UNIVERSITE PARIS-SUD

ÉCOLE DOCTORALE
Sciences et Technologie de l'Information, des Télécommunications et des Systèmes
Laboratoire des Signaux et Systèmes

DISCIPLINE: Physique

THÈSE DE DOCTORAT

Soutenance prévue le 12/05/2014

par

Diego LANGARICA CORDOBA

Stabilisation Transitoire de Systèmes de Puissance: une approche unifiée

Transient Stabilization of Power Systems: an unified approach

Composition du jury:

Directeur de thèse:	Romeo ORTEGA	Directeur de Recherche (LSS)
Rapporteurs:	Christophe PRIEUR	Directeur de Recherche (GIPSA-LAB)
	José CAÑEDO	Profeseur Chercheur (CINVESTAV)
Examinateurs:	Françoise LAMNABHI-LAGARRIGUE	Directeur de Recherche (LSS)
	Jean-Claude VANNIER	Professeur (SUPELEC)
	Daniele CASAGRANDE	Profesour Chercheur (UNIUD)
	Abdelkrim BENCHAIB	Chercheur (ALSTOM)
Membres invités:	Alejandro DONAIRE	Chercheur (U. NEWCASTLE)

Resumé Detaillé

Cette étude de doctorat est consacrée à la *stabilisation transitoire* des systèmes de puissance électriques soumis à des perturbations du réseau. Par conséquent, ce chapitre d'introduction présente le cadre de l'application ainsi que la motivation, la revue de la littérature et des contributions apportées par ce travail. Egalement, ce chapitre comprend les parties principales de chacun des chapitres suivants.

Structure des systèmes de puissance électriques

Un système de puissance électrique est un réseau complexe de composants électriques utilisés pour *fournir*, *transmettre* et *utiliser* l'énergie électrique. Son but ultime est de fournir un service fiable, sécurisé et ininterrompu à l'utilisateur final, en d'autres termes, la tension et la fréquence constantes tout le temps. Dans un sens général, ce réseau est constitué par les éléments suivants [Kundur, 1994; El-Hawary, 2008]:

a) ***Unités de génération.*** Une composante essentielle des systèmes de puissance, qui utilise normalement des machines à courant alternatif triphasé, connues en tant que générateurs ou alternateurs synchrones, et qui transforme la puissance mécanique en une électrique. Les générateurs ont deux champs rotation synchrone, un champ produit par le rotor est entraîné à la vitesse synchrone et excité par un courant continu. L'autre champ est produit dans les enroulements de stator par les courants d'armature triphasés. La source de la puissance mécanique, communément connu comme le premier moteur, peut être turbines hydrauliques, turbines à vapeur dont l'énergie provient de la combustion du charbon, du gaz et du combustible nucléaire, les turbines à gaz ou moteurs à combustion interne [Bergen and Vital, 2000; Fardo and Patrick, 2009]. Dans les centrales électriques, plusieurs générateurs sont connectés en parallèle pour fournir la puissance totale nécessaire. Avec les préoccupations pour l'environnement, de nombreuses sources alternatives sont considérées. Par exemple l'énergie solaire, l'énergie géothermique, l'énergie éolienne, l'énergie marémotrice et la biomasse.

b) ***Systèmes de transmission et de distribution.*** Un réseau de transmission aérienne transfère l'énergie électrique à partir d'unités de production dans le système de distribution qui fournit finalement la charge. Les lignes de transmission interconnectent également les centrales voisines qui permettent l'envoi d'énergie entre les régions dans des conditions normales et d'urgence. Lignes de transmission

à haute tension sont terminés dans les sous-stations, qui sont appelés sous-stations haute tension ou sous-stations primaires. La fonction de certains sous-stations est de commutation des circuits dans et hors de service, ils sont considérés comme des stations de commutation. Aux sous-stations primaires, la tension est abaissée à une valeur plus appropriée pour la partie suivante du flux en direction de la charge. Très grands clients industriels peuvent être servis directement du système de transmission. La partie du système de transmission qui connecte les sous-stations haute tension par transformateurs abaisseurs aux sous-stations de distribution est appelé le réseau de transmission secondaire. Des banques de condensateurs et de réacteurs sont généralement installés dans les sous-stations pour le maintien de la tension de ligne de transmission.

