Nom et Prénom : HARMOUCH FATIMA ZAHRA
Date de soutenance : 10/04/2021
Directeur de Thèse : HMINA NABIL

Sujet de Thèse :

Design and Implementation of a Multi-agent Energy Management System based on Heuristic Optimization in Microgrid

Résumé :

Le concept des réseaux électriques intelligents aussi appelé Smart Grid, est né à la suite de l'intégration des ressources électriques distribuées (DER), principalement les énergies renouvelables, au niveau du système de distribution électrique basse tension. Afin de gérer ces nouvelles sources d'électricité d'une manière plus fluide, le système de distribution électrique a été divisé en plusieurs micro-réseaux électriques intelligents (MG). Cette nouvelle configuration du système électrique intègre les technologies de communication qui gèrent et contrôlent de manière intelligente le flux d'électricité entre les ressources distribuées, la charge et les unités de stockage d'énergie dans chaque MG. Le système d'information chargé du contrôle et de l'optimisation économique du MG est appelé le système de gestion d'énergie (EMS). L'une des tâches principales d'un EMS dans un MG connecté au réseau est de satisfaire le dispatch d'électricité tout en maintenant l'équilibre énergétique entre différents DER, unités de stockage, charges contrôlables et puissance échangée avec le réseau de distribution en respectant les contraintes du système. L'intégration des technologies émergentes dans les MGs, telles que les systèmes de stockage avancés et les appareils ménagers contrôlables, a soulevé la nécessité d'utilisation d'un EMS qui non seulement assure le dispatch de l'électricité entre les différentes sources, mais aussi minimise le coût d'électricité du MG pendant son fonctionnement. Il faut aussi noter que les prévisions de la production des ressources renouvelables sont plus précises dans le court terme. Pour intégrer ces informations, les algorithmes d'optimisation du EMS doivent être assez rapides pour effectuer l'optimisation à court terme. Ainsi, les chercheurs se sont penchés pour étudier les méthodes d'optimisation pour trouver celles qui sont plus appropriées dans le contexte des MGs. Ces techniques d'optimisation doivent garantir le dispatch de l'électricité, optimiser le coût et gérer la communication entre les unités intelligentes et ceci en un temps de réponse optimale. Les systèmes multi-agents (MAS) sont de plus en plus utilisés dans l'implémentation des EMS au cours des dernières années. La nature distribuée des MAS les rend adaptés à l'environnement du MG. Les MAS présentent un ensemble de caractéristiques avantageuses, telles que la modularité, l'extensibilité et la tolérante aux pannes, qui incitent à les appliquer au contexte des MG. D'un autre côté, les MG intègrent des composants divers fabriqués par des fournisseurs différents, ce qui pose des problèmes d'interopérabilité lors de la communication entre ces dispositifs. Pour cette raison, le EMS doit intégrer un middleware de communication adéquat permettant un échange de données entre les différents composants du MG.

Le problème étudié dans cette thèse est formulé comme un problème d'optimisation linéaire avec des contraintes qui minimisent le coût d'électricité du MG, ainsi qu'à la conception et l'implémentation d'une plate-forme EMS multi-agents tolérante aux pannes et interopérable. L'objectif principal de cette thèse est de présenter la conception et la mise en oeuvre de deux différents EMS avec toute l'infrastructure de communication sous-jacente qui assure flexibilité, tolérance aux pannes, interopérabilité et optimalité. La première solution implémente un EMS multi-agents basé sur l'algorithme T-Cell (RT-EMS) qui opère en temps réel. Cette solution a été mise en oeuvre et expérimentée avec succès dans le MG du laboratoire ESRL. Le RT-EMS a pour fonction principale d'assurer le dispatch de l'électricité entre les unités de production décentralisée (DG) qui consistent dans ce travail en une éolienne, panneaux photovoltaïques, des unités de stockage d'énergie, des charges contrôlables et le réseau principal. Une plate-forme multi-agents modulaire et tolérante aux pannes est proposée pour mettre en oeuvre le RT-EMS. Les simulations de l'algorithme heuristique T-Cell et les résultats expérimentaux démontrent la capacité de la solution proposée à maintenir la stabilité et le bon fonctionnement du MG en temps réel. Le middleware Service de Données Distribuées (DDS) permet l'interopérabilité entre le EMS développé et les différents composants hardware du système. Le multi-agents RT-EMS a prouvé l'efficacité de l'algorithme proposé et a démontré un temps de convergence plus rapide par rapport aux travaux précédents. La deuxième

