

GIẢI PHÁP NÂNG CẤP TRẠM BIẾN ÁP TRUYỀN THÔNG THÀNH TRẠM BIẾN ÁP KỸ THUẬT SỐ TRÊN NỀN TẢNG TIÊU CHUẨN IEC 61850

THE SOLUTION TO UPGRADE TRADITIONAL SUBSTATIONS TO DIGITAL SUBSTATIONS BASED ON IEC 61850 STANDARD

Hoàng Ngọc Hoài Quang¹, Lê Tiến Dũng^{2*}

¹Công ty Điện lực Thừa Thiên Huế - Tổng công ty Điện lực miền Trung EVNCPC

²Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng

*Tác giả liên hệ: ltdung@dut.udn.vn

(Nhận bài: 17/2/2022; Chấp nhận đăng: 30/5/2022)

Tóm tắt - Công nghệ điều khiển số là xu hướng phát triển tất yếu của các hệ thống điều khiển hiện đại. Việc ứng dụng các giải pháp tự động hoá trạm biến áp (TBA) trên nền tảng công nghệ số ngày càng hoàn thiện đem lại độ ổn định tin cậy trong các hệ thống truyền tải năng lượng. Bài báo đề xuất giải pháp nâng cấp các hệ thống bảo vệ điều khiển truyền thống tại TBA 110kV ở Việt Nam thành TBA kỹ thuật số dựa trên nền tảng tiêu chuẩn IEC 61850. Giải pháp được áp dụng cụ thể cho dự án nâng cấp TBA 110kV Phú Bài tại Công ty Điện lực Thừa Thiên Huế. Kết quả cho thấy, TBA sau khi nâng cấp có các ưu điểm tốt hơn như cho phép thiết lập hệ thống bảo vệ điều khiển (BVĐK) và tự động hoá trên cơ sở các liên kết qua mạng truyền thông hợp nhất, các tín hiệu logic và tương tự được số hoá ngay hoặc gắn các thiết bị nhất thứ, tín hiệu được truyền nhận một cách nhanh chóng và tin cậy trên các hệ thống mạng.

Từ khóa - Tự động hoá TBA; TBA kỹ thuật số; IEC 61850; GOOSE, Giá trị trích mẫu

1. Đặt vấn đề

Các giải pháp số hoá dữ liệu và thực hiện giao tiếp truyền thông giữa các thiết bị trên nền tảng các hệ thống thông tin hợp nhất luôn gặp vấn đề trở ngại khi không đảm bảo sự tương đồng (Interoperability) về giao thức truyền thông dẫn đến hạn chế khả năng chia sẻ và xử lý thông tin tập trung trên cùng một hệ thống. Nhằm nâng cao khả năng tương thích của các hệ thống điều khiển TBA, các giao thức truyền thông chuyên dụng cho các ứng dụng điều khiển trong hệ thống năng lượng được phát triển trên nền tảng các công nghệ truyền thông tiên tiến theo tiêu chuẩn quốc tế như IEC60870-5-101/103/104, DNP3; Modbus ASCII/RTU v.v.. Việc chuẩn hoá các ứng dụng truyền thông về cơ bản đã giải quyết vấn đề xử lý thông tin tập trung của hệ thống điều khiển, tuy nhiên các giao thức truyền thông này chỉ dừng lại ở các quy định về định dạng thông tin, nội dung thông tin và các cách thức truyền nhận. Trên nền tảng mạng truyền thông Ethernet, từ năm 2003 tiêu chuẩn truyền thông quốc tế cho hệ thống tự động hoá trạm IEC 61850 ra đời. Tiêu chuẩn IEC 61850 không chỉ đơn thuần là một giao thức truyền thông. Mà hơn thế nữa, tiêu chuẩn IEC 61850 đã định nghĩa và mô hình hoá các đối tượng trong TBA, quy định về cách thức tổ chức phân lớp thông tin, khai báo các dịch vụ trừu tượng để mô tả các quá trình trao đổi thông tin v.v.. Việc áp dụng tiêu chuẩn IEC 61850 tạo ra sự thay đổi căn bản trong chiến lược thiết kế hệ thống tự động hoá và truyền thông của các TBA.

Abstract - Digital control technology is the inevitable development trend of modern control systems. The application of substation automation (SA) solutions which are based on Digital Technology Platform brings stability and reliability in operating energy transmission systems. This article proposes a solution to upgrade the traditional protection control systems at 110kV substations in Vietnam into digital substations based on the IEC 61850 standard. This solution has been successfully applied to the Phu Bai 110kV substation upgrading project at Thua Thien Hue Power Company. The results showed that, the upgraded substation has better advantages including the protection control system and automation are allowed to establish on the basis of links via unified communication network, logical and analog signals are digitized at once or near primary power devices, and signals are transmitted quickly and reliably in the networks.

Key words - Substation Automation; Digital Substation; IEC 61850; GOOSE, Sample Value

Trong những năm gần đây công nghệ điều khiển số TBA được các công ty, các trường đại học, viện nghiên cứu ở các nước phát triển trên thế giới nghiên cứu, ứng dụng vào thực tiễn. Các công trình nghiên cứu đi trước đã công bố điển hình như: Trong bài báo [1], Fu Qincui và Jianyun Chen xây dựng một nền tảng thí nghiệm cho trạm biến áp kỹ thuật số dựa trên IEC 61850 để tích hợp công nghệ tiên tiến của tự động hóa trạm biến áp vào việc giảng dạy thí nghiệm của trường đại học. Trong nền tảng thử nghiệm, giao tiếp MMS (Manufacturing Message Specification) và GOOSE (Generic Object-Oriented Substation Event) giữa các thiết bị điện tử thông minh (Intelligent Electronic Device - IED) trong TBA được mô phỏng bằng phần mềm IEDScout và libIEC 61850, và các gói tin thu được sẽ được Wireshark ghi lại và phân tích. Antonio Riccardo [2] mô tả quy trình các bước được sử dụng bởi National Grid (Mỹ) để thiết kế kiến trúc, lựa chọn các thành phần khác nhau và thử nghiệm hệ thống cho một dự án trạm biến áp kỹ thuật số hoàn toàn. Ở bài báo [3], Yuvaraj Nayak cùng các cộng sự đã trình bày kết quả nghiên cứu các trường hợp hư hỏng khác nhau trong mạng truyền thông tổng thể và đề xuất đánh giá thực tế về sơ đồ bảo vệ dựa trên IEC 61850 trong điều kiện hư hỏng đã chọn. Bài báo xem xét các yêu cầu về độ tin cậy đối với một trạm biến áp kỹ thuật số liên quan đến tốc độ vận hành và độ tin cậy. Các thử nghiệm được thực hiện trong môi trường mô phỏng thời gian thực mà IED được giao tiếp vật lý. Bên cạnh

¹ Thua Thien Hue Power Company - Central Power Corporation EVNCPC (Hoang Ngoc Hoai Quang)

² The University of Danang - University of Science and Technology (Le Tien Dung)

đó, các nghiên cứu gần đây về tự động hóa trạm biến áp dựa trên tiêu chuẩn IEC 61850 đã được Mohd Asim Aftab và các cộng sự tổng quan, đánh giá lại trong bài báo [4]. Trong tài liệu [5], nghiên cứu về tiêu chuẩn IEC 61850 và trạm biến áp kỹ thuật số có giám sát tình trạng phần cứng theo thời gian thực đã cung cấp cho người đọc ý tưởng rõ ràng về trạm biến áp dựa trên tiêu chuẩn IEC 61850 và hoạt động của chúng trong thời gian thực. Các khái niệm cơ bản và một số kết quả nghiên cứu mới về TBA kỹ thuật số dựa trên tiêu chuẩn IEC 61850 cũng đã được giới thiệu tổng quan ở tài liệu [6, 7]. Một trong các nghiên cứu về IEC 61850 tại Việt Nam, tác giả Đinh Thành Việt, Hồ Hy Vinh trong tài liệu [8] đã đề xuất ứng dụng tiêu chuẩn IEC 61850 như một giao thức truyền thông thay thế các giao thức truyền thông trong các hệ thống tự động hoá TBA.

