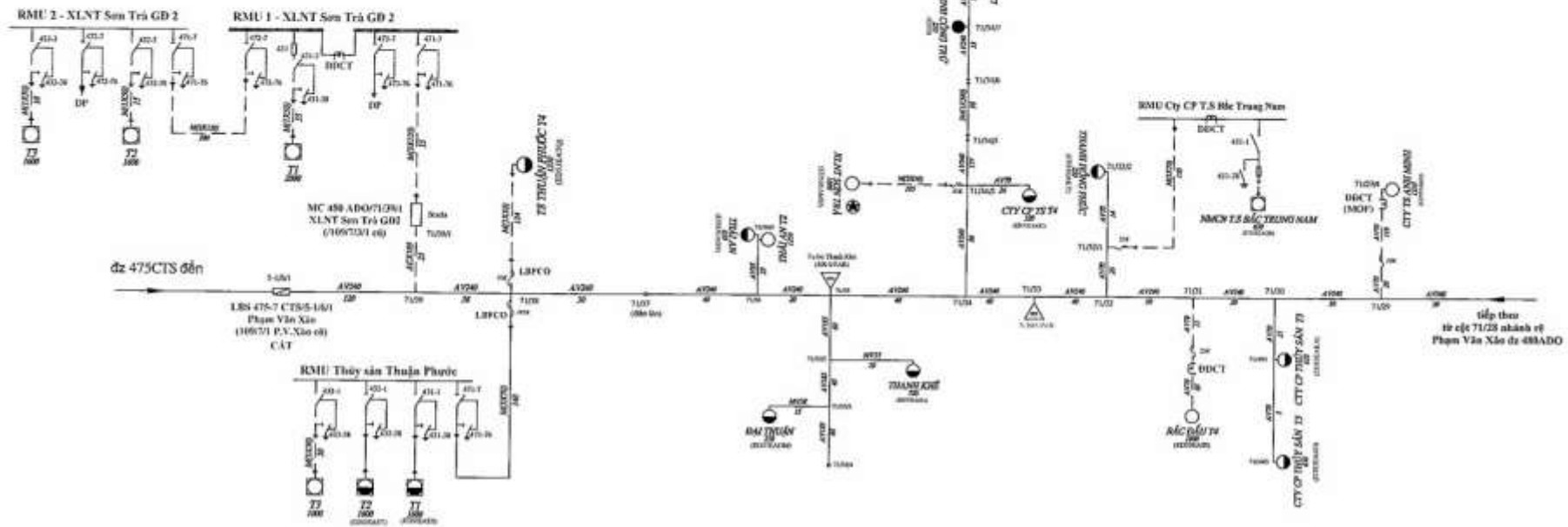
| Vị trí-Loại sự cố | N(3)   | N(1)   | N(2)   | N(1,1) |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| MC480ADO          | 12.203 | 11.778 | 10.568 | 12.083 |
| C04 480ADO        | 11.484 | 10.584 | 9.945  | 11.205 |
| C28 480ADO        | 8.661  | 6.849  | 7.501  | 8.064  |
| C49 480ADO        | 7.178  | 5.293  | 6.217  | 6.561  |
| MC 49 An Hòa      | 7.178  | 5.293  | 6.217  | 6.561  |
| MC 71/ILP Tran    | 6.033  | 4.230  | 5.225  | 5.497  |
| C49/1             | 6.010  | 4.183  | 5.205  | 5.454  |
| C49/5             | 5.929  | 4.114  | 5.135  | 5.380  |
| LBS 45BH Bích     | 5.916  | 4.102  | 5.124  | 5.368  |
| C71/14            | 5.607  | 3.862  | 4.856  | 5.106  |
| C71/21            | 5.347  | 3.643  | 4.630  | 4.867  |
| C49/16            | 5.335  | 3.614  | 4.621  | 4.841  |



**\* Ghi chú:**  
 + Đoạn từ cột C4 đến cột C28: 3 ĐZ 480ADO, 479ADO, 474ADO đi chung cột, trong đó 480ADO đi tầng trên, 479ADO đi giữa và 474ADO đi tầng dưới.  
 + Đoạn từ cột C28 đến cột C109: 2 ĐZ 480ADO và 479ADO đi chung cột, trong đó 480ADO đi tầng trên, 479ADO đi tầng dưới.