Le système de distribution reliant les sous-stations de distribution à l'équipement de service d'entrée des consommateurs. Les lignes de distribution primaire alimentent la charge dans une zone géographique bien définie, où certains petits clients industriels sont servis. Le réseau de distribution secondaire réduit la tension pour utilisation par les consommateurs commerciaux et résidentiels. Les lignes et les câbles ne dépassant pas quelques centaines de mètres de longueur fournissent la puissance pour les consommateurs individuels. La distribution secondaire sert la plupart des clients à des niveaux de 120/240 V. Les systèmes de distribution utilisent les deux, conducteurs aériens et souterrains.

Un élément important dans EPS est le transformateur, qui transfère la puissance avec une très grande efficacité d'un niveau de tension à l'autre. La puissance transférée au secondaire est pratiquement la même que le première, à l'exception des pertes internes dans le transformateur. L'utilisation d'un transformateur élévateur de tension permettra de réduire les pertes dans la ligne, ce qui permet la transmission d'énergie sur de longues distances possibles. A la fin de la réception des lignes de transmission transformateurs abaisseurs sont utilisés pour réduire la tension à des valeurs appropriées pour la distribution ou l'utilisation. L'électricité dans les systèmes de puissance peut rencontrer quatre ou cinq transformations entre les unités de production et les consommateurs.

La majorité des systèmes de puissance comptent sur courant alternatif triphasé, le standard pour la transmission d'électricité à grande échelle et la distribution dans le monde moderne. Néanmoins, systèmes spécialisés qui comptent sur la puissance à courant continu se trouvent dans les systèmes d'aéronef, les systèmes de chemin de fer électrique, les systèmes haute tension à courant continu, les lignes de transmission sous-marins et les voitures.
fourniture

c) ***Centres de charge.*** Charges électriques sont divisés en secteurs industriel, commercial, et résidentiel. Charges industrielles sont charges composés, et les moteurs à induction forment une forte proportion de ceux-ci. Normalement, les charges composés sont en fonction de la tension et de la fréquence et forment une partie

importante de la charge du système. Charges commerciales et résidentielles sont constituées en grande partie de l'éclairage, le chauffage et la cuisine. Ces charges sont indépendants de la fréquence et consomment petite puissance réactive. La charge varie tout au long de la journée, et la puissance doit être toujours disponible pour les consommateurs à la demande.

Par exemple, La figure 1.1 donne un aperçu général des entités susmentionnées et leurs interconnexions. De plus, cette recherche considère le paradigme de flux d'énergie d'une direction au même temps que les prochaines fonctionnalités du système:

- ***Alimentation***: générateurs synchrones à courant alternatif triphasé,
- ***Transmission***: lignes de transmission modélisées en utilisant le modèle π, [Kundur, 1994; El-Hawary, 2008],
- ***Utilisation***: charges de puissance active et réactive supposés comme impédances constantes.

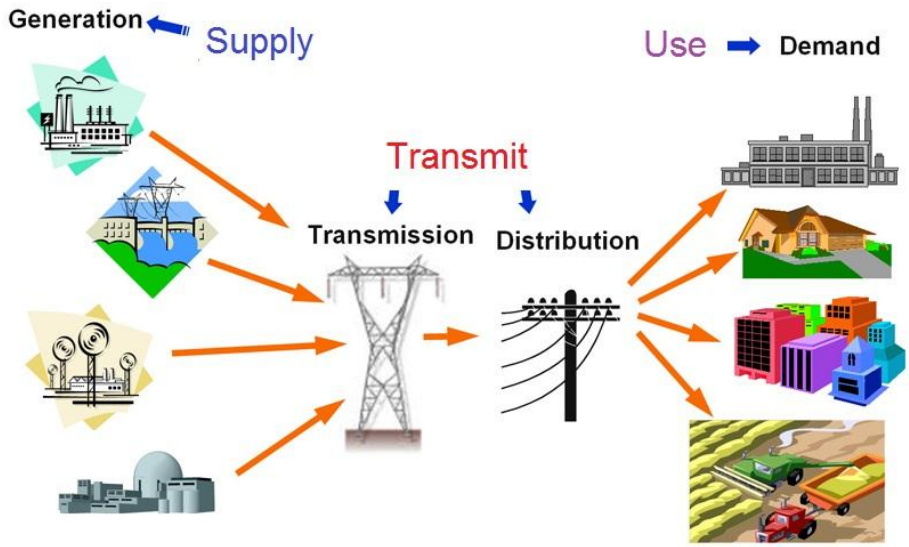

Figure 1: Composants du système de puissance électrique.

