

## A REMOTE CONTROL METHOD FOR A BAY UNIT IN UNMANNED POWER SUBSTATIONS USING A NUMERICAL RELAY, OneATS TECHNOLOGY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Le Tien Phong, Ngo Minh Duc, Ngo Duc Minh  
TNU - University of Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<b>Received:</b> 08/02/2025	This paper applies a remote control technique, called OneATS, to control a bay unit in a power substation and proposes a solution to monitor operating states using artificial intelligence. Twenty four operating states were introduced in this paper to make clear the control requirement of the bay unit, including opening rules (opening circuit breaker, opening power disconnecter and closing earth disconnecter) and closing rule (opening earth connection, closing power disconnecter and circuit breaker). SEL 451 relay was used as a programmable logic controller and played an important role to communicate with external devices by using input/output terminals and computers by OneATS software and IEC 61850 communication standard. Artificial intelligence was designed to evaluate the operation process of power disconnecter in real time and help to reduce error actions of dispatchers due to error devices, delayed communication. Experimental models in ATS laboratory was designed to verify proposed contents. Experimental results showed the feasibility, the effectiveness of proposes with high technology to control a real bay unit, reduce accidents caused by operating wrong instructions. Models can help students program, test ideas before applying in real systems.
<b>Revised:</b> 27/02/2025	
<b>Published:</b> 27/02/2025	
<b>KEYWORDS</b>	
Power system automation	
Circuit breaker	
Disconnecter	
Remote control	
IEC 61850	

## GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN XA CHO MỘT NGĂN LỘ TRONG TRẠM BIẾN ÁP KHÔNG NGƯỜI TRỰC SỬ DỤNG RƠ LE SỐ, CÔNG NGHỆ OneATS VÀ TRÍ TUỆ NHÂN TẠO

Lê Tiên Phong\*, Ngô Minh Đức, Ngô Đức Minh  
Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<b>Ngày nhận bài:</b> 08/02/2025	Bài báo này đã ứng dụng công nghệ OneATS vào bài toán điều khiển một ngăn lộ trong trạm biến áp và đề xuất giải pháp giám sát trạng thái vận hành ứng dụng công nghệ trí tuệ nhân tạo. Bài toán điều khiển ngăn lộ đã được thiết kế theo quy trình vận hành 24 trạng thái, bao gồm quy tắc đóng (cắt tiếp địa trước, đóng dao cách ly chính và đóng máy cắt) và quy trình cắt (cắt máy cắt trước, mở dao cách ly chính và đóng tiếp địa). Rơ le SEL 451 được sử dụng như một thiết bị điều khiển ngăn lộ với khả năng lập trình logic, giao tiếp với các các thiết bị ngoại vi thông qua cổng input/output và giao tiếp với máy tính thông qua phần mềm OneATS sử dụng chuẩn truyền thông IEC61850. Công nghệ trí tuệ nhân tạo được xây dựng để giám sát trạng thái vận hành của dao cách ly theo thời gian thực, nhờ đó tránh các thao tác chưa hợp lý của kỹ thuật viên do trễ đường truyền, lỗi thiết bị. Các mô hình thiết bị thực được thiết lập tại phòng thí nghiệm để kiểm chứng các nội dung đã thiết lập. Kết quả vận hành trên mô hình cho thấy tính khả thi và hiệu quả của việc ứng dụng công nghệ cao vào bài toán điều khiển ngăn lộ trong thực tế, giúp giảm các tai nạn đáng tiếc do thao tác sai quy trình gây nên. Mô hình cho phép tùy biến lập trình, thử nghiệm ý tưởng trước khi đưa ra thực tế.
<b>Ngày hoàn thiện:</b> 27/02/2025	
<b>Ngày đăng:</b> 27/02/2025	
<b>TỪ KHÓA</b>	
Tự động hóa hệ thống điện	
Máy cắt	
Dao cách ly	
Điều khiển xa	
IEC 61850	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.12000>

\* Corresponding author. Email: [mrphonghtd1246@tnu.edu.vn](mailto:mrphonghtd1246@tnu.edu.vn)