**Lưu ý:**  
 + Tại cột C49 - cáp ngầm 24 kV sau MC 471 An Hòa đi 480ADO đi giao chéo với đz 479ADO ở tầng dưới  
 + Tại cột C49 - đầu tuyến nhánh rẽ Trường mầm non Misuba đz 479ADO chung cột

| Vị trí-Loại sự cố | N(3)  | N(1)  | N(2)  | N(1,1) |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|
| Marina DN T1      | 5.242 | 3.544 | 4.539 | 4.764  |
| C49/20            | 5.232 | 3.530 | 4.531 | 4.747  |
| LBS 71/27/1/BThun | 5.201 | 3.525 | 4.504 | 4.736  |
| CS.Thi Dao        | 5.173 | 3.489 | 4.480 | 4.703  |
| BacDauT4          | 5.115 | 3.453 | 4.430 | 4.656  |
| KDC LangCaT2      | 5.098 | 3.426 | 4.415 | 4.632  |
| C71/27/4          | 5.095 | 3.443 | 4.412 | 4.645  |
| C49/20/0          | 4.959 | 3.325 | 4.295 | 4.518  |
| C27/38            | 4.953 | 3.323 | 4.290 | 4.508  |
| C71/09            | 4.930 | 3.304 | 4.269 | 4.487  |
| MC XLNT.STra      | 4.914 | 3.291 | 4.256 | 4.472  |



**PHỤ LỤC 2**  
**Thông số lưới điện 22kV (Xuất tuyến 480DO)**

- Vị trí và công suất của nhà máy điện mặt trời:

| <b>TÊN NGUỒN</b>              | <b>VỊ TRÍ</b> | <b>CÔNG SUẤT P (MW)</b> |
|-------------------------------|---------------|-------------------------|
| Năng lượng mặt trời           | Cty Hakawa    | 0,379                   |
|                               | Thiên Mã      | 0,32                    |
|                               | Cty Nam Cường | 0,511                   |
|                               | Duy Thịnh T3  | 0,2                     |
|                               | Duy Thịnh T4  | 0,3                     |
|                               | Sáng Ngọc T2  | 0,29                    |
| <b>TỔNG CÔNG SUẤT LẮP ĐẶT</b> |               | <b>2</b>                |

- Các trạm biến áp:

| <b>STT</b> | <b>TÊN TRẠM BIẾN ÁP</b> | <b>CẤP ĐIỆN ÁP (kV)</b> | <b>CÔNG SUẤT S (kVA)</b> |
|------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1          | Lê Phụ Trần             | 22/0,4 kV               | 250                      |
| 2          | Cổ Mân 8                | 22/0,4 kV               | 250                      |
| 3          | Phạm Văn Xảo            | 22/0,4 kV               | 250                      |
| 4          | Thiên Mã T2             | 22/0,4 kV               | 400                      |
| 5          | Viesky T2               | 22/0,4 kV               | 560                      |
| 6          | Châu Đô T2              | 22/0,4 kV               | 320                      |
| 7          | Cty Hakawa              | 22/0,4 kV               | 320                      |
| 8          | Thiên Mã                | 22/0,4 kV               | 630                      |
| 9          | Cty CP XNK An Sơn       | 22/0,4 kV               | 160                      |
| 10         | Cty Nam Cường           | 22/0,4 kV               | 560                      |
| 11         | Kho lưu giữ đóng gói HH | 22/0,4 kV               | 400                      |
| 12         | Hải Dương Thịnh         | 22/0,4 kV               | 630                      |
| 13         | CHEFMEAT                | 22/0,4 kV               | 250                      |
| 14         | Duy Thịnh T3            | 22/0,4 kV               | 250                      |
| 15         | Duy Thịnh T2            | 22/0,4 kV               | 250                      |
| 16         | Bình Than               | 22/0,4 kV               | 250                      |
| 17         | TĐC Thọ Quang 2         | 22/0,4 kV               | 250                      |
| 18         | TT Trung Bày SP         | 22/0,4 kV               | 560                      |
| 19         | Cty Viesky              | 22/0,4 kV               | 180                      |
| 20         | Thanh Toàn              | 22/0,4 kV               | 560                      |
| 21         | Tín Vũ T3               | 22/0,4 kV               | 630                      |
| 22         | Tín Vũ T4               | 22/0,4 kV               | 250                      |
| 23         | Lương Thực Đà Nẵng      | 22/0,4 kV               | 400                      |
| 24         | Sáng Ngọc T2            | 22/0,4 kV               | 1000                     |
| 25         | Cty Sáng Ngọc           | 22/0,4 kV               | 400                      |

