Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 97 (2006)
Heft: 21

Artikel: Isole elettriche
Autor: Valdambrini, Eric / Carpita, Mauro
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857739

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Isole elettriche

Un'installazione per simulazioni offre agli studenti una formazione nelle configurazioni pressoché reali delle reti elettriche

Lo sviluppo del mercato ed i numerosi scambi transfrontalieri ai quali assistiamo oggi porta le reti elettriche a sovraccarichi e quindi ai rischi di blackout per «effetto domino». La frammentazione della rete in isole elettriche potrebbe, magari, limitare e circoscrivere questi effetti. In questa ottica rimangono però ancora difficoltà nella gestione dello scambio di energia tra le diverse isole elettriche e nella ripartizione omogenea delle potenze in transito dei corridoi. Oltre ai dispositivi quali i FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems), c'è anche bisogno di una supervisione WAMS (Wide Area Monitoring System) globale con sistemi di misura quali i PMU (Phase Measurement Units) e di un centro di comando che permetta non solo di controllare ma anche di coordinare l'energia in transito nelle reti elettriche in maniera rapida ed automatica. Benché non abbracci la realtà economica, questo articolo presenta uno studio accademico effettuato sulla mini-rete della Scuola di ingegneria e di architettura di Friburgo sull'utilizzo di dispositivi FACTS per la gestione di un'isola elettrica.

La liberalizzazione nel settore elettrico ha in qualche modo forzato lo studio di nuove tecnologie e configurazioni per l'approvvigionamento di energia nelle reti elettriche. A causa dell'aumento della potenza in transito sulle linee elettriche c'è un sempre maggiore interesse ad inserire nella rete sistemi FACTS[1] in grado di fornire un miglior controllo sulla ripartizione di energia, quali i variatori di fase UPFC[2]. Il prezzo ancora troppo elevato di questi sistemi favorisce l'utilizzo di altri sistemi quali i trasformatori variatori di fase[3], meno performanti.

Eric Valdambrini, Mauro Carpita

A livello accademico si comincia inoltre a valutare la possibilità di suddividere le grandi reti elettriche in isole più piccole, interconnesse tra loro tramite altri dispositivi FACTS quali i sistemi di trasmissione dell'energia in corrente continua HVDC[4]. La frammentazione della rete elettrica potrebbe essere una soluzione ai problemi di blackout causati per «effetto domino» che si sono verificati sia in Europa sia negli Stati Uniti negli ultimi anni. Grazie a questa soluzione si può impedire la caduta di un'intera rete elettrica lasciando senza approvvigionamento solo piccole zone.

L'utilizzo di queste tecnologie con un sistema di misura globale richiede tuttavia ancora diversi studi sulla stabilità complessiva della rete. Il modello in scala ridotta (1:100000) della rete elettrica friburghese della Scuola di ingegneria di Friburgo ha permesso di mettere in servizio due modelli di UPFC e di HVDC per l'allacciamento di isole elettriche e di cominciare lo studio sulla stabilità delle reti munite di questi dispositivi.

Simulatore della rete elettrica di Friburgo

Il simulatore trifase 3×400 V (figura 1), composto da 5 nodi, rappresenta una parte della rete elettrica friburghese 220/60 kV. Sono presenti anche 4 generatori sincroni azionati da motori DC regolati in coppia che permettono di simulare le diverse centrali idroelettriche. Oltre alle infrastrutture tipiche di una rete elettrica, la mini-rete è munita di 4 dispositivi di misura di fase PMU[5] [3].

Figura 1 Simulatore della rete elettrica di Friburgo
Rete 220/60 kV riportata a 3x400 V

Questo simulatore, utilizzato durante la formazione, permette di studiare ed analizzare fenomeni quali corto circuiti, l'allacciamento di gruppi di generatori di analizzare la distribuzione dell'energia nella rete elettrica, dalla centrale al cliente. Il simulatore è stato impegato nel quadro di un progetto[6] per creare e studiare una configurazione di rete elettrica con UPFC e HVDC per l'interconnessione di un'isola elettrica. In particolare, si vuole studiare la coordinazione della ripartizione di energia per evitare situazioni anomale e squilibri della rete.

Obiettivi del progetto

Vi sono diversi criteri per definire la stabilità di una rete, per esempio:
- la stabilità della tensione,
- la stabilità della frequenza,
- le oscillazioni di frequenza e potenza,
- i fenomeni imprevisti (corto circuito, apertura di una linea, ecc. ...).