## 1. Giới thiệu

Việc điều khiển các thiết bị trong trạm biến áp (TBA) có thể được thực hiện tại chỗ hoặc từ xa bởi một trung tâm điều khiển (TTĐK) với khoảng cách có thể từ vài trăm mét đến vài trăm ki lô mét. Điều khiển xa các TBA là việc thực hiện điều khiển, giám sát và thu thập dữ liệu vận hành trong phạm vi phân cấp điều độ. Phân tích cụ thể cho một TBA 110 kV, các thiết bị trong TBA có thể được điều khiển bởi người vận hành tại phòng điều khiển đặt tại trạm (thông qua các máy tính) hoặc từ TTĐK xa đặt tại Công ty điện lực tỉnh [1] – [3]. Để thực hiện điều khiển xa các TBA, cần thiết phải sử dụng các thiết bị điện tử thông minh (IED - Intelligent Electronic Device), các công nghệ truyền thông, các máy tính có cài đặt các phần mềm chuyên dụng. Các IED có thể là các thiết bị điều khiển ngăn lộ (BCU - Bay Controller Unit) chỉ thực hiện nhiệm vụ điều khiển hoặc các rơ le (RL) thực hiện đồng thời cả nhiệm vụ bảo vệ rơ le và điều khiển. Các IED này hiện nay đều đã tích hợp chuẩn truyền thông IEC60870 hay IEC61850 và có khả năng lập trình logic nên đã được sử dụng phổ biến trong việc điều khiển các TBA nói chung và trong các ngăn lộ với tổ hợp máy cắt (MC), dao cách ly (DCL), dao tiếp địa (DTĐ) [3] – [6]. Với bài toán điều khiển một ngăn lộ 110 kV trong TBA, người vận hành và người lập trình bài toán luôn phải tuân thủ quy trình như một quy tắc để đảm bảo an toàn cho người vận hành, các thiết bị và đặc biệt là đảm bảo duy trì trạng thái vận hành ổn định hệ thống điện (HTĐ). Trong đó, cần phải điều khiển đúng quy tắc đối với tổ hợp các thiết bị MC - DCL - DTĐ (quy tắc đóng và quy tắc cắt). Việc điều khiển có thể được thao tác bằng tay tại nơi đặt thiết bị (thông qua các khóa điều khiển đặt tại các tủ điện) hoặc từ xa thông qua giao diện người-máy (HMI - Human Machine Interface) tại phòng điều khiển của trạm biến áp/trung tâm điều khiển xa; có đèn hiển thị trạng thái làm việc của tổ hợp MC - DCL; có khả năng chống thao tác nhầm, không thể đóng MC khi DCL chưa đóng hoặc DTĐ chưa mở. Đồng thời, không thể thao tác với bất kỳ DCL nào khi MC chính chưa cắt [6], [7].

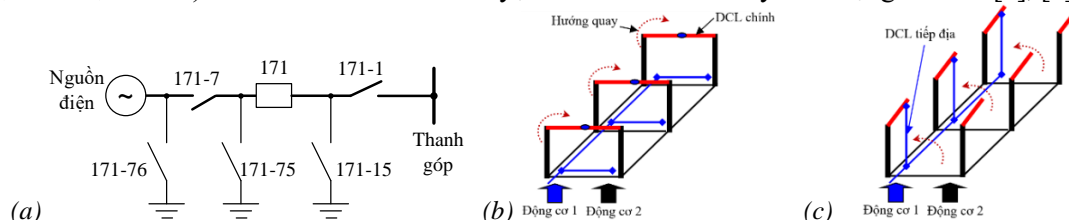
Hiện tại, Tập đoàn điện lực Việt Nam (EVN) đã triển khai phương thức vận hành TBA không người trực. Tuy nhiên, trong quá trình thực hiện đã có khá nhiều sự cố phát sinh. Ví dụ: RL không hiện báo sự cố khi tác động cắt MC, MC tự tác động cắt trong khi mạng điện vận hành bình thường (do lỗi mạch nhị thức không được phát hiện), v.v. Nhiều trường hợp dẫn đến làm hư hỏng thiết bị hoặc gây mất điện ngoài dự kiến. Vấn đề này cần được xử lý để nhanh chóng khôi phục kết nối SCADA hoặc tín hiệu đo lường, trạng thái và điều khiển thao tác xa trong thời gian ngắn nhất nhưng yếu tố chủ quan là phụ thuộc vào khả năng di chuyển của đội thao tác lưu động đến hiện trường sự cố tại TBA và sự phối hợp với điều độ viên tại TTĐK [3] – [6]. Các phân tích trên cho thấy vấn đề điều khiển ngăn lộ trong một TBA cần phải được làm rõ để các kỹ thuật viên có thể hiểu về bản chất của quá trình điều khiển. Đồng thời, cần thiết được nâng cao giải pháp kiểm soát trạng thái vận hành của hệ thống một cách tin cậy, đồng thời gửi cảnh báo kịp thời khi các thiết bị trong ngăn lộ làm việc sai/lỗi, v.v.

Một trong những giải pháp giúp nâng cao chất lượng điều khiển hiện nay là công nghệ AI. Các kỹ thuật của thị giác máy tính và các thiết bị phần cứng phù hợp có thể giúp khắc phục các vấn đề liên quan đến trực giác của con người, cụ thể là nhận dạng trạng thái làm việc của hệ thống [8], [9]. Tuy nhiên, các RL số hiện nay vẫn chưa được tích hợp các công nghệ AI nên việc giám sát điều khiển một BCU vẫn phụ thuộc vào người vận hành. Vì vậy, phần thứ hai của bài báo sẽ trình bày một giải pháp mới điều khiển ngăn lộ sử dụng rơ le SEL 451, thiết bị có chức năng tự động hóa và đóng vai trò như một BCU để điều khiển một ngăn lộ trong trạm biến áp 110 kV. Phần thứ ba của bài báo đề xuất ứng dụng công nghệ AI vào vấn đề nhận diện trạng thái của DCL và xử lý hình ảnh theo thời gian thực. Phần cuối cùng của bài báo sẽ trình bày một số kết luận và những đóng góp mới.