|    |                        |           |      |
|----|------------------------|-----------|------|
| 26 | Phuong Lê Võ           | 22/0,4 kV | 400  |
| 27 | Cty Trường Tân         | 22/0,4 kV | 400  |
| 28 | Duy Thịnh T4           | 22/0,4 kV | 400  |
| 29 | Cty TS Anh Minh        | 22/0,4 kV | 1250 |
| 30 | Cty CP TS T3           | 22/0,4 kV | 630  |
| 31 | Cty CP TS T4           | 22/0,4 kV | 320  |
| 32 | Cty CP TS T5           | 22/0,4 kV | 630  |
| 33 | Bắc Đẩu T4             | 22/0,4 kV | 1000 |
| 34 | Thanh hồng phúc        | 22/0,4 kV | 250  |
| 35 | NMCB TS BTN            | 22/0,4 kV | 630  |
| 36 | XLNT Sơn Trà           | 22/0,4 kV | 1000 |
| 37 | Đình công trú          | 22/0,4 kV | 250  |
| 38 | Lê tấn trung           | 22/0,4 kV | 250  |
| 39 | Thanh khô              | 22/0,4 kV | 750  |
| 40 | Đại thuận              | 22/0,4 kV | 250  |
| 41 | Thái an T2             | 22/0,4 kV | 1250 |
| 42 | Thái An                | 22/0,4 kV | 630  |
| 43 | TS thuận phước T4      | 22/0,4 kV | 1250 |
| 44 | T1(RMU TS Thuận Phước) | 22/0,4 kV | 1600 |
| 45 | T2(RMU TS Thuận Phước) | 22/0,4 kV | 1600 |
| 46 | T3(RMU TS Thuận Phước) | 22/0,4 kV | 1000 |
| 47 | T1(RMU XLNT S.Trà GĐ)  | 22/0,4 kV | 2000 |
| 48 | T2(RMU XLNT S.Trà GĐ)  | 22/0,4 kV | 1600 |
| 49 | T3(RMU XLNT S.Trà GĐ)  | 22/0,4 kV | 1600 |

- Thông số và loại phụ tải:

| TÊN PHỤ TẢI             | LOẠI PHỤ TẢI | COSPI | P <sub>max</sub> (KW) |
|-------------------------|--------------|-------|-----------------------|
| Lê Phụ Trần             | Sinh hoạt    | 0,95  | 118,75                |
| Cổ Mân 8                | Sinh hoạt    | 0,95  | 118,75                |
| Phạm Văn Xảo            | Sinh hoạt    | 0,95  | 118,75                |
| Thiên Mã T2             | Công nghiệp  | 0,95  | 190                   |
| Viesky T2               | Công nghiệp  | 0,95  | 266                   |
| Châu Đô T2              | Sinh hoạt    | 0,95  | 152                   |
| Cty Hakawa              | Công nghiệp  | 0,95  | 152                   |
| Thiên Mã                | Công nghiệp  | 0,95  | 299,25                |
| Cty CP XNK An Sơn       | Công nghiệp  | 0,95  | 76                    |
| Cty Nam Cường           | Công nghiệp  | 0,95  | 266                   |
| Kho lưu giữ đóng gói HH | Công nghiệp  | 0,95  | 190                   |
| Hải Dương Thịnh         | Công nghiệp  | 0,95  | 299,25                |
| CHEFMEAT                | Công nghiệp  | 0,95  | 118,75                |
| Duy Thịnh T3            | Công nghiệp  | 0,95  | 118,75                |