Trong những năm gần đây, tiêu chuẩn IEC 61850 cũng đã được Tập đoàn điện lực Việt nam (EVN) áp dụng để thiết lập hệ thống điều khiển cho các TBA. Tuy nhiên, do thiếu các nghiên cứu thấu đáo về việc tích hợp hệ thống tự động hoá theo tiêu chuẩn IEC 61850 với các hệ thống công nghệ hiện hữu, nên đa phần các hệ thống chỉ tập trung khai thác IEC 61850 như một giao thức truyền thông thông thường, chưa chú trọng đến việc thiết lập các giải pháp tự động hoá ở mức độ đầy đủ theo tiêu chuẩn. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sẽ đề xuất giải pháp nâng cấp các TBA 110kV theo công nghệ tích hợp truyền thông ở Việt Nam thành TBA kỹ thuật số dựa trên nền tảng tiêu chuẩn IEC 61850. Kết quả nghiên cứu được áp dụng cụ thể cho dự án nâng cấp hệ thống bảo vệ điều khiển (BVĐK) TBA 110kV Phú Bài tại công ty Điện lực Thừa Thiên Huế để có cơ sở phân tích đánh giá hiệu quả mang lại.

2. Tổng quan về mô hình TBA kỹ thuật số theo tiêu chuẩn IEC 61850

2.1. Mô hình truyền thông tổng quát

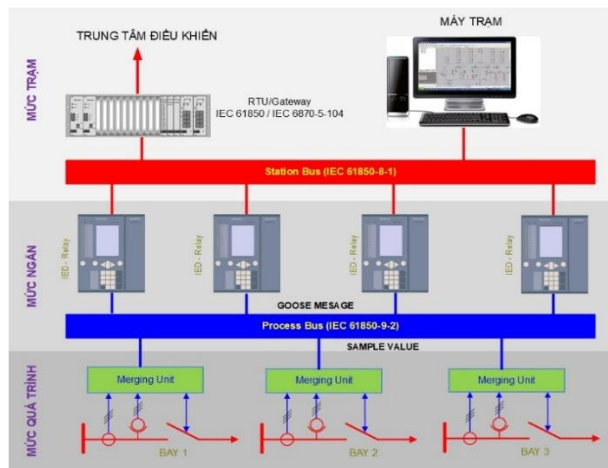
Trên cơ sở triển khai mô hình truyền thông và tổ chức phân cấp các ứng dụng tự động hoá theo tiêu chuẩn IEC 61850, cấu trúc tổng quát TBA điều khiển số được chia thành ba mức [9-11]:

Mức quá trình (Process Level): Là cấp thực hiện giao tiếp giữa các thiết bị nhất thứ với hệ thống BVĐK. Đối với các TBA truyền thống, giao tiếp này được thực hiện bằng mạng cáp đồng nhĩ thứ. Trong đó, các tín hiệu trạng thái, lệnh điều khiển, tín hiệu đo lường được gửi và nhận qua hệ thống cáp điều khiển. Đối với mô hình TBA kỹ thuật số, tất cả tín hiệu trên được số hoá trực tiếp trên các thiết bị đo lường phi truyền thống (Non-Conventional Instrument Transformer - NCIT) hoặc qua các thiết bị độc lập thực hiện chức năng ghép nối tín hiệu như Merging Unit (MU) hoặc Switchgear Control Unit (SCU), các thiết bị này được lắp đặt tại các tủ phối dây ngoài trời và được truyền nhận giữa các IEDs trên hệ thống mạng cáp quang cho phép cung cấp dữ liệu thu thập được một cách đầy đủ và chính xác hơn so với cách thức thu thập tín hiệu từ mạch đấu dây cứng thông thường. Giao tiếp truyền thông của Process Bus được thực hiện theo tiêu chuẩn IEC 61850-8-1 cho dịch vụ GOOSE, IEC 61850-9-2 LE cho các giá trị mẫu đo lường (SV).

Mức ngăn (Bay Level): Các thiết bị BVĐK trên mức ngăn (Relay, BCU) sẽ không cần thiết có các đầu vào số

hoặc tương tự, vì việc thu thập dữ liệu đã được thực hiện ở Process Level. Các thiết bị này tập trung thực hiện các thuật toán logic bảo vệ điều khiển, đưa ra các quyết định đóng/mở/ khoá các thiết bị chính và ghi nhận lưu trữ dữ liệu vận hành của thiết bị. Đồng thời các thiết bị ở mức ngăn thực hiện giao tiếp trung gian qua mạng Ethernet giữa hệ thống cấp trạm với cấp Process Bus.

Mức trạm (Station Level): Với công nghệ số dữ liệu trao đổi trên mạng sẽ lớn hơn hẳn SCADA truyền thống, vì nó cho phép nhiều thiết bị trạm trao đổi dữ liệu đồng thời, hỗ trợ giao tiếp giữa các thiết bị trên mạng LAN, liên kết đến thiết bị Gateway hoặc các thiết bị truyền thông trên mạng diện rộng WAN. Các thiết bị ở mức trạm có thể bao gồm RTU/Gateway, HMI của trạm, máy tính kỹ thuật để truy cập quản lý các thiết bị IED, hoặc liên kết đến các thiết bị HMI từ xa hoặc các hệ thống điều khiển khác.

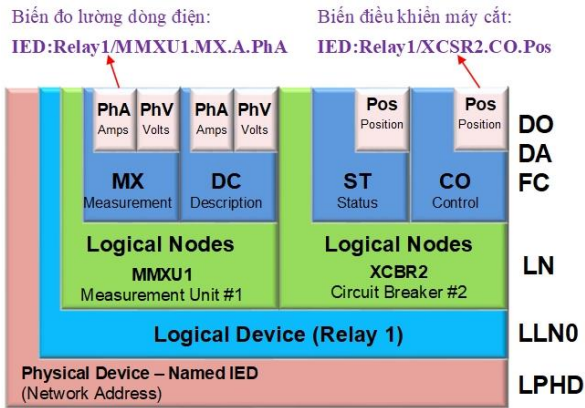


Hình 1. Mô hình truyền thông tổng thể TBA kỹ thuật số

2.2. Mô hình dữ liệu hệ thống

Mô hình dữ liệu (Data Model) của các đối tượng tự động hoá được tiêu chuẩn theo IEC 61850-7-4 [12], với mục đích tạo ra sự tương đồng về mặt dữ liệu và truyền thông giữa các thiết bị từ các nhà sản xuất khác nhau. Tiêu chuẩn sẽ tổ chức phân cấp theo công nghệ hướng đối tượng, định nghĩa các chức năng tự động hóa của trạm biến áp bằng các lớp node logic (Logical Nodes – LNs), đây là thành phần cơ bản để tạo ra các lớp dữ liệu (Data Class) trao đổi trên hệ thống. Ví dụ, chức năng bảo vệ quá dòng (PTOC) sẽ lấy thông tin từ biến dòng (TCTR) và chức năng điều khiển máy cắt (XCBR). Các lớp dữ liệu bao gồm nhiều đối tượng dữ liệu (Data Objects) phản ánh các thuộc tính của đối tượng. Tiêu chuẩn IEC 61850-7-4 quy định hàng trăm Logical Node, bao gồm các mô hình, các khối chức năng, giao diện truyền thông của các thiết bị bảo vệ, điều khiển, đo lường kỹ thuật số, các thiết bị thông tin và các thiết bị chính khác.

