

Résumé



L'intégration rapide des sources de production photovoltaïques distribuées (PPVD) convertit les réseaux de distribution en systèmes actifs et bidirectionnels, ce qui complexifie la maîtrise de la tension et la garantie de la qualité de l'énergie. Cette thèse propose un cadre intégré combinant l'intelligence artificielle basée sur les données et l'optimisation métaheuristique pour relever deux défis encore peu résolus : (i) maintenir les tensions nodales dans les limites réglementaires, en particulier dans des réseaux à faible rapport X/R soumis à l'intermittence photovoltaïque ; (ii) atténuer le facteur de déséquilibre de tension (FDT) aggravé par l'intégration non homogène des onduleurs monophasés (S-PVI).

La première contribution introduit une commande hiérarchique composée de trois régulateurs intelligents de type système neuro-flou adaptatif (ANFIS). Le premier ajuste la tension de référence du transformateur à régleur en charge (OLTC), le deuxième stabilise la tension au point de couplage commun (PCC) en pilotant la puissance réactive des onduleurs, et le troisième applique un délestage actif lorsque la marge de compensation réactive devient insuffisante.

Évaluée au réseau IEEE 33 nœuds, cette stratégie réduit efficacement les surtensions liées à l'intermittence solaire, limite la fréquence des manœuvres de l'OLTC et préserve l'essentiel de l'énergie photovoltaïque injectée. La seconde contribution vise à réduire le FDT dans le réseau asymétrique IEEE à 123 nœuds, caractérisé par une forte présence de S-PVI. Une commande prédictive par modèle (MPC) centralisée est mise en œuvre, reposant sur la résolution d'un problème d'optimisation multi-objectifs formulé en programmation non linéaire mixte en variables entières (MINLP), intégrant plusieurs fonctions à minimiser sous contraintes réglementaires. Ce modèle permet de déterminer de manière coordonnée les positions optimales des prises de l'OLTC, des régulateurs de tension intermédiaires (SVR), ainsi que les injections actives et réactives des onduleurs S-PVI et triphasés (T-PVI), selon une logique phase par phase. Le problème est résolu à l'aide d'un algorithme d'essai particulière à variables mixtes (MMVPSO), reposant sur des règles d'actualisation différenciées et sur l'utilisation de matrices de sensibilité, assurant une convergence rapide vers une solution optimale.

Mots clés : Réseaux de distribution actifs ; Régulation de tension ; Facteur de déséquilibre de tension ; Commande prédictive ; Système neuro-flou adaptatif ; Optimisation métaheuristique ; Algorithme d'essai particulière à variables mixtes ; MINLP