|                         |             |      |        |
|-------------------------|-------------|------|--------|
| Duy Thịnh T2            | Công nghiệp | 0,95 | 118,75 |
| Bình Than               | Sinh hoạt   | 0,95 | 118,75 |
| TDC Thọ Quang 2         | Sinh hoạt   | 0,95 | 118,75 |
| TT Trung Bàu SP         | Công nghiệp | 0,95 | 266    |
| Cty Viesky              | Công nghiệp | 0,95 | 85,5   |
| Thanh Toàn              | Công nghiệp | 0,95 | 266    |
| Tín Vũ T3               | Công nghiệp | 0,95 | 299,25 |
| Tín Vũ T4               | Công nghiệp | 0,95 | 118,75 |
| Lương Thực Đà Nẵng      | Công nghiệp | 0,95 | 190    |
| Sáng Ngọc T2            | Công nghiệp | 0,95 | 475    |
| Cty Sáng Ngọc           | Công nghiệp | 0,95 | 190    |
| Phương Lê Võ            | Công nghiệp | 0,95 | 190    |
| Cty Trường Tân          | Công nghiệp | 0,95 | 190    |
| Duy Thịnh T4            | Công nghiệp | 0,95 | 190    |
| Cty TS Anh Minh         | Công nghiệp | 0,95 | 593,75 |
| Cty CP TS T3            | Công nghiệp | 0,95 | 299,25 |
| Cty CP TS T4            | Công nghiệp | 0,95 | 152    |
| Cty CP TS T5            | Công nghiệp | 0,95 | 299,25 |
| Bắc Đẩu T4              | Công nghiệp | 0,95 | 475    |
| Thanh Hồng Phúc         | Sinh hoạt   | 0,95 | 118,75 |
| NMBC TS BTN             | Công nghiệp | 0,95 | 299,25 |
| XLNT Sơn Trà            | Công nghiệp | 0,95 | 475    |
| Đình Công Trứ           | Sinh hoạt   | 0,95 | 118,75 |
| Lê Tấn Trung            | Sinh hoạt   | 0,95 | 118,75 |
| Thanh Khê               | Sinh hoạt   | 0,95 | 356,25 |
| Đại Thuận               | Sinh hoạt   | 0,95 | 190    |
| Thái An T2              | Sinh hoạt   | 0,95 | 593,75 |
| Thái An                 | Sinh hoạt   | 0,95 | 299,25 |
| TS Thuận Phước T4       | Công nghiệp | 0,95 | 593,75 |
| T1 (RMU TS Thuận Phước) | Công nghiệp | 0,95 | 760    |
| T2 (RMU TS Thuận Phước) | Công nghiệp | 0,95 | 760    |
| T3 (RMU TS Thuận Phước) | Công nghiệp | 0,95 | 475    |
| T1 (RMU XLNT S.Trà GĐ)  | Công nghiệp | 0,95 | 950    |
| T2 (RMU XLNT S.Trà GĐ)  | Công nghiệp | 0,95 | 760    |
| T3 (RMU XLNT S.Trà GĐ)  | Công nghiệp | 0,95 | 760    |

- Thông số phụ tải sau khi phát sinh:

| TÊN PHỤ TẢI | LOẠI PHỤ TẢI | $P_{\max}$ hiện trạng (KW) | $P_{\max}$ phát sinh (KW) |
|-------------|--------------|----------------------------|---------------------------|
| Lê Phụ Trần | Sinh hoạt    | 118,75                     | 156,75                    |
| Cổ Mân 8    | Sinh hoạt    | 118,75                     | 156,75                    |

|                         |             |        |        |
|-------------------------|-------------|--------|--------|
| Phạm Văn Xảo            | Sinh hoạt   | 118,75 | 156,75 |
| Thiên Mã T2             | Công nghiệp | 190    | 250,8  |
| Viesky T2               | Công nghiệp | 266    | 351,12 |
| Châu Đô T2              | Sinh hoạt   | 152    | 200,64 |
| Cty Hakawa              | Công nghiệp | 152    | 200,64 |
| Thiên Mã                | Công nghiệp | 299,25 | 395,01 |
| Cty CP XNK An Sơn       | Công nghiệp | 76     | 100,32 |
| Cty Nam Cường           | Công nghiệp | 266    | 351,12 |
| Kho lưu giữ đóng gói HH | Công nghiệp | 190    | 250,8  |
| Hải Dương Thịnh         | Công nghiệp | 299,25 | 395,01 |
| CHEFMEAT                | Công nghiệp | 118,75 | 156,75 |
| Duy Thịnh T3            | Công nghiệp | 118,75 | 156,75 |
| Duy Thịnh T2            | Công nghiệp | 118,75 | 156,75 |
| Bình Than               | Sinh hoạt   | 118,75 | 156,75 |
| TDC Thọ Quang 2         | Sinh hoạt   | 118,75 | 156,75 |
| TT Trung Bày SP         | Công nghiệp | 266    | 351,12 |
| Cty Viesky              | Công nghiệp | 85,5   | 112,86 |
| Thanh Toàn              | Công nghiệp | 266    | 351,12 |
| Tín Vũ T3               | Công nghiệp | 299,25 | 395,01 |
| Tín Vũ T4               | Công nghiệp | 118,75 | 156,75 |
| Lương Thực Đà Nẵng      | Công nghiệp | 190    | 250,8  |
| Sáng Ngọc T2            | Công nghiệp | 475    | 627    |
| Cty Sáng Ngọc           | Công nghiệp | 190    | 250,8  |
| Phương Lê Võ            | Công nghiệp | 190    | 250,8  |
| Cty Trường Tân          | Công nghiệp | 190    | 250,8  |
| Duy Thịnh T4            | Công nghiệp | 190    | 250,8  |
| Cty TS Anh Minh         | Công nghiệp | 593,75 | 783,75 |
| Cty CP TS T3            | Công nghiệp | 299,25 | 395,01 |
| Cty CP TS T4            | Công nghiệp | 152    | 200,64 |
| Cty CP TS T5            | Công nghiệp | 299,25 | 395,01 |
| Bắc Đẩu T4              | Công nghiệp | 475    | 627    |
| Thanh Hồng Phúc         | Sinh hoạt   | 118,75 | 156,75 |
| NMBC TS BTN             | Công nghiệp | 299,25 | 395,01 |
| XLNT Sơn Trà            | Công nghiệp | 475    | 627    |
| Đình Công Trứ           | Sinh hoạt   | 118,75 | 156,75 |
| Lê Tấn Trung            | Sinh hoạt   | 118,75 | 156,75 |
| Thanh Khê               | Sinh hoạt   | 356,25 | 470,25 |
| Đại Thuận               | Sinh hoạt   | 190    | 250,8  |
| Thái An T2              | Sinh hoạt   | 593,75 | 783,75 |
| Thái An                 | Sinh hoạt   | 299,25 | 395,01 |
| TS Thuận Phước T4       | Công nghiệp | 593,75 | 783,75 |