La stabilità della frequenza è un aspetto molto importante per le isole elettriche. Queste reti non sono abbastanza forti da consentire grosse variazioni di carico o peggio ancora la perdita di produzione. Inoltre, la regolazione delle generatrici è relativamente lenta a causa delle grandi inerzie in gioco (turbine e alternatori). Queste situazioni mettono in risalto l'importanza di poter collegare l'isola ad una

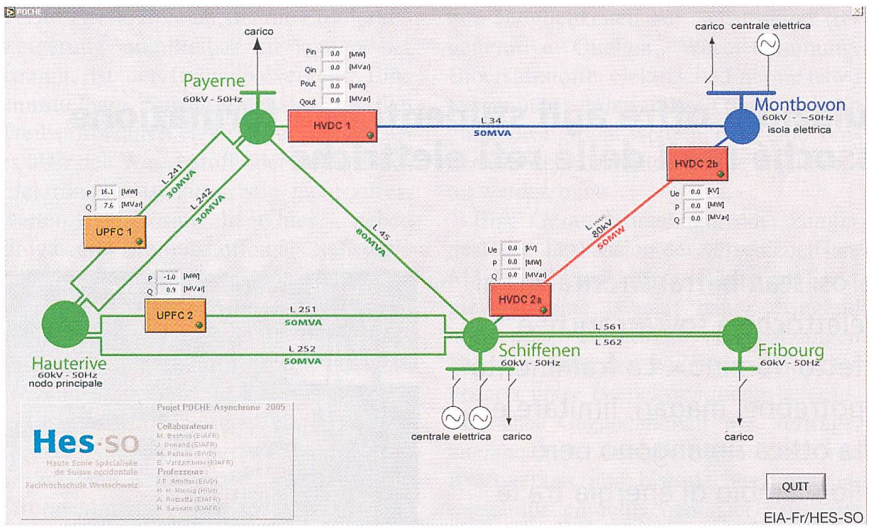

Figura 2 Configurazione di rete con isola elettrica
Supervisione globale dei diversi FACTS con interfaccia LABView

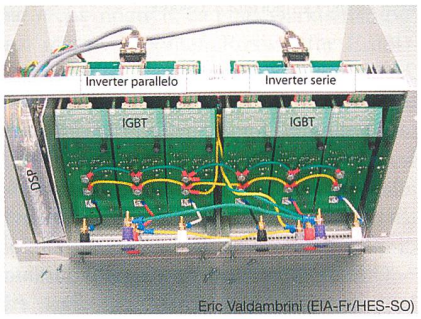

Figura 3 Elettronica di un UPFC
Vista del UPFC sviluppato alla EIA-Fr

rete elettrica prevalente e di compensare rapidamente l'eccesso o la mancanza di produzione elettrica.

La figura 2 mostra la configurazione della rete studiata sul simulatore della rete elettrica friburghese e la posizione dei diversi FACTS. I due UPFC sono montati in prossimità del nodo principale di Hauterive per permettere il controllo dei flussi di energia nei diversi corridoi verso Schiffenen e Payerne. Un primo dispositivo HVDC-l funziona come sincronizzatore sulla linea AC tra Montbovon, che simula un'isola elettrica a frequenza asincrona, e Payerne.

Il secondo dispositivo HVDC-2 collega il nodo di Montbovon a Schiffenen tramite una linea DC. I quattro apparecchi sono collegati, tramite una connessione CAN bus[7)], al computer per la supervisione. Il centro di controllo permette all'operatore di avere una visione complessiva della rete e di comandare le potenze che transitano sulle linee.

Realizzazione dei due inverter

Ciascun inverter è realizzato con tre moduli IGBT[8)] da 75 A/1200 V[9)]. Il pilotaggio dei diversi IGBT è basato su driver commerciali[10)]. Il sistema di regolazione è stato realizzato tramite la scheda di valutazione del DSP Texas TMS320R2812.

Il DSP si occupa dell'acquisizione e del trattamento delle misure, della regolazione e della generazione degli impulsi PWM[11)]. Uno dei vantaggi di questo dispositivo è dato dalla possibilità di generare gli impulsi di comando (PWM) per entrambi gli inverter. Il DSP si occupa anche della trasmissione CAN per la comunicazione verso l'interfaccia grafica del computer.