Việc xác định các LNs trên một thiết bị vật lý phụ thuộc vào khả năng của thiết bị do nhà sản xuất cung cấp. Kèm theo định nghĩa LNs, tiêu chuẩn còn định nghĩa thiết bị logic (Logical Devices - LDs) và thiết bị vật lý (Physical Devices – PDs). Mỗi thiết bị LDs được tập hợp từ các LNs và luôn hoạt động trên một thiết bị vật lý cụ thể. Thiết bị vật lý PDs có thể bao gồm một số thiết bị logic khác nhau, kèm theo đó thiết bị vật lý sẽ được xác định bằng một địa chỉ mạng (Network address) cụ thể.



Hình 2. Mô hình dữ liệu tiêu chuẩn IEC 61850

Mô hình dữ liệu của một Relay được minh họa trên Hình 2. Thiết bị Relay1, XCSR2 là một LN định nghĩa chức năng điều khiển máy cắt, chứa các đối tượng dữ liệu (DO) bao gồm: Trạng thái (ST- Status) với biến IED:Relay1/XCSR2.ST.Pos phản ánh trạng thái máy cắt và đối tượng điều khiển (CO - Control) thực hiện lệnh thay đổi vị trí (Pos) máy cắt qua biến IED:Relay1/XCSR2.CO.Pos; MMXU1 là một LN định nghĩa chức năng đo lường của Relay, có đối tượng dữ liệu (Data Object) MX phản ánh giá trị dòng điện (Amp) qua biến IED:Relay1/MMXU1.MX.A.Pha.

trạm, đảm bảo độ tin cậy của quá trình trao đổi dữ liệu trên hệ thống thông tin, giải pháp đề xuất các nội dung cần thực hiện để nâng cấp các TBA theo mô hình kỹ thuật số:

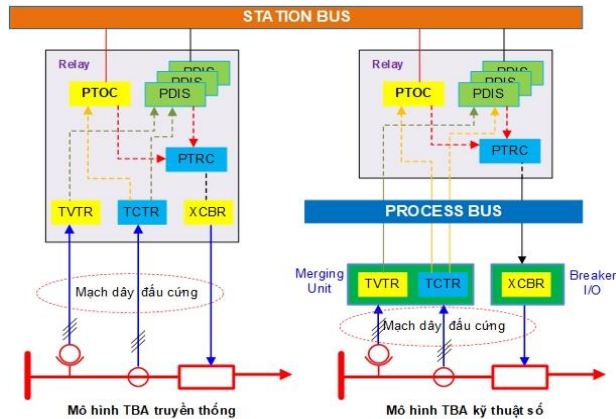
3.1. Thiết kế mô hình dữ liệu tự động hoá trạm

Mô hình dữ liệu tự động hoá trạm được xây dựng trên cơ sở sử dụng công cụ ngôn ngữ cấu hình trạm (Substation Configuration Language - SCL), đây là ngôn ngữ có cấu trúc định dạng theo chuẩn XML, được định nghĩa trong IEC 61850-6. Mục đích của SCL là thống nhất cách mô tả dữ liệu được trao đổi trên cùng một hệ thống tự động hoá TBA, qua đó có thể trao đổi dữ liệu giữa các thiết bị từ các nhà sản xuất khác nhau. Các loại file SCL với đuôi mở rộng khác nhau, được định nghĩa cụ thể cho việc trao đổi thông tin giữa hệ thống và các đối tượng:

- SSD (System Specification Description): Mô tả kỹ thuật hệ thống, định nghĩa các thông tin về sơ đồ một sợi (SLD), các cấp điện áp, thiết bị nhất thứ và các nút chức năng (Logical Node) cần để thực hiện các chức năng trạm biến áp;
- SCD (System Configuration Description): Mô tả cấu hình hệ thống, được tạo ra từ tệp SSD, bổ sung các thông tin bao gồm tất cả các IEDs đã được cấu hình, cấu hình truyền thông và tất cả các khía cạnh IEC 61850 cho hệ thống.
- ICD (IED Capability Description): Mô tả các chức năng của một loại IED. Mỗi IED sẽ có một file ICD liên quan đến nó, bao gồm các LNs, dữ liệu và các dịch vụ hỗ trợ kèm theo.
- CID (Configured IED Description): Mô tả IED đã được cấu hình, bao gồm một tập hợp con của file SCD với tất cả các thông tin liên quan đến IED.3
- IID (Instantiated IED Description): Mô tả một IED đã được cấu hình trước cho dự án và tệp SED (System Exchange Description) mô tả việc trao đổi dữ liệu giữa của các IED của 2 hệ thống khác nhau.

Sử dụng công cụ cấu hình hệ thống (System Configuration Tool - SCT) kết hợp các công cụ thiết lập thông số cho các IED (IED Specification Tool), đây là hai công cụ thiết yếu để xây dựng cấu hình hệ thống tự động hoá trạm. Các kỹ sư thiết kế có thể định nghĩa cấu hình hệ thống và thiết lập luồng trao đổi dữ liệu trên toàn hệ thống. Hiện nay, các phần mềm SCT phổ biến như IET600 (ABB), SCL Manager (ASE), tích hợp sẵn trong Digsy5 của Siemens đã hoàn thiện tính tương thích với các nhà sản xuất khác nhau theo chuẩn IEC 61850-6.

Lưu đồ của quá trình thiết lập mô hình dữ liệu cấu hình trạm theo giao thức IEC 61850 được mô tả theo Hình 3. Các thông tin mô tả đặc tính kỹ thuật hệ thống từ tệp SSD và tệp ICD mô tả khả năng của từng thiết bị IED được nhập vào SCT. Công cụ sẽ cho phép cấu hình các tính năng liên quan đến IEC 61850 của IEDs, cấu hình liên kết truyền thông theo liên kết ngang cho các bản tin GOOSE, SV và thiết lập cấu hình liên kết truyền thông theo chiều dọc với hệ thống máy tính. Thông qua việc sử dụng dữ liệu từ tệp SSD, các kỹ sư cũng có thể liên kết các chức năng của IEDs (LNs) với các thiết bị khác để phối hợp thực hiện cùng một chức năng trên sơ đồ một sợi. Cuối cùng, công cụ SCT văn bản hóa toàn bộ thông tin của hệ thống và xuất ra file SCD để đồng bộ cho hệ thống SCADA và hoàn thiện các tệp cấu hình thiết bị CID để đồng bộ lên cấu hình các thiết bị IED.