## 2. Giải pháp điều khiển ngăn lộ sử dụng BCU có tích hợp IEC 61850

### 2.1. Bài toán điều khiển ngăn lộ trong trạm biến áp 110 kV

Xét một ngăn lộ 110 kV có cấu trúc phổ biến trong thực tế như thể hiện trên Hình 1a có 1 máy cắt mạch chính (171), 2 dao cách ly chính kiểu 3 pha 2 trụ (171-1 và 171-7), 3 DTĐ cố định (171-15, 171-75, 171-76) nhằm đảm bảo an toàn tuyệt đối khi MC 171 duy trì ở trạng thái cắt [1], [6].

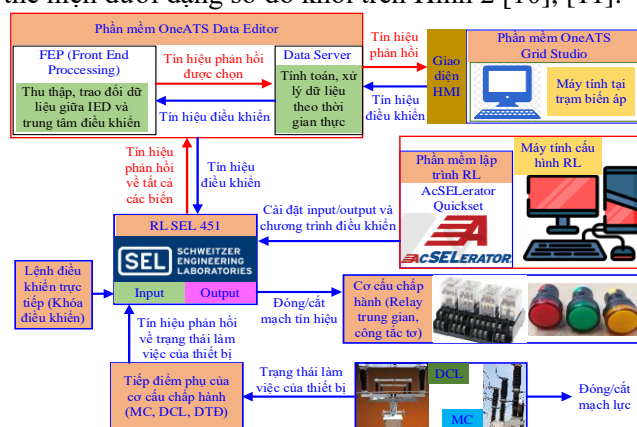


**Hình 1.** Một ngăn lộ 110 kV và trạng thái làm việc của DCL 3 pha 2 trụ: (a) Ngăn lộ 171, (b) Trạng thái đã đóng, (c) Trạng thái đã mở

Với ngăn lộ trên Hình 1a, quy trình vận hành sẽ được thiết lập qua nhiều trạng thái khác nhau. Trong đó, có thể phân biệt thành quy trình đóng MC và quy trình cắt MC. Đối quy trình đóng MC, các thiết bị được thao tác theo trình tự như sau : 1- Mở ba DTĐ, 2- Đóng hai DCL, 3- Đóng MC. Đối quy trình cắt MC, các thiết bị được thao tác theo trình tự: 1- Cắt MC, 2- Mở hai DCL, 3- Đóng ba DTĐ. Trên Hình 1b thể hiện trạng thái đóng/mở đối với DCL và Hình 1c đối với DTĐ luôn đảm bảo phân biệt được bằng mắt thường hoặc Camera quan sát trong khuôn viên của TBA.

### 2.2. Cấu trúc điều khiển

Chu trình thao tác điều khiển ngăn lộ trong trạm biến áp bao gồm các bước theo trình tự: phát lệnh điều khiển tại chỗ bằng khóa điều khiển (local) hoặc từ xa (remote) thông qua màn hình HMI, xử lý tín hiệu điều khiển tại BCU và cuối cùng là thu thập tín hiệu phản hồi về trạng thái làm việc của từng thiết bị. Ở chế độ local, BCU sử dụng các chân input để thu thập tín hiệu điều khiển do người vận hành gửi đến và tín hiệu phản hồi về trạng thái làm việc của thiết bị. Ở chế độ remote, BCU chỉ sử dụng các chân input để thu thập thông tin phản hồi về trạng thái làm việc của thiết bị. Các chân output của BCU đóng vai trò là các phần tử phát tín hiệu để điều khiển các thiết bị mạch lực thông qua các phần tử có thể chịu dòng tải cao như rơ le trung gian, công tắc tơ [7]. Cấu trúc điều khiển một ngăn lộ trong TBA sử dụng công nghệ OneATS trong phòng thí nghiệm ATS tại TNUT được thể hiện dưới dạng sơ đồ khối trên Hình 2 [10], [11].



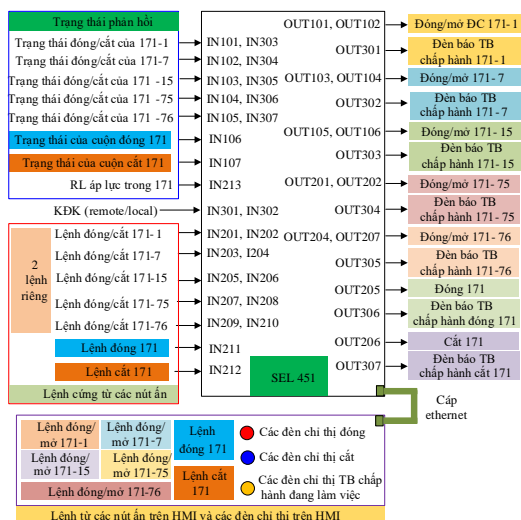
**Hình 2.** Sơ đồ khối hệ thống điều khiển ngăn lộ sử dụng RL SEL 451 và công nghệ OneATS