UPFC e HVDC all'opera

In questa sezione saranno messi in evidenza l'efficacia dei diversi impianti in caso di un sovraccarico di linee e l'allacciamento all'isola elettrica.

Congestione in un corridoio a 5 linee con UPFC

Prendiamo il caso di una trasmissione di energia da Hauterive per alimentare un carico a Schiffenen con un corridoio parallelo da Payerne. Seguito ad un guasto, la linea L252 si disconnette.

La potenza che prima transitava su questa linea si suddivide nelle restanti linee dando così inizio ad una congestione di rete.

I risultati delle simulazioni e delle misure di questo caso pratico sono riportati nella tabella I.

- Nella 1ª colonna sono riportati i carichi delle singole linee quando queste sono ancora tutte in servizio.
- La 2ª colonna rappresenta i carichi delle linee al momento del guasto (linea L252 fuori servizio).
- La 3ª colonna rappresenta i carichi delle linee al momento del guasto (linea L252 fuori servizio) con l'intervento del UPFC-2.

L'intervento del UPFC-2 permette un controllo sulle ripartizioni di potenza nelle linee grazie al quale lo stato critico delle linee L241 e L242 al momento del guasto (2ª colonna) può essere portato ad una situazione più favorevole (3ª colonna).

Questo esempio evidenzia quanto possa essere utile inserire nelle reti elettriche dei dispositivi quali l'UPFC. Come è già detto in precedenza, il prezzo elevato di queste apparecchiature spinge ad utilizzare trasformatori variatori di fase, meno performanti ma soprattutto meno costosi. Ricordiamo comunque che la flessibilità degli UPFC di lavorare nei quattro quadranti e la capacità di correggere i flussi di potenza (attiva e/o reattiva) sulla linea in tempi molto brevi sono solo

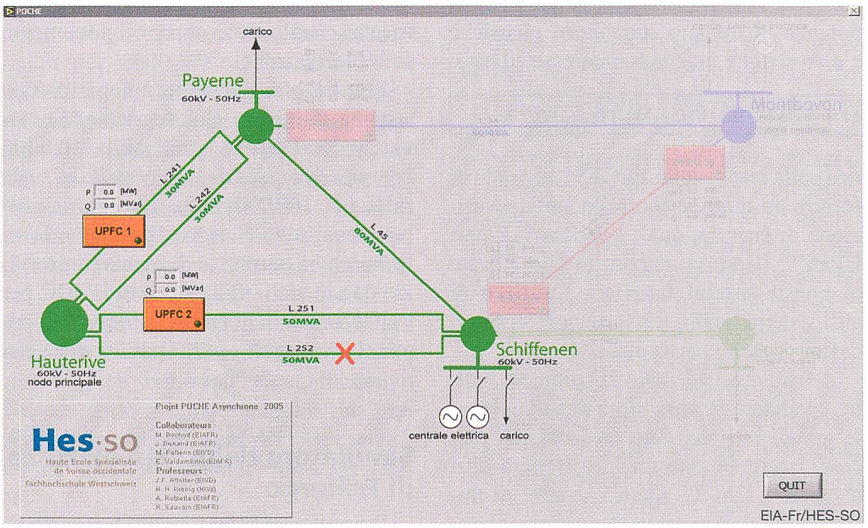

Figura 4 Guasto su linea L252
Configurazione della rete per un caso pratico

alcune qualità che possono rivelarsi di grande valore nel caso di fenomeni transitori.

Approvvigionamento di un'isola elettrica con HVDC

In questa sezione vogliamo mostrare l'utilità di un dispositivo quale un HVDC che permette l'approvvigionamento di energia ad un'isola elettrica malgrado questa non sia alla stessa frequenza. La figura 5 mostra l'interfaccia che permette di pilotare l'HVDC-1 in questione (figura 2).

Il diagramma vettoriale visualizzato sull'interfaccia rappresenta il modulo e la fase delle tensioni della rete (vettore blu) e dell'isola (vettore verde). Le due immagini si riferiscono a due istanti ravvicinati (qualche secondo). Prendendo come referenza la tensione della rete 50 Hz, si nota, tra le due immagini, una variazione di fase del vettore della tensione dell'isola, in conseguenza alla differenza di frequenza (in questo caso 55 Hz). Malgrado la frequenza delle due reti non siano sincrone e le tensioni sfasate, l'HVDC garantisce comunque e in qualsiasi momento il trasferimento di energia.

