

Master's thesis and Internship : Coordinating Transmission And Distribution System Operators Through Secure Operating Envelopes.

Auteur : Maio, Anthony

Promoteur(s) : Ernst, Damien

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master : ingénieur civil en génie de l'énergie à finalité spécialisée en Energy Networks

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/26142>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Coordinating Transmission And Distribution System Operators Through Secure Operating Envelopes

Maio Anthony

Thesis presented to obtain the degree of:
Master of Science in Energy Engineering

Thesis supervisor:
Ernst Damien

Academic year: **2025 - 2026**

Summary

Motivation and Objectives

The growing penetration of renewable and distributed energy resources (DERs) within electrical networks, including photovoltaic systems (PVs), electric vehicles, and battery energy storage systems, has significantly increased the complexity of power system operation. This increased complexity has led to more frequent violations of security constraints, such as voltage excursions or congestion, across multiple network levels, requiring local operators to implement corrective actions more frequently. These local interventions can impact other parts of the system and potentially generate operational limits violations elsewhere, which must then be addressed by other operators. This growing interdependence between network levels results in more complex control processes, which typically necessitate extensive data exchange between system operators. To tackle these issues, there is a need for coordination methods between different system operators.

This thesis presents a coordination method between operators that ensures static network security when grid operation is distributed across interconnected subnetworks operated by independent entities that follow a hierarchy. The hierarchy consists of a parent network (typically the transmission network) connected to child networks (typically the distribution networks). The coordination of these hierarchical networks is based on power and voltage magnitude ranges at their interface. The voltage magnitude ranges, called voltage operating envelopes (VOEs), are first agreed upon, and the power limits, called power operating envelopes (POEs), are then computed to ensure local security for all operating conditions on the children's networks.

In this thesis, this coordination approach is detailed and particularized to TSO/DSO coordination, where the TSO computes POEs at the interface with DSOs, based on agreed VOEs. An optimization problem is proposed to compute POEs at TSO/DSO interfaces, defining admissible operating regions that DSOs must respect during operation. As long as DSOs respect the POEs, there exists a set of control actions in the TSO's network such that its network remains secure. In the proposed optimization problem, phase-shifters' set-point modifications and the generators' re-dispatch are considered as control actions. The power flows are modeled through a quadratic convex approximation of the AC power flow equations. At the end, POEs and VOEs enable coordination among operating entities while maintaining a low level of data exchange among them.

Results

Unlike classical OPF-based approaches that determine a single optimal operating point, the proposed approach identifies intervals of secure operating points, thereby increasing operational flexibility and reducing computational and data-sharing requirements. Nevertheless, it is observed that the sizes of operating envelopes might differ drastically from one TSO/DSO interface to another, showcasing a need for regulation to ensure fairness among DSOs.

Résumé

Motivation et objectifs

La pénétration croissante des énergies renouvelables et des ressources énergétiques distribuées (systèmes photovoltaïques, véhicules électriques, stockage par batteries) au sein des réseaux électriques a considérablement accru la complexité de leur opération. Elle entraîne des violations récurrentes des contraintes de sécurité (excursions de tension, congestions) à plusieurs niveaux du réseau, contraignant les opérateurs à des actions correctives plus fréquentes. Ces interventions locales peuvent affecter d'autres parties du système et y engendrer à leur tour de nouvelles violations, qui doivent être traitées par d'autres opérateurs. Cette interdépendance croissante entre réseaux voisins complexifie les processus de contrôle et requiert d'importants échanges de données entre opérateurs, d'où la nécessité de développer des méthodes de coordination entre ces derniers.

Cette thèse présente une méthode de coordination garantissant la sécurité statique du réseau lorsque son exploitation est répartie entre des sous-réseaux interconnectés gérés par des entités indépendantes hiérarchisées. La hiérarchie repose sur un réseau parent (typiquement le réseau de transport) connecté à des réseaux enfants (typiquement les réseaux de distribution). La coordination repose sur des plages de puissance et de tension à leur interface : les plages de tension, ou enveloppes opérationnelles de tension (VOEs), sont convenues en premier lieu ; les plages de puissance, ou enveloppes opérationnelles de puissance (POEs), le sont ensuite afin de garantir la sécurité locale des réseaux enfants dans toutes leurs conditions d'exploitation.

Cette méthode de coordination est détaillée puis particularisée à la coordination TSO/DSO : le TSO calcule les POEs à l'interface avec les DSOs sur la base des VOEs convenues. Un problème d'optimisation est formulé à cet effet, définissant des régions d'exploitation admissibles que les DSOs doivent respecter. Tant qu'ils le font, il existe un ensemble d'actions de contrôle dans le réseau du TSO tel que ce dernier demeure sécurisé. Dans le problème d'optimisation proposé, les modifications du point de fonctionnement des déphaseurs et le redispatching des générateurs sont considérés comme actions de contrôle, et les flux de puissance sont modélisés par une approximation quadratique convexe. POEs et VOEs assurent ainsi la coordination tout en limitant les échanges de données entre opérateurs.

Résultats

Contrairement aux approches classiques fondées sur l'OPF, qui déterminent un unique point de fonctionnement optimal, l'approche proposée identifie des intervalles de points de fonctionnement sécurisés, augmentant la flexibilité opérationnelle et réduisant les besoins en calcul et en partage de données. On observe néanmoins que la taille des enveloppes peut varier considérablement d'une interface TSO/DSO à l'autre, soulignant la nécessité d'un cadre réglementaire pour garantir l'équité entre DSOs.