RL SEL 451 sử dụng các chân input để thu thập tín hiệu điều khiển của người vận hành gửi đến thông qua các khóa điều khiển đặt tại thiết bị và thu thập tín hiệu phản hồi về trạng thái của các thiết bị thông qua các tiếp điểm phụ (MC, DCL, DTĐ). Đồng thời, RL SEL 451 sử dụng các

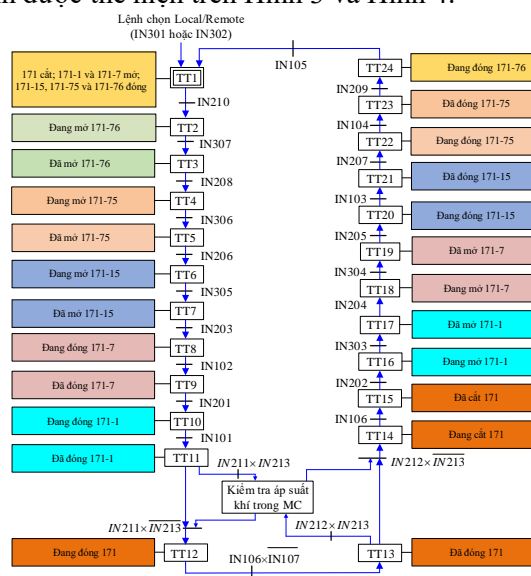
chân output để gửi các quyết định điều khiển đến các cuộn dây của rơ le trung gian/công tắc tơ, từ đó làm thay đổi trạng thái đóng/cắt của các thiết bị chấp hành (MC, DCL, DTĐ) và làm thay đổi trạng thái đóng/mở của mạch lực mà các thiết bị chấp hành đảm nhiệm. Để lập trình RL SEL 451, cần sử dụng ngôn ngữ SELLogic và các kỹ thuật lập trình logic [10]. Phần mềm OneATS Data Editor và OneATS Grid Studio được sử dụng để thiết lập kết nối, thu thập dữ liệu và điều khiển RL SEL 451 [11].

**2.3. Kết nối input/output tại BCU**

Với việc sử dụng bộ vi xử lý trung tâm là RL SEL 451, tín hiệu điều khiển, tín hiệu phản hồi được gán cho các chân input và chu trình vận hành được thể hiện trên Hình 3 và Hình 4.



**Hình 3.** Gán chức năng cho các chân của SEL 451



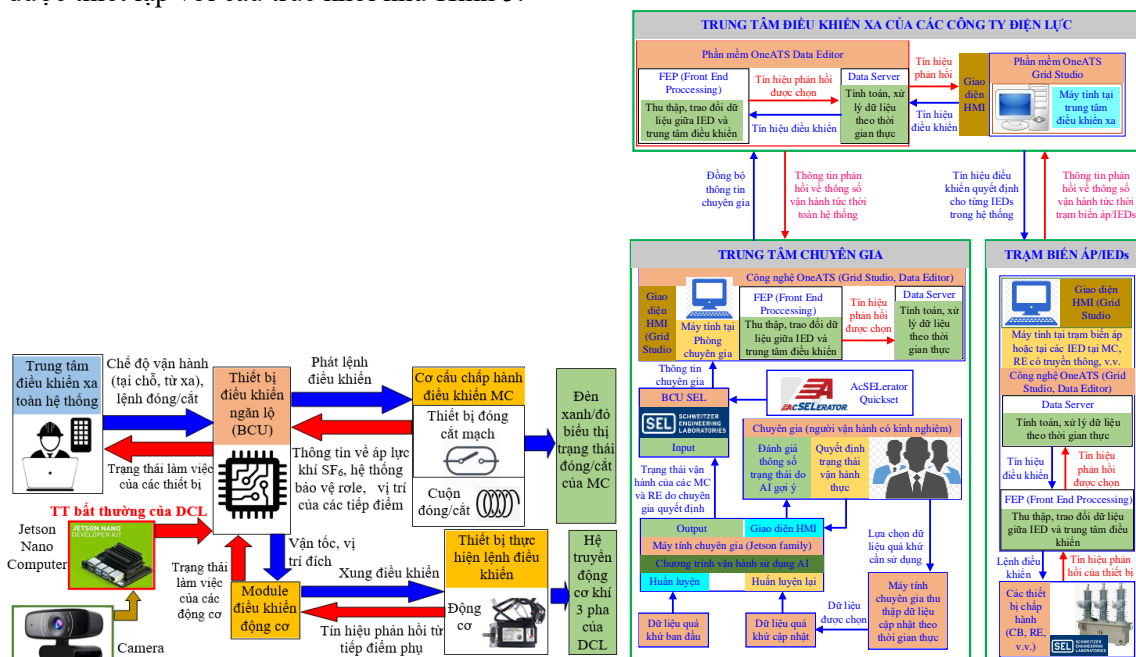
**Hình 4.** Chu trình vận hành toàn hệ thống