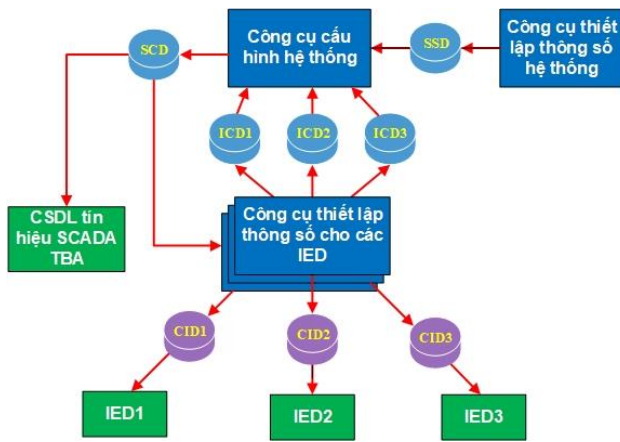


Hình 3. Mô hình thu thập và xử lý dữ liệu

Mô hình thu thập và xử lý dữ liệu giữa TBA truyền thống và TBA kỹ thuật số được minh họa trên Hình 3. Trong mô hình dữ liệu của TBA truyền thống, các LNs phục vụ cho việc thu thập và xử lý dữ liệu là thành phần trên cùng một thiết bị vật lý (PD). Đối với TBA kỹ thuật số, mô hình dữ liệu được thiết kế tách biệt giữa chức năng thu thập với chức năng xử lý dữ liệu, do đó các LNs có thể là các thành phần trên các PDs khác nhau, trao đổi dữ liệu với nhau qua Process Bus. Với mô hình này các ứng dụng tự động hoá và BVĐK sẽ được triển khai đơn giản và linh hoạt hơn, đây cũng là điều kiện để hạn chế số lượng dây tín hiệu mạch đầu cứng phải triển khai trên mức quá trình.

3. Giải pháp nâng cấp hệ thống điều khiển các TBA theo công nghệ kỹ thuật số

Công nghệ TBA kỹ thuật số về cơ bản sẽ thực hiện số hoá một phần hệ thống mạch thứ cấp của TBA bằng cách thay thế mạch nhị thứ cấp đồng giữa các thiết bị nhất thứ với hệ thống BVĐK bằng mạng cấp truyền thông. Để thực hiện số hoá tín hiệu của hệ thống BVĐK và tự động hoá



Hình 4. Lưu đồ thiết kế mô hình dữ liệu TBA

3.2. Thiết lập cấu hình kết nối đầu cuối ảo (Virtual Terminal Connection Configuration)

Công nghệ kỹ thuật số làm thay đổi cơ bản mô hình thiết kế hệ thống bảo vệ điều khiển TBA truyền thống. Thay cho việc tập trung thiết kế liên kết tín hiệu trên mạch nhị thức truyền thống, các kỹ sư phải thực hiện thiết lập cấu hình, xây dựng các thuật toán logic và liên kết tín hiệu cho các khối ứng dụng (Application Block) của các IEDs

Trong thiết kế cấu hình hệ thống BVĐK số cần phải thực hiện kết nối đầu cuối ảo cho các IED, quy trình này tương tự cách thức xây dựng bảng danh sách đầu dây (Terminal Connection List) của thiết kế hệ thống mạch nhị thức. Thiết kế đầu nối đầu cuối ảo phải xác định công vật lý của thiết bị và sơ đồ luồng thông tin của các tín hiệu GOOSE/SV, các khối chức năng nhận và xuất tín hiệu trên các thiết bị. Đây là phần cốt lõi của công việc cấu hình, đòi hỏi kỹ sư cấu hình phải có kiến thức về mạch nhị thức của TBA và các khối chức năng của thiết bị IEDs theo công bố đặc điểm kỹ thuật của nhà sản xuất.

Ví dụ qua Bảng 1 đề xuất cách thức thiết lập các kết nối đầu cuối ảo cho các tín hiệu trích mẫu đo lường Goose và SV của ngán 171 từ các MU trên Relay bảo vệ khoảng cách và so lệch.

Bảng 1. Bảng thiết lập kết nối ảo các tín hiệu Goose, SV

Description Indicators	Goose	Sample Value	Publisher Device		Subscriber Device	
			Logical Node	Logical Device	Logical Node	Logical Device
171 CB Opened	GOIN11		BININGG01.ST.Ind1	MU171.11	XCBR1.Pos.stVal	171.PDIS.
171 CB Closed	GOIN12		BININGG01.ST.Ind2	MU171.11	XCBR1.Pos.stVal	171.PDIS.
171 CB Open CMD	GOOUT11		CSW1.OpOpM	171.PDIS.	CMDOUTGG02.Ind1.stVal	MU171.11
171 CB Close CMD	GOOUT12		CSW1.OpClS	171.PDIS.	CMDOUTGG02.Ind2.stVal	MU171.11
171-7 DS Opened	GOIN13		BININGG01.Ind9.stVal	MU171.11	XSWI2.Pos.stVal	171.PDIS.
171-7 DS Closed	GOIN14		BININGG01.Ind10.stVal	MU171.11	XSWI2.Pos.stVal	171.PDIS.
171 CT1 Phase A	171SV.AmpA	IO1ATCTRL1.AmpSvInstMag		MU171.11	TCTR.AmpSv1.PhA	171.PDIS.
171 CT1 Phase B	171SV.AmpB	IO1BTCTRL1.AmpSvInstMag		MU171.11	TCTR.AmpSv1.PhB	171.PDIS.
171 CT1 Phase C	171SV.AmpC	IO1CTCTRL1.AmpSvInstMag		MU171.11	TCTR.AmpSv1.PhC	171.PDIS.
171 CT1 Phase N	171SV.AmpN	IO1NTCTRL1.AmpSvInstMag		MU171.11	TCTR.AmpSv1.PhN	171.PDIS.
171 VT1 Phase A	171SV.VolA	UO1ATVTR1.VolSvInstMag		MU171.21	TVTR.VolSv1.PhA	171.PDIS.
171 VT1 Phase B	171SV.VolB	UO1BTVTR1.VolSvInstMag		MU171.21	TVTR.VolSv1.PhB	171.PDIS.
171 VT1 Phase C	171SV.VolC	UO1CTVTR1.VolSvInstMag		MU171.21	TVTR.VolSv1.PhC	171.PDIS.

3.3. Thiết kế mô hình truyền thông hiệu năng cao cho TBA kỹ thuật số

Đối với các TBA kỹ thuật số, hiệu suất và tính khả dụng của hệ thống bảo vệ điều khiển phụ thuộc hoàn toàn vào phương thức truyền và nhận dữ liệu giữa các thiết bị. Do đó, hệ thống này yêu cầu mạng truyền thông phải có độ tin cậy và tính sẵn sàng cao. Để đáp ứng yêu cầu đó, mạng truyền thông tại hệ thống điều khiển phải hoạt động ổn định khi một thiết bị đơn lẻ hoặc một điểm của mạng cấp liên kết bị hư hỏng. Việc tính toán để bù qua điểm sự cố hay các phần tử lỗi trong mạng có yêu cầu

thời gian phục hồi trong quá trình truyền nhận bản tin sau khi gặp lỗi phải là tối thiểu hoặc lý tưởng về bằng không.

