

Modélisation du système électrique et études nécessaires pour réussir la transition énergétique en Algérie

MAKHOULFI Saida, Maître de Recherche B
Division Energies Solaire Photovoltaïque - CDER
E-mail : s.makhloufi@cder.dz

Au cours des prochaines décennies, l'énergie électrique en particulier et l'énergie en générale seront différentes de celles d'aujourd'hui. Alors que nous envisageons à quoi ressemblera le futur système électrique algérien et comment il répondra à l'intégration massive des énergies renouvelables. Il est important que nous sélectionnions dès maintenant les études nécessaires pour réussir la transition énergétique et que nous reconnaissons que les initiatives que nous entreprenons aujourd'hui affecteront notre façon de vivre dans l'avenir.

En effet, un fonctionnement sûr et fiable d'un système électrique nécessite l'utilisation d'outils de modélisation et de simulation plus avancés. Les outils conventionnels atteignent leurs limites pour prévoir et rencontrer les problèmes liés à la forte pénétration des générations basées sur les onduleurs (GBOs), en particulier les turbines éoliennes et les systèmes solaires photovoltaïques.

Modèles de simulation de nouveaux systèmes électriques

Les modèles de simulation constituent la base des études de systèmes électriques. Ces modèles peuvent être divisés en modèles statiques et dynamiques. Les simulations dynamiques jouent un rôle important dans l'évaluation de la stabilité et de la sécurité des réseaux électriques, avec lequel les modèles dynamiques quadratiques moyennes (RMS) sont les plus utilisés.

Depuis des années, le comportement dynamique et la sécurité des systèmes électriques étaient convenablement déterminées par les caractéristiques des générateurs synchrones connectés au niveau du réseau de transport, alors qu'aujourd'hui, l'impact des GBOs et de leurs caractéristiques propres ne peuvent plus être négligé et ils ont commencé à dominer les performances dynamiques du système électrique.

Les modèles dynamiques classiques ne peuvent pas représenter les phénomènes de sous-cycle et les systèmes de contrôle associés aux contrôles des GBOs. Ces limitations se manifestent souvent lorsque la fréquence dominante dévie de plus de ± 5 Hz par rapport à la fréquence fondamentale, ou lorsque la puissance de GBO approche de leur capacité de tenue ou descend en dessous de celle-ci.

Les modèles dynamiques transitoires électromagnétiques (EMT) peuvent répondre pleinement à cette limitation. Ces modèles sont de plus en plus utilisés pour les études de stabilité avec une forte pénétration des GBOs.

L'utilisation de la simulation dynamique hybride visant à combiner les avantages de chacune des simulations en RMS et en

EMT a été récemment proposée dans certains outils d'analyse de systèmes électriques commerciaux. Ceux-ci incluent les simulations en temps réel et hors ligne.

Nouveaux et émergents phénomènes

Dans le passé, lorsque la pénétration des GBOs était faible, leur impact sur la sécurité et les performances du système électrique était négligeable. Aujourd'hui, les gestionnaires de réseau de transport sont confrontés à des situations où la pénétration des GBOs atteint plus de 50%. La pénétration croissante des GBOs affecte la résilience du réseau à résister à une large contingence s'ils ne sont pas intégrés de manière appropriée. Cela est dû à la déconnexion des grands générateurs synchrones conventionnels avec leurs commandes de stabilisation.

La réponse dynamique des générateurs synchrones est définie par leur physique et leurs contrôleurs, tandis que la réponse dynamique des IBG est définie uniquement par leurs contrôleurs ou algorithmes de contrôle.

Étant donné que les générateurs synchrones vont être remplacés par un grand nombre de GBOs, la pénétration croissante de ces derniers commence à avoir des impacts négatifs sur la sécurité et les performances dynamiques du système électrique, aussi bien que sur les systèmes de protection et divers aspects de la qualité de l'énergie. Des pénétrations plus élevées de GBOs rendront également l'exploitation du système en temps réel plus difficile, tant pour les gestionnaires de réseau de transport que pour les gestionnaires de réseau de distribution.

Modélisation et les études nécessaires

1. Etude d'impact des RBOs

La modélisation en EMT peut être nécessaire pour les études d'impact des GBOs dans des conditions de faible inertie du système, où les amplitudes de tension locale (voir figure 1) et les déplacements de phase ont une sensibilité plus élevée aux petits changements dans les flux de puissance associés aux installations dynamiques.

Les GBOs s'appuient souvent sur des actions rapides pour maintenir le synchronisme entre leurs courants injectés et la tension du réseau local. Etudier la stabilité de réponse de PLL nécessite souvent des simulations en EMT. La représentation en RMS d'autres boucles de contrôle telles que les contrôleurs de courant et de tension de liaison CC peut présenter des inexactitudes similaires. Sans représentation de ces composants, les modèles en RMS des GBOs peuvent ne pas montrer l'instabilité de contrôle (voir figure 2) et, par conséquent,

dans de tels cas, pourraient donner des résultats qui conduiraient probablement à des conclusions inexactes [1].