Trạng thái làm việc của hệ thống được phân biệt thành 24 trạng thái như trên Hình 4 cho chế độ điều khiển local, trong đó trạng thái 1 đến trạng thái 13 thiết lập cho chu trình đóng MC trong khi trạng thái 14 đến 24 thiết lập cho chu trình cắt MC. Với chế độ điều khiển remote, 24 trạng thái của hệ thống vẫn được thiết lập tương tự như chế độ local, chỉ khác ở lệnh điều khiển thay vì được thực hiện từ các khóa điều khiển thì được thực hiện bởi biến remote bit trên màn hình.

**2.4. Đề xuất giải pháp điều khiển ngăn ngừa kết hợp hệ chuyên gia**

Hiện nay, việc ứng dụng các công nghệ tiên tiến như trí tuệ nhân tạo trong RL số vẫn còn nhiều hạn chế do những yêu cầu đặc biệt của thiết bị này. Vì thế, cần phải có những giải pháp thích hợp để thông minh hóa hệ thống điều khiển trạm. Giải pháp vận hành từ xa hiện nay vẫn còn một số tồn tại như sau: Việc đóng cắt hệ MC-DCL vẫn mang tính thủ công (không được tự động hóa) khiến cho nhân viên điều độ có thể thao tác sai (phát lệnh đóng/cắt MC và DCL sai thứ tự quy định). Trạng thái phản hồi về vị trí đóng/mở của DCL đã được gửi vào (IN101÷IN105) và (IN303÷IN107) nhưng những trường hợp mất kết nối giữa BCU với trung tâm điều khiển, trực trực phân điện (đứt dây mạch phản hồi) hoặc hư hỏng phần cơ khí (cơ cấu quay có thực hiện nhưng không hết hành trình mà trạm lại không có người trực nên không nắm được chính xác thông tin DCL đã quay được đến phần nào). Trạng thái đóng mở của DCL chỉ được quan sát bằng mắt thường tại một số góc quan sát qua camera mà không có giải pháp cảnh báo về những trạng thái đóng/mở không hoàn toàn của DCL. Điều này có thể khiến người vận hành có những nhận định không chính xác và có thể vẫn phát lệnh chuyển đổi trạng thái của thiết bị.

Vấn đề này có thể được khắc phục bằng cách giám sát, xử lý trạng thái làm việc bình thường và bất thường cho hệ MC-DCL sử dụng công nghệ AI, trong đó sử dụng kỹ thuật deep learning accelerator trên nền tảng thị giác máy tính [8], [9]. Giải pháp này được áp dụng cho hệ DCL có thiết kế kiểu khóa cơ khí nên có thể xem đây như một giải pháp nhằm đáp ứng yêu cầu đặt hàng của các công ty điện lực trong quá trình chuyển đổi số và tăng cường tự động hóa TBA. Để thực hiện, một trung tâm điều khiển, giám sát, xử lý trạng thái làm việc bình thường và bất thường được thiết lập với cấu trúc khối như Hình 5.



Hình 5. Cấu trúc điều khiển có hệ chuyên gia sử dụng công nghệ OnATS và RL SEL

Theo mô hình này, tất cả các MC và RL trong lưới điện sẽ được điều khiển bởi một IED thông qua các máy tính và các tủ truyền thông cáp quang để truyền thông tin đi xa. Việc gửi dữ liệu và nhận dữ liệu được thực hiện theo cả hai chiều giữa IED và TTĐK. AI tích lũy kinh nghiệm và xử lý vận hành với vai trò là hệ thống chuyên gia. Trung tâm chuyên gia sẽ phải là sự kết hợp của các máy tính chuyên dụng có các chương trình AI có khả năng tự học, tự thích nghi, thu thập dữ liệu hiện thời và nhận dạng thông số vận hành hệ thống, đưa ra những quyết định về trạng thái vận hành dựa trên gợi ý của AI.

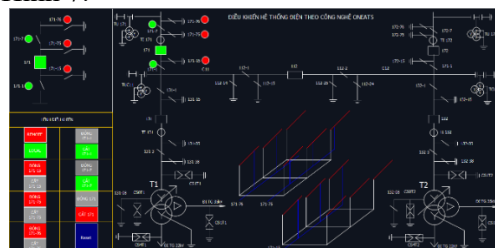
### 3. Kết quả và bàn luận

#### 3.1. Kết quả điều khiển ngăn lộ sử dụng công nghệ OneATS và RL SEL 451

Mô hình thực nghiệm sử dụng RL SEL 451 và máy tính có cài phần mềm OneATS như thể hiện trên Hình 6. Giao diện HMI được thể hiện trên Hình 7.