|                         |             |     |        |
|-------------------------|-------------|-----|--------|
| T1 (RMU TS Thuận Phước) | Công nghiệp | 760 | 1003,2 |
| T2 (RMU TS Thuận Phước) | Công nghiệp | 760 | 1003,2 |
| T3 (RMU TS Thuận Phước) | Công nghiệp | 475 | 627    |
| T1 (RMU XLNT S.Trà GĐ)  | Công nghiệp | 950 | 1254   |
| T2 (RMU XLNT S.Trà GĐ)  | Công nghiệp | 760 | 1003,2 |
| T3 (RMU XLNT S.Trà GĐ)  | Công nghiệp | 760 | 1003,2 |

- Thông số tấm pin mặt trời:

| Thông số                  | Giá trị                              |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Công suất cực đại (Pmax)  | 550 Wp                               |
| Điện áp tại Pmax (Vmpp)   | 41.95 V                              |
| Dòng điện tại Pmax (Impp) | 13.12 A                              |
| Điện áp hở mạch (Voc)     | 49.8 V                               |
| Dòng ngắn mạch (Isc)      | 13.98 A                              |
| Hiệu suất module          | 21.3%                                |
| Kích thước                | 2278 x 1134 x 35 mm                  |
| Trọng lượng               | 27.5 kg                              |
| Loại cell                 | Monocrystalline, Half-cut (144 cell) |
| Điện áp hệ thống tối đa   | 1500 V                               |
| Nhiệt độ hoạt động        | -40°C đến +85°C                      |
| Hệ số nhiệt của Pmax      | -0.35 %/°C                           |
| Hệ số nhiệt của Voc       | -0.28 %/°C                           |
| Hệ số nhiệt của Isc       | +0.05 %/°C                           |
| Bảo hành sản phẩm         | 12 năm                               |
| Bảo hành hiệu suất        | 25 năm (84.8% công suất ban đầu)     |

### PHỤ LỤC 3

#### Diện tích mái một số nhà kho tác giả khảo sát đo diện tích để giả định kịch bản phát sinh điện mặt trời



#### PHỤ LỤC 4

### Công suất phát của điện mặt trời tại thời điểm điện mặt trời phát cực đại ( Sau kích bản tăng trưởng phụ tải và điện mặt trời)

| STT                   | Tên điện mặt trời | Công suất phát của điện mặt trời (12h) |                          |
|-----------------------|-------------------|--|--------------------------|
|                       |                   | Phụ tải tiêu thụ (MW)                  | Phát ngược lên lưới (MW) |
| 1                     | Cty Hakawa        | 0,1                                    | 0,179                    |
| 2                     | Thiên Mã          | 0,2                                    | 0,1                      |
| 3                     | Cty Nam Cường     | 0,2                                    | 0,3                      |
| 4                     | Duy Thịnh T3      | 0,1                                    | 0,1                      |
| 5                     | Duy Thịnh T4      | 0,1                                    | 0,2                      |
| 6                     | Sáng Ngọc T2      | 0,25                                   | 0,15                     |
| 7                     | Viesky            | 0,15                                   | 0,3                      |
| 8                     | ChauDo            | 0,1                                    | 0,15                     |
| 9                     | CHEFMEAT          | 0,1                                    | 0,1                      |
| 10                    | KhoNhua-BinhThan  | 0,1                                    | 0,1                      |
| 11                    | TS Anh Minh       | 0,3                                    | 0                        |
| 12                    | TS BTN            | 0,2                                    | 0,2                      |
| 13                    | Cty Thai An       | 0,19                                   | 0,1                      |
| 14                    | TS ThuanPhuoc     | 0,3                                    | 0,05                     |
| <b>Tổng công suất</b> |                   | <b>2,39</b>                            | <b>2.029</b>             |