Pour obtenir une précision maximale, les modèles en EMT doivent avoir une représentation complète de toutes les commandes telles qu'elles sont implémentées dans l'équipement réel.

2. Etudes de planification à long terme

L'objectif de ces études est d'évaluer l'adéquation du réseau de transport pour les futurs scénarios et d'évaluer les plans de développement alternatifs. Ces études sont généralement effectuées avec l'analyse d'écoulement de puissance et du niveau de défaut de court-circuit, bien que l'analyse dynamique en RMS soient parfois utilisées pour étudier la compensation de la puissance réactive.

Si le futur réseau comprenant une compensation en série sur les lignes de transmission, des études de résonance sous-synchrone et d'interaction de contrôleur sous-synchrone en utilisant des modèles détaillés en EMT seront nécessaires.

Compte tenu de changements rapides de technologies dans la période d'étude et de l'incertitude concernant l'emplacement précis, le type et la marque de la génération à connecter, l'utilisation de modèles dynamiques spécifiques du fournisseur n'est pas adéquate. Les modèles génériques en RMS sont donc l'approche la plus pratique.

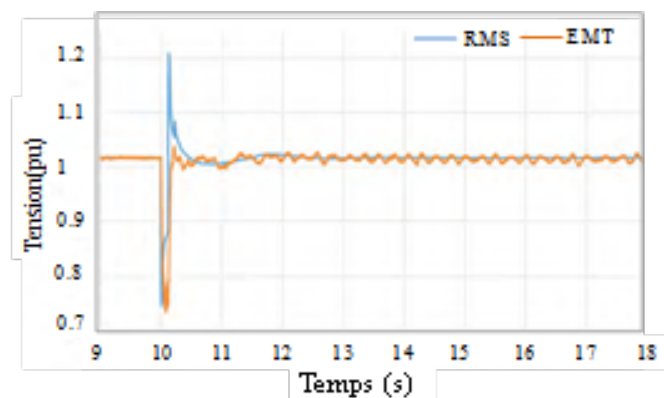


Figure 1. Comparaison entre les simulations en RMS et EMT lors d'un défaut pour un système de faible inertie.

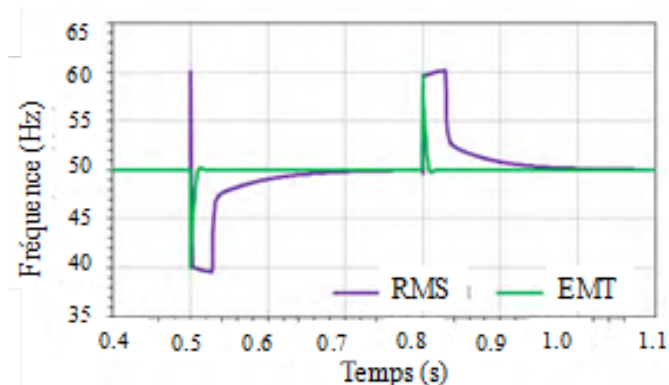


Figure 2. Comportement transitoire d'un PLL utilisant les modèles de RMS et d'EMT.

3. Études de raccordement

Une série d'études sur les réseaux électriques est généralement réalisée pour évaluer d'une part l'impact du nouveau raccordement sur le réseau de transport ou de la distribution, et d'autre part pour vérifier sa conformité aux exigences de performance technique. Ces études couvrent le contrôle de la tension et de la puissance réactive en régime permanent et dynamique, la contribution au courant de défaut de court-circuit, l'émission et la susceptibilité des harmoniques, la contribution à l'amortissement des oscillations de petits signaux, la réponse aux perturbations de tension et de fréquence, le contrôle de la puissance active et de la fréquence, la mise sous tension et la protection des transformateurs. En outre, les études d'interaction entre les contrôleurs deviennent de plus en plus une exigence pour le raccordement des GBOs dans des parties du réseau avec de faible inertie.

Les études d'impact sur le système peuvent utiliser les modèles en RMS, mais ceux-ci ont des limites inhérentes quand l'utilisation accrue des GBOs. Cela s'applique particulièrement aux études des régions à forte pénétration de ces ressources et, dans de tels cas, des modèles détaillés en EMT capturant les boucles de contrôle pertinentes sont efficaces.

4. Etudes du fonctionnement

Alors que les systèmes électriques sont de plus en plus exploités près de leurs limites de stabilité, les études du fonctionnement dynamique des systèmes électriques sont devenues un processus opérationnel standard.

Les études de stabilité des petits signaux seront également de plus en plus courantes, car le remplacement de générateurs synchrones conventionnels par les GBOs peut réduire l'amortissement des modes d'oscillations interzones, ou introduire de nouveaux modes oscillatoires.

La réalisation d'un grand nombre d'analyses de la stabilité dynamiques détaillées tenant compte de plusieurs contingences, y compris celles au-delà des contingences N-1 traditionnelles, devient plus importante pour les opérateurs de systèmes électriques.

5. Fonctionnement en temps réel

Les outils de soutien à la décision disponibles dans les salles de contrôle sont très importants pour le fonctionnement du système électrique en temps réel. La plupart des salles de contrôle ont des systèmes de gestion de l'énergie (EMS) intégrant l'analyse de contingence en temps réel permettant d'évaluer la charge thermique en régime permanent et les niveaux de tension.