Hình 6. Tổng thể các thiết bị trong mô hình

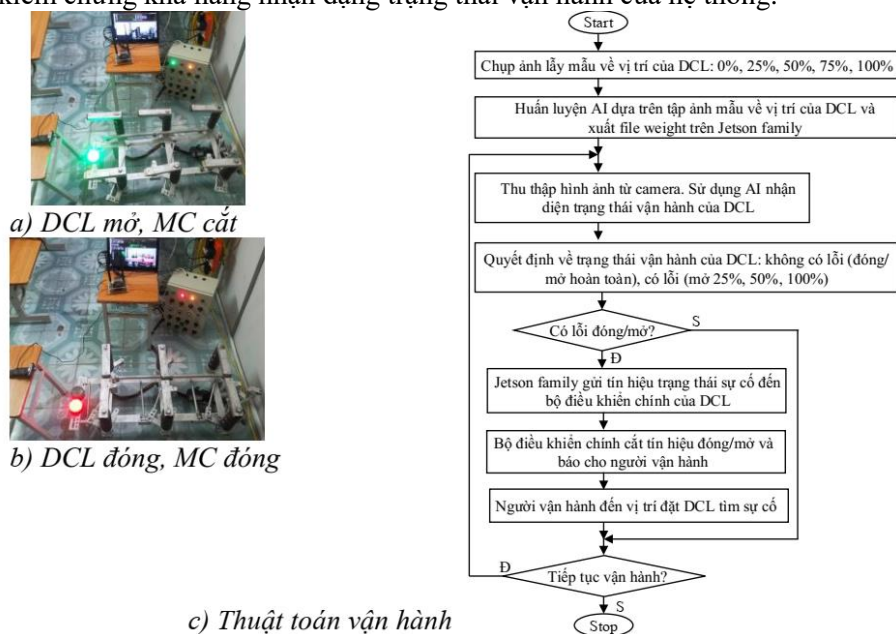


Hình 7. Giao diện HMI trên máy tính điều khiển

Chuẩn truyền thông được thiết lập để kết nối giữa máy tính và RL SEL 451 là IEC61850. Lệnh điều khiển, bao gồm lệnh chọn chế độ (remote hay local) và lệnh đóng/mở thiết bị, được thiết lập thông qua việc xoay khóa điều khiển đặt tại thiết bị như trong thực tế. Tín hiệu phản hồi được thực hiện thông qua việc xoay khóa điều khiển để giả lập phản ứng của thiết bị trong thực tế. Ở chế độ remote, người điều khiển sẽ thiết lập lệnh điều khiển thông qua việc ấn nút trên HMI và quan sát trạng thái làm việc của từng phần tử thông qua đèn trạng thái của từng phần tử. Trên mô hình, đèn đỏ ứng với trạng thái thiết bị đã đóng thành công, đèn vàng ứng với động cơ đang quay để thực hiện việc đóng/mở MC, DCL, DTĐ. Các kết quả thực nghiệm thu được đã thể hiện việc vận hành các thiết bị đã đáp ứng đúng các yêu cầu đặt ra của đầu bài ở chế độ local/remote. Các DTĐ, DCL, MC đã được đóng đúng quy trình và không thể thao tác nhầm trên màn hình (nếu thao tác vượt cấp thì đầu OUT của bước tiếp theo không được đóng).

### 3.2. Kết quả nhận dạng trạng thái vận hành của dao cách ly sử dụng công nghệ AI trên nền tảng Jetson family

Mô hình thiết bị thực và thuật toán vận hành được xây dựng trong phòng thí nghiệm như trên Hình 8 để kiểm chứng khả năng nhận dạng trạng thái vận hành của hệ thống.



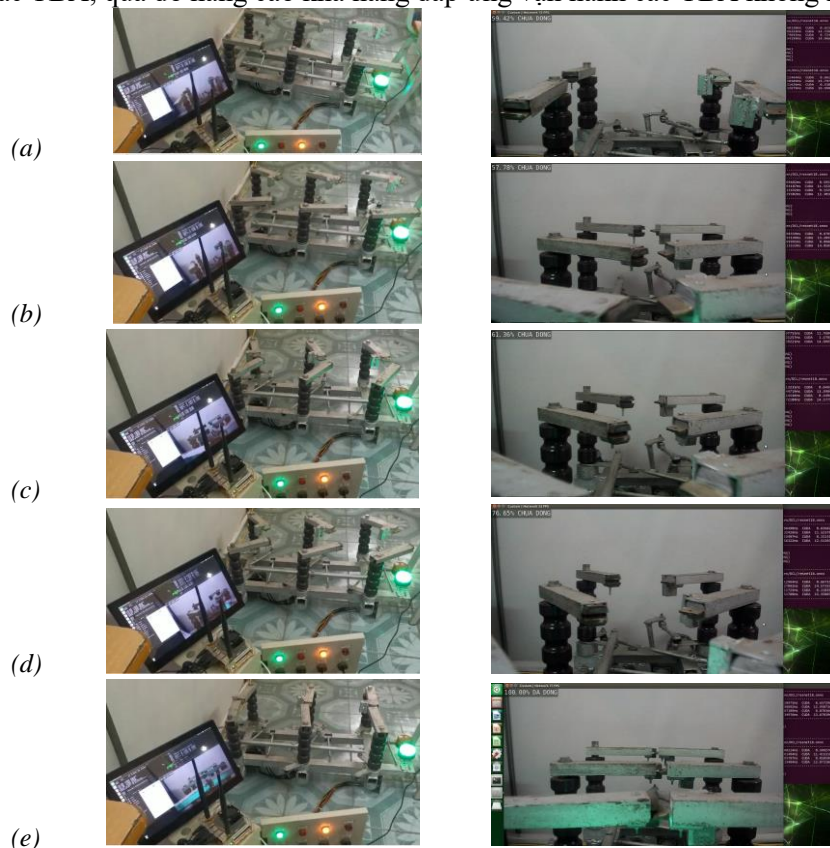
**Hình 8.** Mô hình và thuật toán vận hành mô hình có khả năng giám sát trạng thái của DCL