Bảng 2. Thời gian phục hồi cho phép theo IEC 61850

Loại đối tác truyền thông	Các loại dịch vụ IEC 61850	Thời gian trễ phục hồi được chấp nhận	Thời gian phục hồi truyền thông yêu cầu
Từ SCADA đến các IED	MMS/ IEC61850-8-1	800 ms	400 ms
Liên động giữa các IED	GOOSE/ IEC61850-8-1	12 ms (với T _{min} = 4ms)	4 ms
Khoá bảo vệ cấp hai giữa các IED	GOOSE/ IEC61850-8-1	12 ms (với T _{min} = 4ms)	4 ms
T/h cắt của bảo vệ (ngoại trừ bảo vệ thanh cái)	GOOSE/ IEC61850-8-1	8 ms	4 ms
Bảo vệ thanh cái (F87B)	GOOSE/ IEC61850-9-2 (trên station bus)	< 1 ms	đến 0 ms
Giá trị trích mẫu đo lường (SMV)	SV/ IEC61850-9-2 (trên Process bus)	Nhỏ hơn hai mẫu liên tiếp	đến 0 ms

Bảng 2 đề cập đến yêu cầu thời gian phục hồi cho phép của ứng dụng khác nhau trong hệ thống BVĐK TBA theo tiêu chuẩn IEC 61850. Ví dụ, thời gian yêu cầu phục hồi với mạng SCADA là 400ms – 800ms; Với ứng dụng liên động (Interlocking) trên lớp mạng theo tiêu chuẩn IEC 61850-8-1, thời gian phục hồi ứng dụng yêu cầu từ 4ms-12ms; Các mẫu tin đo lường SV trên lớp Process Bus được truyền nhận với yêu cầu độ trễ phục hồi mong muốn đạt đến 0s.

Giải quyết vấn đề độ trễ thời gian trên hệ thống mạng, tiêu chuẩn IEC 61850-90-4 yêu cầu tham chiếu tiêu chuẩn IEC 62439-3 về định nghĩa giao thức dự phòng song song Parallel Redundancy Protocol (PRP) và giao thức dự phòng khả năng liên mạch cao High-Availability Seamless Redundancy (HSR). Cả hai giao thức này được xây dựng với mục tiêu đưa thời gian phục hồi về “0” và không để mất dữ liệu. Đây là những tiêu chuẩn để đảm bảo các gói tin Goose và SV (Sample Value) không bị trễ hoặc mất thông tin trong quá trình truyền nhận. Để xác định mô hình mạng có tính khả dụng cao (High Availability Network) cho hệ thống bảo vệ điều khiển, việc chọn lựa giữa mô hình PRP hoặc HSR cần phải hiểu rõ cấu trúc và phương thức hoạt động của hai mô hình này.

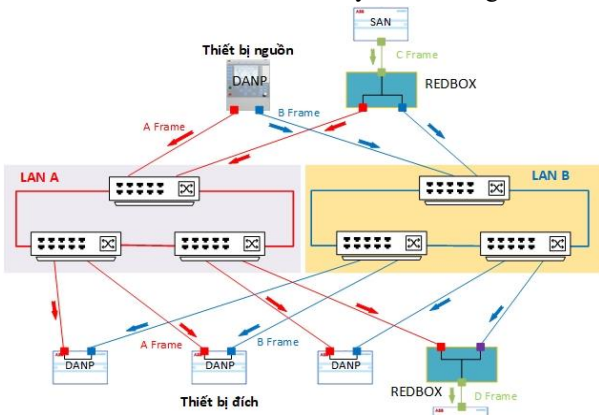
Mô hình mạng theo giao thức PRP: Cấu hình cơ bản của mạng theo giao thức PRP được mô tả như Hình 5, trong đó một thiết bị được nối vào hai mạng LAN độc lập. Các gói tin gửi đi được nhân đôi cho hai mạng. Các thiết bị nhận cũng được kết nối với 2 mạng sẽ chấp nhận bản tin tới trước và hủy bản tin tới sau. Trường hợp một mạng bị lỗi, gói tin sao chép vẫn tới trên mạng thứ 2.

Cấu trúc mạng PRP gồm nhiều đường dẫn đồng thời, và các đường dẫn này phải thiết lập từ hai mạng LAN độc lập. Các mạng LAN này sử dụng các thiết bị chuyển mạch Ethernet tiêu chuẩn, không cần các thiết bị chuyển mạch định tuyến. Nguyên lý hoạt động của mô hình mạng theo giao thức PRP được mô tả như sau:

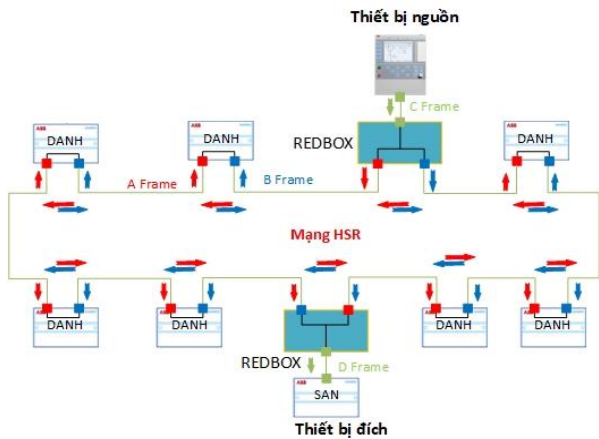
Một thiết bị nguồn xuất phát từ nút liên kết đơn SAN (Single Attached Node) xuất bản một bản tin theo khung C, sau đó được thiết bị RebBox (Redundant Box) sao chép thành 2 khung tin, phân phối trên LAN A thành khung PRP “A”, phân phối trên LAN B thành khung PRP “B”.

Thiết bị DANP (Double Attached Node PRP) là một điểm nút liên kết đôi thực hiện PRP, gồm hai cổng kết nối trên 2 mạng A, B, có cùng chức năng và có thể hoạt động khi chỉ một mạng LAN được kết nối. DANP kết nối với đồng thời cả hai mạng LAN sẽ nhận khung chứa bản tin tới trước và loại

bỏ khung tin đến sau, kết quả đầu ra là bản tin trên khung “D”. Trường hợp một mạng bị sự cố, khung tin trên mạng còn lại sẽ được thiết bị DANP nhận và xử lý bình thường.



Hình 5. Mô hình mạng theo giao thức PRP

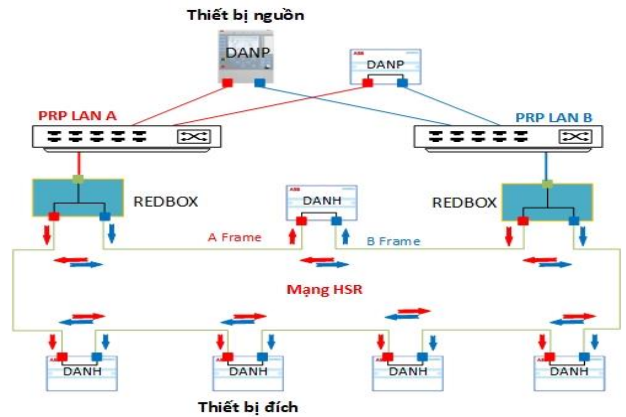


Hình 6. Mô hình mạng theo giao thức HSR

Mô hình mạng theo giao thức HSR: Cấu hình mạng cơ bản của giao thức HSR được mô tả theo Hình 6, trong đó các thiết bị được kết nối nhau trong một cấu trúc liên kết vòng, không có chuyên mạch. Mọi bản tin từ thiết bị phát được nhân đôi và xuất đi theo hai hướng. Các thiết bị đăng ký nhận sẽ chấp nhận bản tin tới trước và huỷ bản tin tới sau. Nếu liên kết mạng bị lỗi, gói tin sẽ đi theo hướng khác của vòng để đến được thiết bị nhận.