Bien que moins fréquents, certains pays avec une pénétration élevée de GBOs effectuent des évaluations de stabilité dynamique en temps réel sur la base de modèles de RMS. Ces analyses fournissent des informations sur la marge de stabilité et permettent aux opérateurs du système de maximiser l'utilisation des GBOs disponibles de manière sécurisée.

À ce jour, l'analyse en EMT n'est intégrée dans aucun environnement de salle de contrôle pour l'évaluation de la stabilité en temps réel. Ces simulations sont généralement beaucoup plus coûteuses en termes de calcul que les modèles de RMS. La simulation de plusieurs centaines de contingences sur un système électrique à grande échelle dans un intervalle de simulation typique de 5 ou 30 minutes peut ne pas être réalisable avec la puissance de calcul actuelle.

Tableau 1. Fonctions des GBOs et les modèles en RMS [2].

Catégorie	Fonctions	Écart de la fréquence	Large excursion de tension	Faible écart de tension et à long terme	Isolation automatique
Contrôle	Contrôle de source DC/ Contrôle du courant	Non	Oui*	Non	Oui
	Boucle à verrouillage de phase (Phase Locked Loop PLL)	Non	Oui	Non	Oui
	Suivi du point maximal de puissance (Maximum Power Point Tracking MPPT)	Oui**	Non	Oui	Non
Protection	Réduction du courant maximum de l'onduleur lorsque la tension continue dépasse une certaine limite	Non	Oui*	Non	Oui
	Limitation du taux de variation du courant de l'onduleur après un défaut	Non	Oui	Non	Oui
	Limite du courant	Oui	Oui	Oui	Oui
	Protection contre les surtensions CC	Non	Oui*	Non	Oui
	Protection contre les surtensions / sous-tensions	Non	Oui	Oui	Oui
	Protection contre les sur-fréquences / sous-fréquences	Oui	Oui	Non	Oui
	Protection des défauts équilibrés	Non	N/A****	Non	Oui
	Protection des défauts de court-circuit déséquilibrés	Non	N/A****	Non	Oui
	Protection des défauts entre ligne et la terre	Non	N/A****	Non	Oui
	Déclenchement suite au taux de changement de fréquence (Rate Of Change of Frequency-ROCOF)	Oui	Oui	Non	Oui
	Saut de vecteur	Oui	Oui	Non	Oui
Anti-îlotage	Oui	Oui	Oui	Oui	
Capacité	Contrôle P(f) sur / sous fréquence	Oui	Oui	Non	Oui*****
	Contrôle de tension Q(V)	Oui	Oui	Oui	Oui
	Contrôle de tension P(V)	Non	Oui	Oui	Non
	Inertie synthétique	Oui	Oui	Non	Oui
	Immunité ROCOF	Oui	Non	Non	Oui
	Tenue aux creux de tension (Low Voltage Fault Ride Through-LVFRT)	Non	Oui	Non	Oui
	Tenue aux Surtension (High Voltage Fault Ride Through-HVFRT)	Non	Oui	Non	Oui
	Contrôle de la puissance réactive en réponse à des variations de tension rapides et importantes	Non	Oui	Non	Oui
Amortissement des oscillations de puissance	Oui***	Oui*	Non	Non	

* Si le coté DC est inclus dans le modèle, ** Pour des petites systèmes isolées, *** Si le contrôle d'amortissement est conçu pour amortir le mode commun d'évolution de fréquence, **** Un relais de protection externe peut être utilisé, ***** Passez à 'non' si le réseau isolé est uniquement un réseau de basse tension (BT).

Conclusion

Ce travail donne un aperçu sur les modèles et les simulations nécessaires pour un fonctionnement sûr et fiable du système électrique en pleine évolution. Pour aider à la réussite de la transition énergétique, les points suivants sont nécessaires :

- Les outils à mener sur les études de simulation en EMT plus avancés et plus détaillés sont nécessaires pour réussir la transition énergétique en Algérie.
- La modélisation en EMT sera nécessaire pour l'étude de l'impact des GBOs dans des conditions de faible inertie.
- Les études d'interaction de contrôle deviennent une exigence pour le raccordement de GBO dans des parties du réseau avec de faible inertie.
- La vérification périodique des modèles des GBOs est essentielle pour tous les types d'approches de modélisation en temps réel et hors ligne.

• Les méthodes probabilistes telles que l'écoulement de puissance probabiliste ou l'écoulement de puissance optimal, devient importantes pour simuler une large gamme de scénarios et évaluer les sensibilités aux erreurs de prévision et déterminer le scénario optimal.

- Il y a encore un certain nombre d'aspects que nous devons analyser. Le tableau 1 liste les fonctions et les modèles en RMS nécessaire pour étudier le comportement des GBOs [2].

Références

1. Innovation in the Power Systems Industry. CIGRE, Volume No.17, 2020.
2. Modelling of Inverter-based Generation for Power System Dynamic Studies, C4/C6.35/CIREN, 2018.