La curva continua (figura 6) rappresenta quanto accade alla frequenza dell'isola elettrica al momento in qui viene inserito un forte carico. La sola regolazione del gruppo turbina–alternatore non è (in questo caso) sufficiente per garantire la stabilità in frequenza. La forte domanda di energia elettrica può essere compensata approvvigionando l'isola tramite un HVDC. L'apporto di potenza attiva permette di ristabilire la frequenza (curva tratteggiata).

Qualora dovessero esservi fluttuazioni di tensione, queste possono essere ridotte agendo sulla potenza reattiva.

Evoluzione del progetto

Per ora l'infrastruttura messa in servizio durante questo progetto permette di comandare i flussi di energia nei diversi corridoi della rete, collegarsi in qualsiasi momento e permettere l'approvvigionamento dell'isola elettrica. Il sistema di monitoraggio WAMS[12)] permette di recuperare le informazioni sullo stato della rete elettrica fornite dai PMU [4]. Il vantaggio di utilizzare i PMU sta nella possibilità di misurare oltre al modulo anche la fase delle correnti e delle tensioni, il che permette di conoscere esattamente la situazione all'inizio e alla fine di una linea o di rilevare eventuali oscillazioni di frequenza e/o di potenza. In funzione di queste misure, il sistema di monitoraggio WAMS sarà in grado di fornire le consegne ai diversi FACTS alfine di rendere la rete più stabile. Il prossimo passo sarà quindi di unire il sistema WAMS e PMU a tutti i FACTS e ottenere una supervisione globale di tutta la rete elettrica che permetta di controllare e comandare, in maniera autonoma, i flussi di potenza.

L'utilizzo dei PMU come strumenti di misura per una regolazione in anello chiuso rimarrà, probabilmente, ancora per parecchio tempo nell'ambito della ricerca e sviluppo [5].

Alla Scuola di ingegneri di Friburgo l'applicazione per un estimatore di stato [6] ha mostrato che l'utilizzo dei PMU per il calcolo in tempo reale potrebbe essere possibile [7]. Sulla base dei buoni risultati ottenuti, si ritiene che sia possibile realizzare un sistema di supervisione globale completamente autonomo che possa controllare e comandare in maniera rapida ed efficace i singoli dispositivi e permettere la stabilità della rete anche in caso di imprevisti.

Conclusione

Questo progetto ha permesso di equipaggiare con quattro nuovi FACTS il mo-

Linea	Prima dell'apertura della linea [%][1]	L'apertura della linea senza UPFC [%][1]	L'apertura della linea con UPFC [%][1]
L241	84,2	110,2	98,8
L242	84,0	109,2	98,7
L251	57,1	88,3	98,5
L252	54,6	fuori servizio	fuori servizio
L45	16,1	34,9	30,0

[1] La percentuale é data in funzione della potenza nominale della linea

Tabella Carico delle linee
Risultati delle misure pratiche sull'istallazione 2,5 kVA/400 V

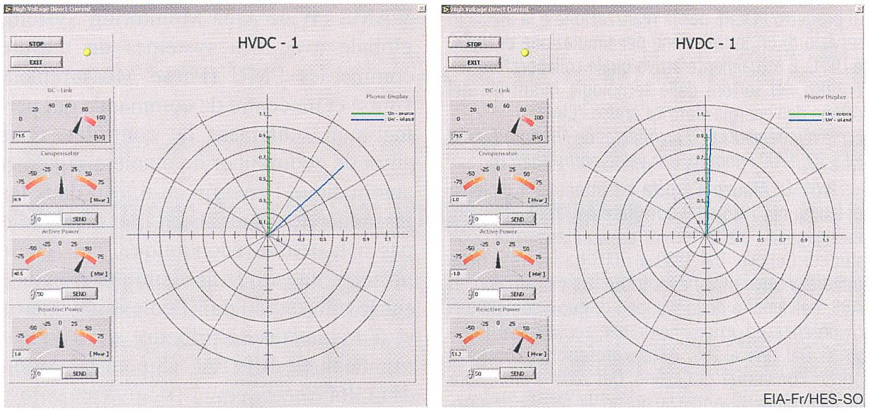

Figura 5 Scambio di energia tra una rete e un'isola
Interfaccia grafica per interconnessioni HVDC catturati a momenti differenti