Khác với PRP, cấu trúc HSR sử dụng mô hình mạng vòng, thiết bị nguồn (Source) xuất đồng thời bản tin theo khung A, khung B theo hai hướng. Thiết bị đích (Destination) nhận được bản tin giống nhau trên hai khung sau một khoảng thời gian nhất định, thiết bị đích sẽ sử dụng bản tin trên khung đầu tiên và loại bỏ bản tin trên khung đến sau. Nếu một liên kết mạng bị gián đoạn, thiết bị chỉ nhận được bản tin trên một khung và sử dụng bản tin này. Các điểm nút thiết bị có chức năng làm cầu nối hai chiều (DANH - Double Attached Node HSR) có số lượng lớn, chênh lệch thời gian tiếp nhận bản tin trên 2 khung là không đáng kể, do đó sẽ đảm bảo yêu cầu thời gian khôi phục bằng 0. Các điểm nút hỗ trợ chức năng cầu nối theo tiêu chuẩn IEEE 802.1d và chuyển tiếp khung chứa bản tin từ cổng này sang cổng khác. Để đảm bảo lưu lượng dữ liệu liên tục, các thiết bị DANH sẽ không chuyển tiếp khung tin mà do chính nó tạo ra.

Mô hình mạng phối hợp chuẩn HSR và PRP: Cấu hình mạng phối hợp giữa liên kết vòng HSR và PRP được mô tả theo Hình 7, mô hình này được sử dụng khá phổ biến trong trường hợp cần tối ưu số lượng thiết bị mạng vẫn đảm bảo tính dự phòng liên mạch cao.



Hình 7. Mô hình vòng HSR kết hợp với mạng PRP

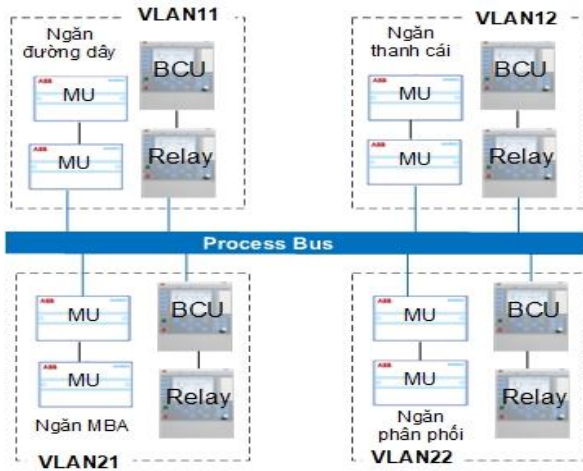
Theo cấu hình này, có tối thiểu hai thiết bị RedBox (Redundancy Box) chịu trách nhiệm liên kết giữa hai mạng PRP và HSR, dữ liệu từ nguồn (Source) trên mạng PRP có thể đến được các điểm DANH (Double Attached Node HSR) trong mạng HSR với thời gian phục hồi bằng không. Vì vậy, việc định hình lưu lượng được thực hiện bằng cách giới hạn kích thước của vòng HSR và lưu lượng tiêu chuẩn trên mạng PRP.

Từ những phân tích trên, việc lựa chọn mô hình mạng LAN đáp ứng yêu cầu khả dụng cao theo giao thức PRP hoặc HSR hoặc phối hợp PRP+HSR sẽ phụ thuộc vào kích thước, số lượng thiết bị và độ phức tạp của mạng. Đối với các TBA có quy mô nhỏ, cần kết cấu mạng đơn giản có chi phí đầu tư thấp, không đòi hỏi cao về tính sẵn sàng, có thể áp dụng mô hình HSR. Tuy nhiên, độ tin cậy và khả năng sẵn sàng của mô hình HSR sẽ ảnh hưởng nếu một trong các thiết bị trên mạch vòng bị hư hỏng, dẫn đến phá vỡ hoàn toàn cấu trúc HSR. Với mô hình PRP sẽ phù hợp với các trạm truyền tải và các trạm có cấu trúc phức tạp, có yêu cầu độ tin cậy và tính sẵn sàng cao, tuy nhiên chi phí lớn, ảnh hưởng đến hiệu quả đầu tư.

Nâng cao hiệu năng hệ thống mạng bằng giải pháp thiết lập VLAN: Có quá nhiều bản tin Goose, SV được quảng bá đa hướng (multicast) qua các cổng trên Process Bus, nếu không được quản lý đúng cách sẽ dẫn đến giảm hiệu năng của hệ thống mạng LAN. Do đó, cần phải thiết kế kiến trúc mạng sao cho lưu lượng truy cập chỉ giới hạn ở các cổng mà bản tin dự định đi qua. IEC 61850-90-4 khuyến nghị thực hiện cấu hình VLAN, gắn thẻ (tagging) và thiết lập mức ưu tiên (priority) theo tiêu chuẩn IEEE 802.1Q để đạt được chất lượng (QoS) truyền nhận dữ liệu trên Process Bus.

Phân tách VLAN cho phép tạo ra lớp mạng con (subnet) trên cùng mạng LAN vật lý. Hình 8 minh họa giải pháp tách VLAN cho các ứng dụng trên mạng Process Bus. Các gói tin được multicast trên các VLAN, được phân chia trên toàn bộ mạng LAN một cách hợp lý đảm bảo tín hiệu từ thiết bị phát đến thiết bị nhận được ưu tiên trên các điểm công mạng mà bản tin cần đến. Các VLAN được thiết kế dựa trên mức độ ưu tiên và yêu cầu bảo mật giữa các VLAN và được kiểm soát bởi Access Control List (ACL). Để thiết

kế các VLAN, hệ thống mạng LAN cần sử dụng các Switch Layer 2/3 hỗ trợ IEC802.2Q VLAN Trunk.



Hình 8. Phân tách VLAN trên Process Bus

3.4. Giải pháp đồng bộ thời gian chính xác cao

Trong mô hình TBA kỹ thuật số, chức năng thu thập dữ liệu được tách khỏi các thiết bị bảo vệ điều khiển (Relay, BCU), điều này dẫn đến yêu cầu phải thực hiện đồng bộ thời gian truy vấn dữ liệu giữa các thiết bị. Ví dụ chức năng bảo vệ có thể sử dụng mẫu dòng điện và điện áp từ các thiết bị khác nhau, kết quả phép đo sẽ có sai số nên giá trị đo được không được đồng bộ hoá cùng mốc thời gian. Do đó, đồng bộ hoá thời gian giữa các thiết bị trên Process Bus là một yêu cầu quan trọng trong trình tự thiết kế hệ thống điều khiển số.