Tại thời điểm điện mặt trời phát cực đại (12h trưa), tổng công suất phát ra từ các nhà máy điện mặt trời được thống kê như sau:

- Tổng công suất phát điện mặt trời: 4,419 MW
- Tổng công suất tiêu thụ tại chỗ (phụ tải tiêu thụ): 2,39 MW
- Tổng công suất phát ngược lên lưới: 2,029 MW

Qua bảng thống kê chi tiết, có thể thấy hầu hết các nhà máy điện mặt trời đều phát công suất vượt nhu cầu tiêu thụ tại chỗ, dẫn đến lượng công suất phát ngược lên lưới ở mức cao. Điều này có thể gây ảnh hưởng đến chất lượng điện áp trên lưới điện, tiềm ẩn nguy cơ quá áp hoặc điều kiện vận hành không ổn định khi điện mặt trời phát vượt nhu cầu phụ tải.

Để giải quyết tình trạng trên, nhóm tác giả đã áp dụng giải pháp điều tiết công suất bằng cách sử dụng hệ thống lưu trữ năng lượng (BESS) để mua 2MW ĐMT. BESS hoạt động với chức năng hấp thụ công suất điện mặt trời phát ngược lên lưới trong thời điểm phát cực đại, góp phần giảm lượng công suất dư thừa trên lưới, hạn chế tình trạng quá áp cục bộ, và cải thiện độ ổn định vận hành lưới điện.

## PHỤ LỤC 5

### Kịch bản ngắn mạch tại một số vị trí khác trên lưới hiện trạng

| Vị trí NM                 | Thời điểm (s) | Sự kiện  |
|---------------------------|---------------|--|
| Thanh cái Bus0,4 Thiên Mã | 0 → 5         | Lưới điện đang hoạt động bình thường                             |
|                           | 5             | Xảy ra ngắn mạch 3 pha trên đường dây ta xét                     |
|                           | 5.5           | Bảo vệ rơ le đưa ra tín hiệu đi cắt máy cắt, sự cố được loại trừ |

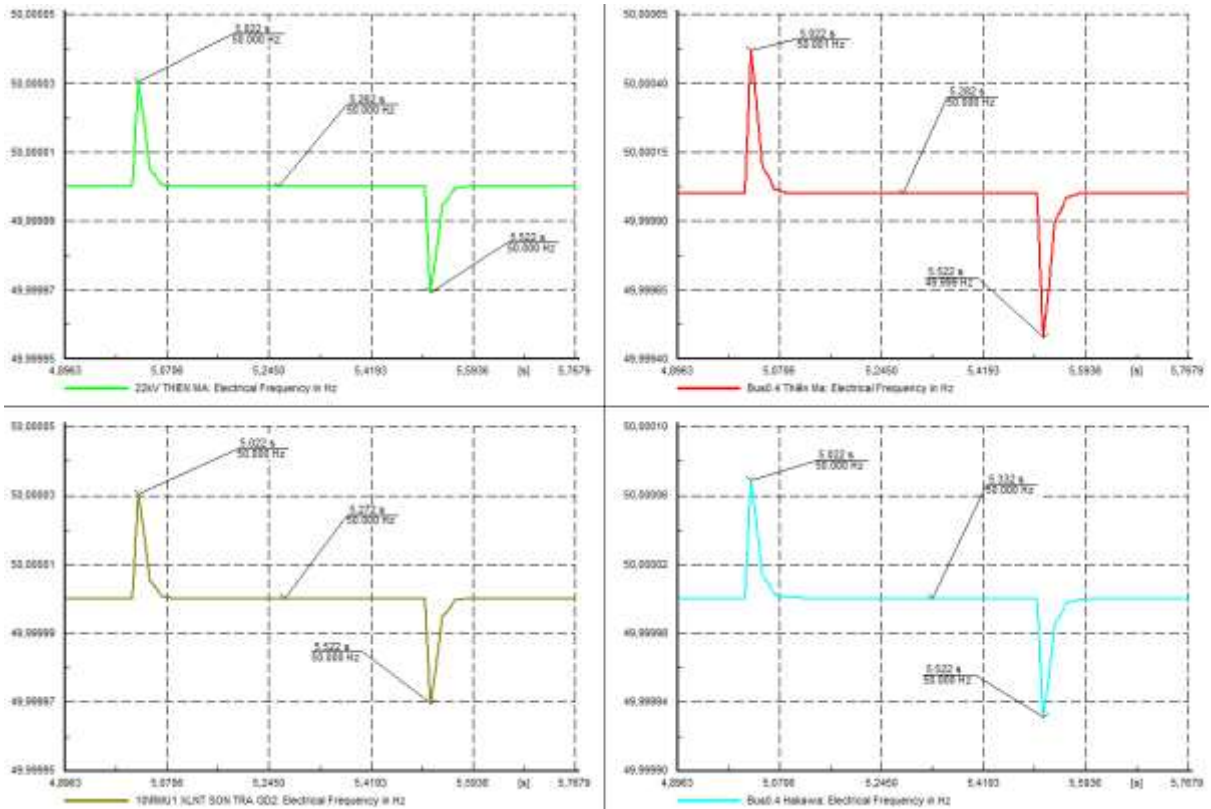
❖ Tương tự ta quan sát thêm một vài điểm ngắn mạch nữa ta được bảng sau:

| STT | Vị trí NM                   | Vị trí quan sát   | Tần số            | Điện áp         |
|-----|-----------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| 1   | Thanh cái Bus0,4 Thiên Mã   | 22kV Thiên Mã     | 49,997 ÷ 50,003   | 1,0306 ÷ 1,0307 |
|     |                             | Bus0,4 Thiên Mã   | 49,99 ÷ 50,001    | 1,025 ÷ 1,029   |
|     |                             | GD2               | 49,9997 ÷ 50,0003 | 1,0295 ÷ 1,0298 |
|     |                             | Bus0,4 Hakawa     | 49,9998 ÷ 50,0006 | 1,0331 ÷ 1,0334 |
| 2   | Thanh cái 22kV Duy Thịnh T3 | 22kV Duy Thịnh T3 | 49,986 ÷ 50,002   | 0,573 ÷ 1,030   |
|     |                             | Bus0,4 DuyThinhT3 | 49,881 ÷ 50,014   | 0,596 ÷ 1,033   |
|     |                             | 22TSThuanPhuocT4  | 49,986 ÷ 50,002   | 0,577 ÷ 1,030   |
|     |                             | Bus0,4 NC         | 49,878 ÷ 50,015   | 0,609 ÷ 1,032   |

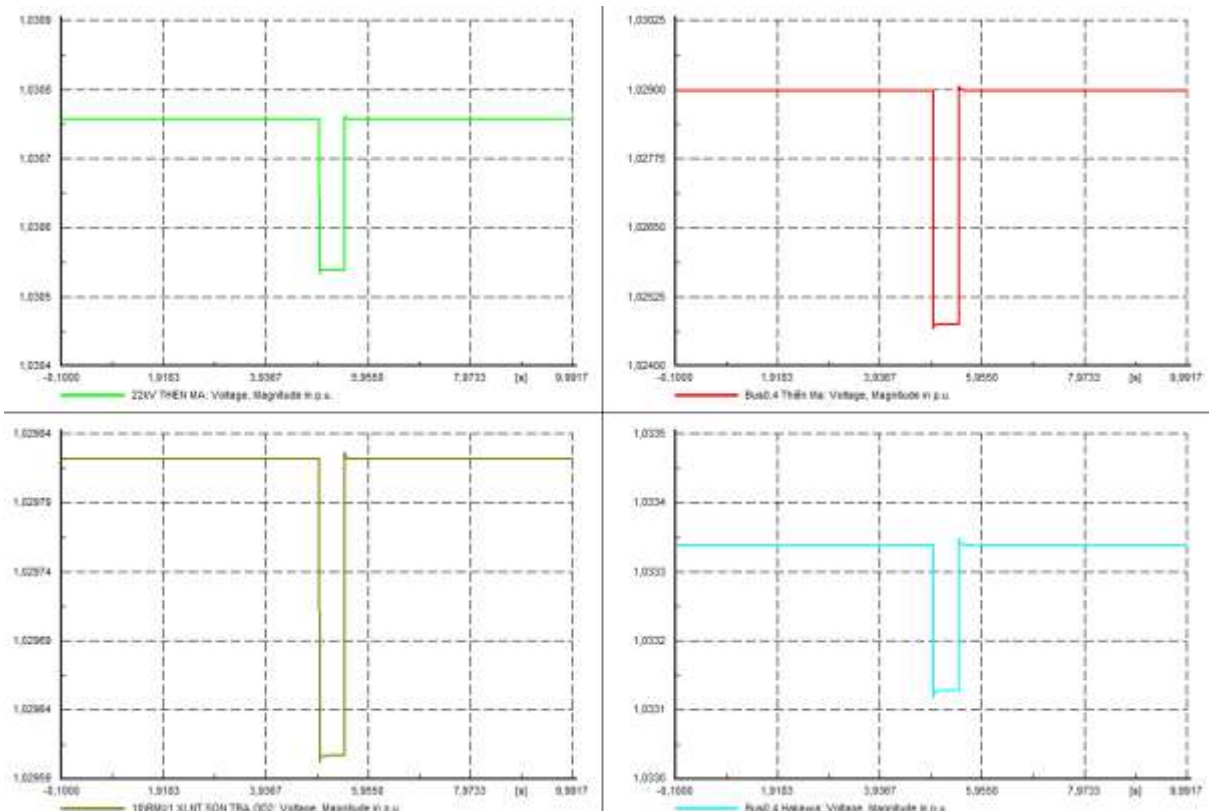
❖ Dạng sóng dao động tần số điện áp của các trường hợp trên:

1. Vị trí ngắn mạch là: Thanh cái Bus0,4 Thiên Mã

### ❖ Kết quả Dao Động tần số

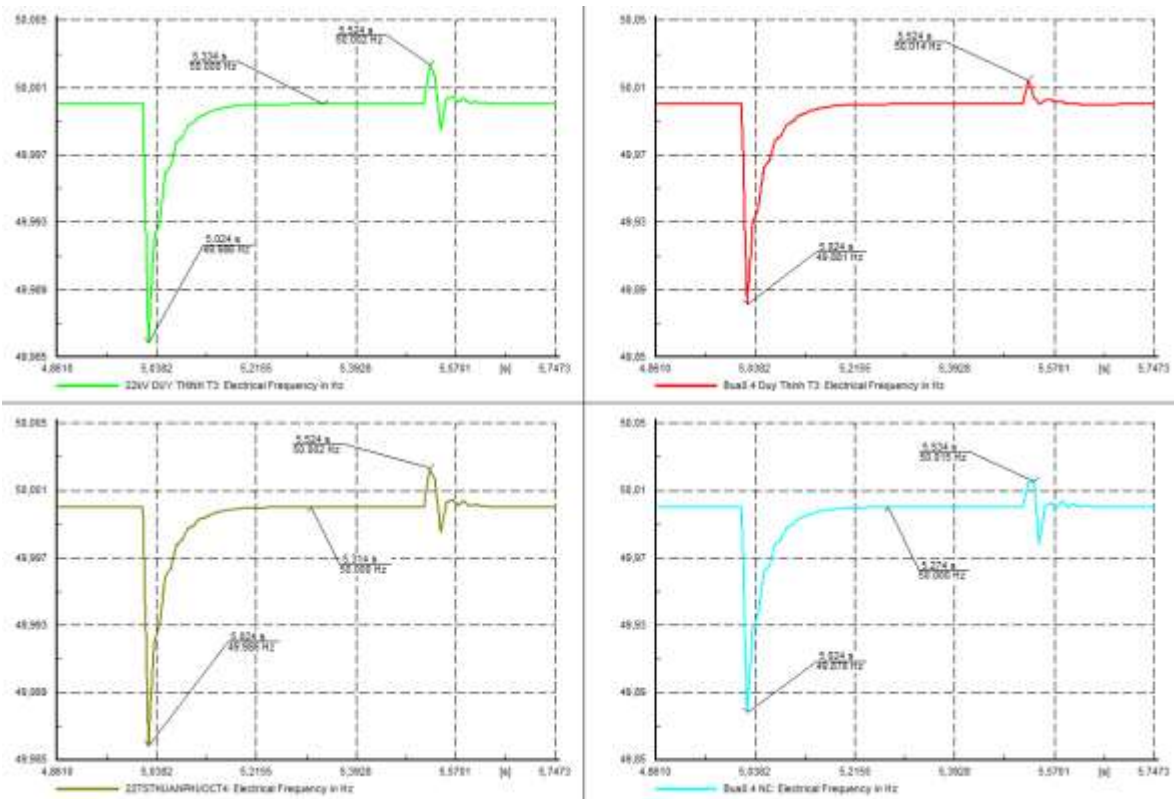


### ❖ Kết quả dao động điện áp



## 2. Vị trí gắn mạch là: Thanh cái 22kV Duy Thịnh T3

### ❖ Dao động tần số:



### ❖ Dao động điện áp