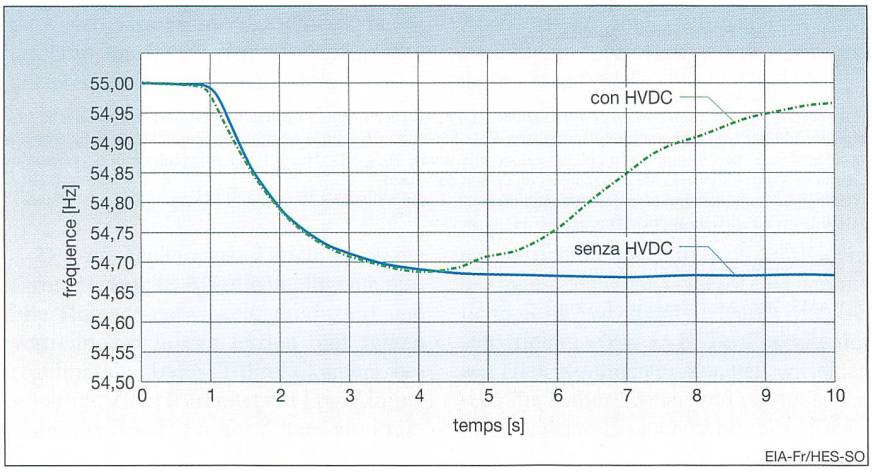

Figura 6 Regolazione della frequenza della generatrice
Variazione di frequenza di un'isola elettrica dovuta all'inserimento di un carico, con e senza l'intervento di un HVDC

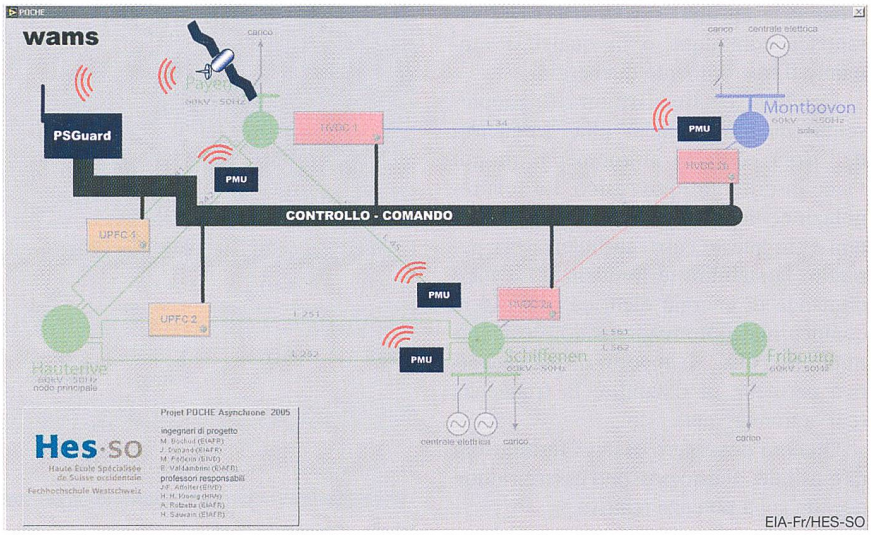

Figura 7 WAMS per la protezione della rete

I misuratori di fase PMU comunicano lo stato della rete ad un centro di raccolta di dati il quale gestisce autonomamente il diversi FACTS in funzione dei dati raccolti

dello in scala ridotta della rete elettrica friburghese della Scuola di ingegneri di Friburgo. I test effettuati finora hanno dimostrato l'affidabilità di queste strutture e la capacità di contribuire positivamente alla regolazione ed alla stabilità della rete.

Le prime applicazioni introducendo i PMU ai FACTS nell'anello di regolazione, mostrano ottime prospettive per continuare la ricerca in questo ambito.

Bibliografia

[1] N. G. Hingorani, L. Gyugyi: Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems. Ed. 1, december 1999, Wiley-IEEE Press, ISBN: 0-7803-3455-8.

[2] M. Pellerin: Démonstrateur pour FACTS. Conferenza EPF, Montpellier, 2002.

[3] H. Sauvain, J.F. Affolter, J. Bertsch: Réseaux électriques équipés de mesureurs de phases. Bulletin SEV/AES 24/25 05.