Để mô hình có thể hoạt động theo yêu cầu của bài toán, các dữ liệu cần thu thập theo các nhóm riêng như: chưa đóng, đóng 25%, 50%, 75% và 100% sau đó huấn luyện (train) các tập dữ liệu bằng Pytorch để đảm bảo độ chính xác. Sau khi kết thúc quá trình huấn luyện, có thể thực hiện chương trình kiểm tra nhận dạng bằng cách sử dụng TensorRT và ImageNet để thực hiện suy luận sau đó đưa ra kết quả phân loại. Với tốc độ xử lý 60 khung hình trên giây, chương trình sẽ thực hiện đếm số khung hình xuất hiện mỗi trạng thái lỗi (đóng 25%, 50% và 75%) để đưa ra quyết định trạng thái đang vận hành có phải rơi vào trạng thái lỗi thật không. Nếu số khung hình lỗi đếm được trên 600 (tương ứng với 10 s tồn tại lỗi) thì được xem là DCL đã rơi vào trạng thái lỗi thực sự và cần phải sự can thiệp vào bộ điều khiển. Trạng thái lỗi trên DCL do lỗi chi tiết cơ khí được nhận diện trên Jetson Nano và gửi về cảnh báo trên màn hình HMI và trên đèn cảnh báo như thể hiện trên Hình 9 và Hình 10.

Kết quả trên Hình 9 cho thấy chương trình AI đã nhận diện được các trạng thái làm việc của DCL và hiển thị liên tục về trạng thái của DCL lên màn hình HMI, giúp người điều khiển xa có những gợi ý chính xác về trạng thái thực tế. Kết quả trên Hình 10 cho thấy khi Jetson Nano phát

hiện trạng thái lỗi của DCL qua camera và chương trình AI và phát cảnh báo (đèn đỏ nhấp trong khi đèn xanh vẫn đang sáng) khiến cho người điều khiển ở xa chú ý và tìm cách giải trừ sự cố. Đây có thể được xem như một trợ lý ảo cho người vận hành. Tuy nhiên, các nghiên cứu bước đầu này vẫn cần có những cải tiến về thuật toán, kỹ thuật AI cũng như các phần cứng tốt hơn (dùng Jetson family với cấu hình cao hơn, có camera tốt hơn) để cho kết quả nhận diện tốt hơn.

Các kết quả thu được cho thấy TTĐK đã thực hiện tốt vai trò thiết lập các so sánh logic, giúp tránh các thao tác sai của hệ MC và DCL khi kết hợp với thiết kế cơ khí dạng khóa. TTĐK có sự liên kết với thông tin về trạng thái của DCL nhờ sự kết hợp với AI trên nền tảng của hệ vi xử lý Jetson family. Điều này đã giúp nâng cao độ chính xác, độ tin cậy và tăng cường tính tự động hóa trong các TBA, qua đó nâng cao khả năng đáp ứng vận hành các TBA không người trực.



**Hình 9.** Kết quả nhận diện trạng thái làm việc trên Jetson Nano: (a) Trạng thái mở hoàn toàn, (b) Trạng thái đóng 25%, (c) Trạng thái đóng 50%, (d) Trạng thái đóng 75%, (e) Trạng thái đóng 100%



**Hình 10.** Kết quả nhận diện đóng có sự cố

#### 4. Kết luận

Bài báo đã thiết lập được việc ứng dụng công nghệ OneATS vào bài toán điều khiển một ngăn lộ trong TBA. Bài toán đã được phân biệt thành 24 trạng thái vận hành riêng biệt với biển kích

thích là các khóa điều khiển hoặc biến điều khiển xa. Bộ điều khiển chính là RL SEL 451 với chức năng tự động hóa. Thông qua việc thiết lập các cấu trúc phân cứng của rơ le và quy tắc logic với ngôn ngữ lập trình SELogic, bài báo đã thiết lập thành công chương trình điều khiển cho rơ le ứng với bài toán công nghệ đặt ra cho việc điều khiển một ngăn lộ trong trạm biến áp theo đúng quy trình và tránh thao tác sai thông qua việc thiết lập giá trị biến trên phân mềm. Đóng góp mới của bài báo là đề xuất giải pháp giám sát trạng thái làm việc bình thường và bất thường cho DCL trong ngăn lộ. Giải pháp này ứng dụng AI nhận diện trạng thái của DCL theo thời gian thực để cảnh báo cho nhân viên vận hành tại trung tâm điều khiển, tránh việc tiếp tục thao tác khi DCL đang lỗi.