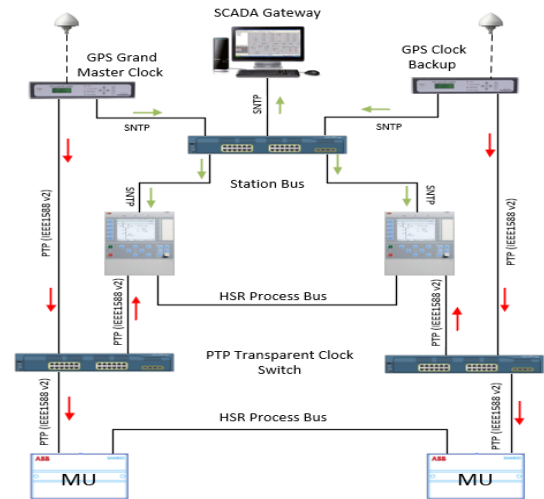
Đồng bộ theo thời gian thực không phải là yêu cầu mới đối với các hệ thống BVĐK. Các thiết bị đồng hồ vệ tinh (GPS Clock) có khả năng nhận tín hiệu đồng thời từ hệ thống GPS, GLONASS để cải thiện độ chính xác của tín hiệu đồng bộ. Trong mô hình TBA điều khiển tích hợp, thiết bị GPS Clock cung cấp kênh đồng bộ thời gian trên mạng Ethernet qua giao thức SNTP cho các thiết bị của hệ thống SCADA và IEDs bảo vệ điều khiển. Việc đồng bộ thời gian giữa các thiết bị ở cấp chính xác đến 1ms sẽ giúp nâng cao khả năng đánh giá phân tích các băng ghi sự kiện trên một mốc thời gian duy nhất. Tuy nhiên, với yêu cầu xử lý dữ liệu đo lường và bảo vệ theo thời gian thực trên mạng Process Bus tại các TBA, tiêu chuẩn IEC 61850-9-3 yêu cầu áp dụng giao thức đồng bộ thời gian chính xác PTP theo tiêu chuẩn IEEE 1588v2 qua khuyến nghị IEEE C37.238-2011. Thời gian đồng bộ của hệ thống bảo vệ điều khiển TBA được quy định theo Bảng 3.

Theo tiêu chuẩn IEEE C37.118.1-2011 - tiêu chuẩn cho đồng bộ pha đo lường cho hệ thống điện, trên các hệ thống đồng bộ pha đo lường (Synchrophasor Measurements) một lỗi pha có giá trị 0,57 độ (0.01 radian) sẽ là nguyên nhân gây ra 1% Total Vector Error (TVE), điều này tương ứng với một lỗi thời gian $\pm 26\mu\text{s}$ cho một hệ thống có tần số 60Hz và $\pm 31\mu\text{s}$ cho một hệ thống 50Hz. Khuyến cáo của IEEE là cần một nguồn đồng bộ thời gian đáng tin cậy cung cấp thời gian, tần số, và sự ổn định tần số tốt hơn ít nhất 10 lần so với giá trị tương ứng với 1% TVE, có nghĩa là $\pm 2,6\mu\text{s}$ với hệ thống 60Hz và $\pm 3,1\mu\text{s}$ với 50Hz.

Bảng 3. Yêu cầu đáp ứng thời gian của các thiết bị

Thiết bị	Phương thức đồng bộ thời gian
Rơ le bảo vệ	IEEE 1588 v2 (PTP) sai số 1 μs
SCU	IEEE 1588 v2 (PTP) sai số 1 μs
MU	1PPS (Pulse Per Second) sai số 1 μs
RTU/Gateway	SNTP: sai số 1 - 10ms
HMI	SNTP: sai số 1 - 10ms

Giải pháp đồng bộ theo giao thức IRIG-B có thể đạt sai số tối đa dưới 100 μs , trong khi đó đối với giao thức SNTP sử dụng kiến trúc Client/Server, sai số phụ thuộc rất nhiều vào kiến trúc mạng, thông thường sai số của nó trong mạng LAN nội bộ của TBA được chấp nhận ở mức 1-3ms. Thông số đồng bộ thời gian trên, cả IRIG-B và SNTP đều không đạt được yêu cầu mà IEEE C37.118.1-2011 đề ra, đó là lý do mà chuẩn IEEE 1588v2 với sai số ở mức 100ns đến 1 μs (tùy kiến trúc, sơ đồ mạng và giải pháp kỹ thuật của từng hãng) được khuyến cáo sử dụng cho hệ thống sử dụng phương thức đồng bộ pha đo lường trên mạng Process Bus.



Hình 9. Mô hình đồng bộ dự phòng 2 GPS Clock

Với tầm quan trọng của chức năng đồng bộ thời gian chính xác cao, các hệ thống bảo vệ TBA số thường yêu cầu thiết kế dự phòng cho các kênh đồng bộ thời gian trên mạng Process Bus bằng 02 thiết bị GPS Clock hoạt động độc lập trên cùng một lớp mạng. Các thiết bị Switch trên mạng Process Bus phải đáp ứng: Cấu hình Layer 2, cho phép sử dụng địa chỉ Multicast cho các gói tin đồng bộ, sai số của thiết bị tham chiếu < 200ns, sai số tổng thể của toàn hệ thống ở mức < 1 μs , hỗ trợ IEEE 1588 v2 và thiết lập ở chế độ Transparent Clocks.

4. Áp dụng cho dự án nâng cấp TBA 110kV Phú Bài

Dự án nâng cấp hệ thống BVĐK của TBA 110kV Phú Bài là dự án thí điểm ứng dụng công nghệ TBA kỹ thuật số của EVNCPC triển khai tại PC Thừa Thiên Huế. Trên cơ sở nghiên cứu tham khảo một số mô hình TBA kỹ thuật số đã triển khai trên thế giới, nhóm thực hiện đã xây dựng phương án nâng cấp theo công nghệ điều khiển số với các giải pháp chính như sau:

- Nâng cấp thiết bị hệ thống BVĐK các ngăn 110kV, ngăn MBA, ngăn lộ tổng 22kV bằng các thiết bị Relay/BCU hỗ trợ giao tiếp đồng thời trên Process Bus theo tiêu chuẩn IEC 61850-8-1, IEC 61850-9-2.

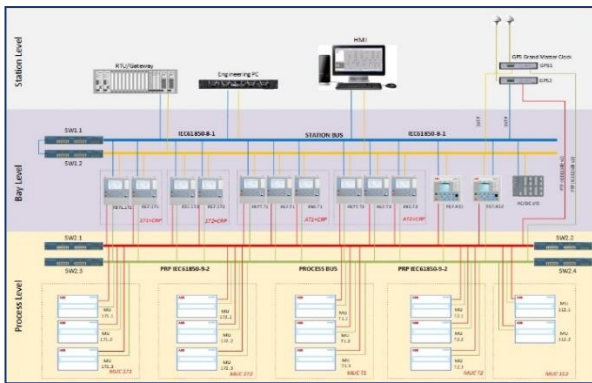
- Thực hiện giải pháp thu thập và số hoá các tín hiệu của các thiết bị ngoài trời (tín hiệu đo lường, trạng thái của các thiết bị nhất thứ v.v..) bằng các thiết bị MU hỗ trợ tiêu chuẩn IEC 61850-9-2, các tín hiệu được tập trung số hoá qua các tủ MUC (Merging Unit Cabinet) đặt ngoài trời.