solution, un EMS multi-agent décentralisé (DMA-EMS), est proposée pour la gestion d'un seul MG et d'un cluster de MG dans le but de minimiser les échanges d'électricité avec le réseau principal. Le DMA-EMS implémente les fonctionnalités de contrôle de la charge contrôlable et des énergies renouvelables dans la gestion de l'énergie. La solution proposée a deux hiérarchies de gestion de l'énergie. Le premier niveau du DMA-EMS effectue le dispatch d'électricité dans un seul MG, basé sur des règles de gestion d'électricité, tandis que le second gère l'énergie entre un cluster de MGs. En outre, pendant les périodes critiques, le système DMA-EMS propose de participer à la régulation de la puissance active du réseau de distribution selon l'énergie disponible. Pour ce faire, un mécanisme d'appel à propositions est implémenté dans la plate-forme multi-agent pour la coopération entre les agents de contrôle des MG et l'agent du système de distribution et leur coordination pour supporter le système de distribution. La solution proposée est intégrée à une plate-forme de simulation de système électrique afin de vérifier la stratégie de communication et d'optimisation proposée.

Abstract :

The Smart Grid concept is born as a consequence of merging distributed energy resources (DER), mainly renewable energy into the low voltage power system. Thus, the power system is reshaped as an agglomeration of Microgrids (MGs). This new power system configuration integrates the communication technologies that intelligently manage and control power flow between the distributed resources, the load and energy storage in each MG. The information system responsible for the control and economical optimization of MG is known as the energy management system (EMS). One of the most crucial tasks of an EMS in grid-connected MG is to satisfy the energy dispatch while meeting the energy balance between different DER, storage units, controllable loads and the power exchanged with the main grid. The integration of emerging technologies in MG such as advanced storage systems and controllable consumer's appliances, has caused the need of EMS that not only ensures the energy dispatch, but also finds the optimal point that ensures the minimum total operational cost. Dispatching and optimizing the energy depends on the available power that will be generated by renewable energy (RE) resources. This RE intermittency is managed in the optimization system by considering the forecast data. It also should be pointed out that the renewable energy resource forecast is more accurate when performed in the short-term.

Thus, in order to incorporate the forecast information, new optimization algorithms should be fast enough to perform the optimization in the short term. Such powerful and emerging optimization techniques are needed to achieve fast optimization, enhance the MG efficiency as well as ensure power dispatch. The Multiagent Systems (MAS) have been applied in power systems during the last years. One of the reasons for such a trend is the distributed nature of MAS which makes them suitable for the MG environment. The MAS presents a set of characteristics such as being modular, extensible and fault tolerant, which drive more interests of applying them to MGs context. Besides, the diversity of the MG components: several types of generators, load and energy storage, each one manufactured by a different vendor causes communication interoperability issues. For this reason, the MG should adopt adequate communication middleware that ensures the smooth data exchange within the EMS.

The problem studied in this thesis is formulated as a linear optimization problem under constraints which minimize the operational cost related to distributed generation sources, controllable load and energy storage. This thesis also presents a decentralized Multiagent based EMS platform that has a fault tolerance and interoperability capabilities. The main goal of this thesis is to present the design and implementation of two different EMS with all the underlying communication infrastructure that ensure flexibility, fault tolerance, interoperability and optimality. The first solution implements a multiagent Real Time EMS based on T-Cell algorithm (RT-EMS). This solution was implemented and successfully experimented in a real smart grid testbed. The RT-EMS has the main function to ensure the energy dispatch between the distributed generation (DG) units that consists in this work on a wind generator, solar energy, energy storage units, controllable loads and the main grid. A modular and fault tolerant multi-agent platform is proposed to implement the RT-EMS. The T-Cell heuristic algorithm simulations and experimental results show the ability of the proposed solution in maintaining the stability and smooth operation of the MG in real time. The Distributed Data Service (DDS) middleware allows the interoperability between different components of the system. The multiagent RT-EMS highlights the effectiveness of the proposed algorithm and demonstrates a faster convergence time compared to previous works. The second EMS solution, a decentralized Multiagent EMS (DMA-EMS), is proposed for the management of both a single

MG and a cluster of several MGs with the objective of minimizing power exchange with the main grid. The DMA-EMS implements the controllable load and renewable energy curtailment features in the energy management. The proposed solution has two energy management levels. The first level of the DMA-EMS performs energy dispatch in a single MG based on rule-based algorithm while the second manages energy between several MG. Besides, during critical periods, the proposed DMA-EMS participates in the active power support of the distribution grid. A call for proposal communication mechanism is implemented in the agent platform for the communication between the MG controller agents and the distribution system agent. The proposed solution is integrated with a power system simulation platform to verify the proposed communication and optimization scheme.