[4] J. Bertsch, M. Zima, C. Carnal, A. Suranyi, N. Singh, W. Sattingher: New experience and prospectives of wide area monitoring system. Cigré Conference, Montreal, 2003.

[5] J. M. Tesseron: Les WAMS pour protéger les réseaux. Réseaux d'énergie électriques REE n°1, janvier 2006.

[6] M.A. Kolly, P. Rothermann: State Estimation. Progetto di diploma, EIA-Fr, 2004.

[7] D. Westermann, H. Sauvain: Experience with Wide Area Monitoring and FACTS Control in a Real Time Simulator. PowerTech, St. Petersburg, 2005.

Gli autori

Ing. ***Eric Valdambrini*** ha ottenuto il suo diploma di ingegnere HES in energia elettrica presso la Scuola di ingegneri di Friburgo EIA-Fr nel 2003. Ha lavorato al progetto POCHE per la realizzazione e la messa in servizio di un installazione per simulazione di HVDC e UPFC. È attualmente attivo quale collaboratore scientifico nel settore delle tecnologie industriali nel campo dell'energia elettrica presso l'EIA-Fr.
Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg EIA-Fr/HES-SO, 1700 Fribourg, eric.valdambrini@hefr.ch

Prof. Dr ***Mauro Carpita*** ha ottenuto il diploma di laurea nel 1985 ed il dottorato nel 1989, entrambi in ingegneria elettrotecnica presso l'Università degli studi di Genova. Dal 1989 al 2003 ha lavorato nelle unità di ricerca di varie industrie, tra cui Ansaldo ed ABB, nell'ambito dello sviluppo di nuovi convertitori di potenza ed azionamenti per applicazioni industriali. Dal 1998 al 2002 è stato professore a contratto presso l'Università di Cassino. Dal 2003 è professore di elettronica di potenza presso la Scuola di ingegneria Heig-VD, Yverdon. La sua attività di ricerca è documentata da più di 50 pubblicazioni su riviste internazionali e conferenze.
Haute Ecole d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud, Heig-VD/HES-SO, 1401 Yverdon, mauro.carpita@heig-vd.ch

Résumé

Ilots électriques

Une installation pour simulations offre aux étudiants une formation en configurations presque réelles des réseaux électriques. Le développement du marché et les nombreux échanges transfrontaliers auxquels nous assistons aujourd'hui conduisent à des surcharges des réseaux électriques et donc à des risques de black-out par «effet domino». La fragmentation des réseaux en îlots électriques pourrait, peut-être, limiter et circonscrire ces effets. Dans cette optique, il reste toutefois des difficultés dans la gestion de l'échange d'énergie entre les divers îlots électriques et dans la répartition homogène des puissances en transit des couloirs. Outre les dispositifs comme les FACTS (Flexible Alternating Current Transmission Systems), il faut également une supervision WAMS (Wide Area Monitoring System) globale avec des systèmes de mesure comme les PMU (Phase Measurement Units) et un centre de commande qui permet non seulement de contrôler, mais aussi de coordonner de manière rapide et automatique l'énergie en transit dans les réseaux électriques. Bien que n'adhérant pas à la réalité économique, cet article présente une étude académique effectuée sur le miniréseau de l'Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg sur l'utilisation de dispositifs FACTS pour la gestion d'un îlot électrique.

[1] FACTS: Flexible Alternating Current Transmission System. Sistema di trasmissione flessibile dell'energia in alternata. [1, 2]
[2] UPFC: Unified Power Flow Controller.
[3] Phase Shifter Transformator.
[4] HVDC: High Voltage Direct Current.
[5] PMU: Phase Measurement Unit.
[6] Il progetto, finanziato in parte dall'associazione RDP/CRE Electriciens Romands e dalle riserve economiche strategiche delle HES-SO (Haute Ecole spécialisée de la Suisse occidentale – Alta Scuola specializzata della Svizzera occidentale), è stato sviluppato in collaborazione alle scuole Heig-VD (Haute Ecole d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud) e EIVs (Ecole d'ingénieurs du canton du Valais).
[7] CAN bus: Controller Area Network Bus, fieldbus.
[8] IGBT: Insulated-Gate Bipolar Transistor.
[9] Semikron SMK 75GB128DN.
[10] Driver Concept 2SD106A.
[11] PWM: Pulse Width Modulation.
[12] WAMS: Wide Area Measuring System.