Bài báo đã thiết lập mô hình thiết bị thực có khả năng phát lệnh điều khiển, giả lập tín hiệu phản hồi và các đèn thể hiện trạng thái sử dụng rơ le SEL 451. Đồng thời, một mô hình bộ DCL cũng đã được thiết lập để kiểm chứng khả năng nhận diện trạng thái vận hành. Các mô hình này đã được thiết lập tại TNUT để giúp việc lập trình, chỉnh sửa chương trình được dễ dàng mà không ảnh hưởng gì đến các thiết bị chấp hành thực tế. Việc điều khiển có thể được thực hiện tại chỗ đặt thiết bị (thông qua các khóa điều khiển) hoặc từ xa thông qua HMI tại phòng điều khiển của TBA/TTĐK. Các kết quả thu được từ mô hình cho thấy việc áp dụng thành công công nghệ OneATS vào bài toán điều khiển ngăn lộ trong TBA đã giúp điều khiển xa các thiết bị trong trạm và khả năng áp dụng công nghệ AI giúp nâng cao khả năng vận hành an toàn cho TBA.

Việc áp dụng thành công công nghệ OneATS và công nghệ AI đã tạo nên một mô hình thiết bị thực giải quyết một bài toán cụ thể trong hệ thống điện theo đúng quy trình đặt ra và tạo ý tưởng nhận diện trạng thái vận hành theo thời gian thực hoàn toàn tự động. Sản phẩm nghiên cứu có thể được áp dụng cho tất cả các TBA với chức năng điều khiển, giám sát và thu thập dữ liệu của các Công ty điện lực. Với những nội dung đã đạt được, các tác giả hy vọng sẽ góp phần hoàn thiện về kiến thức về điều khiển và giám sát cho các kỹ sư tại các công ty Điện lực và bổ sung một giải pháp để nâng cao độ tin cậy của công tác điều khiển xa không người trực tại các TBA.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] H. A. Duong, "Study on Building SCADA System for Electrical Substation Using IoT Vbox," *TNU Journal of Science and Technology*, vol. 228, no. 11, pp. 50-57, 2023.
- [2] T. N. N. Doan, T. T. Nguyen, D. N. Hoang, V. P. Vo, and T. D. Le, "Research on Improving the Efficiency of Safe Operation of the Automatic Voltage Adjustment System of Substations 110 kV without Personnel," *Journal of Science and Technology, The University of Da Nang*, vol. 18, no. 3, pp. 16-20, 2020.
- [3] N. H. Q. Hoang and T. D. Le, "The Solution to Upgrade Traditional Substations to Digital Substations Based on IEC 61850 Standard," *Journal of Science and Technology, The University of Da Nang*, vol. 20, no. 7, pp. 1-7, 2022.
- [4] S. Kumar, A. Abu-Siada, N. Das, and S. Islam, "Toward a Substation Automation System Based on IEC 61850," *Electronics*, vol. 10, pp. 310-325, 2021.
- [5] P. H. Vu and D. T. Le, "Testing Utility Communication Protocol IEC 60870-5-101/104 for Substation Automation System," *Journal of Science and Technology, The University of Da Nang*, vol. 3, no. 124, pp. 33-37, 2018.
- [6] T. V. Dinh and H. V. Ho, "Substation Automation with IEC61850 Protocol and Integration of Different Equipment and Communication Protocols," *Journal of Science and Technology, The University of Da Nang*, vol. 80, no. 7, pp. 85-89, 2014.
- [7] K. H. Le and P. H. Vu, *Numerical Relaying - Power System Protection*, Science and Technology Publisher, 2020.
- [8] M. A. Shafique, A. Munir, and J. Kong, "Deep Learning Performance Characterization on GPUs for Various Quantization Frameworks," *AI*, vol. 4, no. 4, pp. 926-948, 2023.
- [9] L. Stacker, J. Fei, P. Heidenreich, F. Bonarens, J. Rambach, D. Stricker, and C. Stiller, "Deployment of Deep Neural Networks for Object Detection on Edge AI Devices with Runtime Optimization," *IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW)*, 2021, pp. 1015-1022.
- [10] SEL, *SEL-451 Relay: Protection, Automation, and Control System*, Schweitzer Engineering Laboratories, INC, Instruction Manual, 2006.
- [11] Joint Stock Company of Applied Technical Systems, *OneATS User Manual*, ATS company, Instruction Manual, 2021.