- Hệ thống mạng LAN được thiết kế đảm bảo yêu cầu dự phòng cao, theo mô hình PRP với 06 switch cho 02 mạng Process Bus (A/B) và 02 Switch cho Station Bus. Các Switch layer 2, hỗ trợ chế độ IEEE1588v2 Transparent Clocks.

- Thực hiện giải pháp đồng bộ thời gian chính xác theo giao thức IEEE1588v2 với 02 GPS Grand Master Clock hoạt động theo chế độ dự phòng.

- Thiết lập hệ thống điều khiển tập trung với RTU/Gateway và HMI, kết nối về Trung tâm điều khiển theo giao thức IEC60870-5-104.

Mô hình mạng TBA kỹ thuật số Phú Bài được minh hoạ theo Hình 10.



Hình 10. Mô hình mạng TBA kỹ thuật số Phú Bài

Trên cơ sở phân tích yêu cầu cần đáp ứng của hệ thống BVĐK trạm, nguyên lý làm việc của hệ thống, các chức năng cần tích hợp lên các đối tượng điều khiển hiện hữu, giải pháp thiết kế kết nối ảo đã được ứng dụng để thiết lập kênh liên kết tín hiệu giữa thiết bị nguồn với thiết bị đích, xây dựng danh sách tín hiệu theo các dịch vụ Goose, Sample Value cho các ứng dụng, cấu hình logic trong các ứng dụng để phối hợp xử lý tín hiệu giữa các thiết bị. Các chức năng của hệ thống được thử nghiệm, đã đáp ứng đầy đủ các yêu cầu của hệ thống BVĐK và tự động hoá TBA theo các quy chuẩn kỹ thuật hiện hành đang được EVN áp dụng [13].

Sau khi hoàn thành dự án nâng cấp hệ thống BVĐK TBA 110kV Phú Bài bằng công nghệ kỹ thuật số, so sánh với hệ thống công nghệ cũ, có thể đánh giá được một số ưu điểm cơ bản của hệ thống công nghệ kỹ thuật số như sau:

- Giảm khối lượng lắp đặt, giảm chi phí thiết lập hệ thống. Ước tính giảm trên 80% số lượng cáp đồng phải triển khai và trên 50% diện tích lắp đặt thiết bị.

- Công nghệ kỹ thuật số giúp đơn giản hoá trong công tác quản lý vận hành và bảo dưỡng hệ thống.

- Các thiết bị kỹ thuật số cho phép cải thiện chất lượng tín hiệu của hệ thống đo lường và bảo vệ, nâng cao độ tin cậy làm việc của hệ thống.

- Hệ thống mới cho phép thiết lập và quản lý các quá trình tự động hoá và hoạt động của hệ thống BVĐK trong TBA một cách linh hoạt và hiệu quả.

5. Kết luận

Việc nghiên cứu làm chủ công nghệ TBA kỹ thuật số là rất cần thiết trong điều kiện triển khai các chương trình chuyên đổi số của EVN trong thời gian đến. Bài báo đã đề xuất giải pháp nâng cấp các hệ thống bảo vệ điều khiển truyền thống tại TBA 110kV ở Việt Nam thành TBA kỹ thuật số dựa trên nền tảng tiêu chuẩn IEC 61850. Giải pháp bao gồm thiết kế mô hình dữ liệu TBA bằng ngôn ngữ cấu hình trạm SCL, thiết kế mạng truyền thông và đồng bộ thời gian để nâng cấp thành TBA kỹ thuật số. Giải pháp đã được áp dụng cụ thể cho dự án nâng cấp TBA 110kV Phú Bài tại Công ty Điện lực Thừa Thiên Huế, đưa ra các phân tích, đánh giá hiệu quả và đưa ra các kinh nghiệm cho các dự án tiếp sau.

Công nghệ điều khiển số cho TBA cho phép thiết lập hệ thống tự động hoá và BVĐK trên cơ sở các liên kết qua mạng truyền thông hợp nhất, các tín hiệu logic và tương tự được số hoá ngay hoặc gắn các thiết bị nhất thứ, tín hiệu được truyền nhận một cách nhanh chóng và tin cậy trên các hệ thống mạng. Tuy nhiên việc ứng dụng công nghệ điều khiển số TBA cũng đặt ra nhiều thách thức trong quá trình quản lý vận hành, đặc biệt là các vấn đề liên quan đến an toàn thông tin, khả năng tiếp cận làm chủ công nghệ của bộ phận vận hành, cũng như chi phí đầu tư ban đầu với các hệ thống công nghệ mới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Fu, Qincui, and Jianyun Chen. "Design of experiment platform for digital substation based on IEC 61850", *2016 5th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*. IEEE, 2016.
- [2] Riccardo, Antonio, and Harsh Vardhan. "IEC 61850 digital substation design tutorial for novices", *2019 72nd Conference for Protective Relay Engineers (CPRE)*. IEEE, 2019.
- [3] Nayak, Yuvaraj, Lakpathi Muniswamy, and Mithun TP. "Study and Analysis of Protection Scheme of Digital Substation Using IEC 61850-9-2 Process Bus Technology", *International Journal of Electrical Engineering & Technology* 10.3 (2019).
- [4] Aftab, Mohd Asim et al. "IEC 61850 based substation automation system: A survey", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 120 (2020): 106008
- [5] Jamil, M., Rizwan, M., Bhattacharjee, T., & Azeem, A., "Digital Substations with the IEC 61850 Standard", Book chapter - *Smart Energy Management Systems and Renewable Energy Resources*, AIP Publishing, Melville, New York, 2021.
- [6] Sanchez-Garrido, Jorge, et al. "Digital electrical substation communications based on deterministic time-sensitive networking over Ethernet", *IEEE Access* 8 (2020): 93621-93634.
- [7] Bhattacharjee, Tanushree, et al. "Hardware Development and Interoperability Testing of a Multivendor-IEC-61850-Based Digital Substation", *Energies* 15.5 (2022): 1785.
- [8] Đinh Thành Việt, Hồ Hy Vinh. "Xây dựng trạm biến áp tự động hoá theo giao thức IEC 61850 tích hợp nhiều chủng loại thiết bị và nhiều giao thức truyền thông", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng* - Số 7(80), 2014, 85-89.
- [9] Hunt, Rich, and Bogdan Popescu. "Comparison of PRP and HSR networks for protection and control applications", *Western Protective Relay Conference, Spokane, WA*. 2015.
- [10] Meier, Stefan, Thomas Werner, and Constantin Popescu-Cirstucescu. "Performance considerations in digital substations", *13th International Conference on Development in Power System Protection 2016 (DPSP)*, 2016.
- [11] Riccardo, Antonio, and Harsh Vardhan. "IEC 61850 digital substation design tutorial for novices", *2019 72nd Conference for Protective Relay Engineers (CPRE)*. IEEE, 2019.
- [12] Falk, Herbert. IEC 61850 Demystified. Artech House, 2018.
- [13] Tập đoàn điện lực Việt nam, Quyết định số 1603/QĐ-EVN ngày 18 tháng 11 năm 2021 "Quy định hệ thống điều khiển TBA 500kV, 220kV, 110kV trong Tập đoàn điện lực Quốc gia Việt Nam".