Motivation

Depuis la révolution industrielle, la demande et la consommation d'énergie a augmenté de façon constante et systèmes de puissance très complexes ont été construits pour répondre à cette demande croissante. L'évolution de la production d'énergie électrique est vers un réseau interconnecté de lignes de transmission reliant les producteurs et les charges en grands systèmes intégrés. En fait, un réseau de système de puissance est considérée comme la machine la plus complexe et plus jamais construite par l'homme car elle peut s'étendre sur tout un continent [Anderson and Fouad, 2003].

Le fonctionnement correct et sûr de ces systèmes complexes dépend largement de la capacité de l'opérateur du système à fournir un service fiable et continu aux charges. Idéalement, les charges doivent être alimentées à une tension et fréquence constante à tout moment. En termes pratiques, cela signifie que la tension et la fréquence doivent être maintenues dans des tolérances étroites afin que l'équipement du consommateur peut fonctionner de manière satisfaisante. Par exemple, une chute de tension de 10 % à 15 % ou une réduction de la fréquence du système de seulement quelques hertz peut conduire à caler les charges de moteur sur le système. Ainsi, on peut dire que l'opérateur du système électrique doit maintenir un très haut niveau de service électrique sécurisé.

Stabilité transitoire

La sécurité du système de puissance en général, peut être définie comme la robustesse du système à fonctionner en un état d'équilibre dans des conditions normales et des conditions perturbé. La sécurité du système de puissance couvre une grande variété d'aspects, habituellement subdivisé en phénomènes statiques et dynamiques. La stabilité du système de puissance fait actuellement référence à la partie dynamique de la sécurité. En outre, la notion de stabilité peut être défini de façon générale comme propriété d'un système de puissance qui lui permet de rester dans un état d'équilibre stable dans des conditions normales de fonctionnement et de retrouver un état d'équilibre acceptable après avoir été soumis à une perturbation [Kundur, 1994; Pavella et al., 2000; IEEE/CIGRE, 2004].

Il s'agit d'un problème complexe en fonction d'une variété de facteurs, tel que: laps de temps qui doit être pris en considération afin d'évaluer la stabilité, la taille de la perturbation considéré et la nature physique de l'instabilité qui en résulte. Par conséquent, même si une classification rigoureuse entre différents types de stabilités est difficile, une classification pratique souvent accepté s'appuie sur les facteurs ci-dessus. Ainsi, en référence à l'intervalle de temps du phénomène, on distingue la stabilité à court terme de la stabilité à long terme. En référence à la taille de la perturbation considérée, on distingue la stabilité de petit perturbation de la stabilité à grande perturbation: le premier peut être manipulé par linéarisation des équations dynamiques du mouvement, tandis que le second nécessite des approches non linéaires. En outre, à la fois la stabilité de petite perturbation et la stabilité de grande perturbation peut être subdivisée en ceux de tension et d'angle. La Figure 1.2 illustre cette classification. On peut constater que la stabilité de l'angle à grande perturbation est la stabilité dite transitoire; c'est l'un des deux aspects qui constituent ce qu'on appelle la sécurité dynamique; l'autre aspect est la stabilité de la tension de grande perturbation

La présente monographie est consacrée à la stabilité transitoire des réseaux électriques multi-machine et cette caractéristique se réfère à la capacité de maintenir un fonctionnement synchrone des machines lorsqu'ils sont soumis à une forte perturbation. L'apparition de ces perturbations peut conduire à des grandes excursions d'angles de rotor et, chaque fois que des mesures correctives ne fonctionnent pas, perte de synchronisme entre les machines existe. En général, la perte de synchronisme se développe en quelques secondes après de la présence des perturbations. En fait, parmi les phénomènes considérés dans la Figure 1.2, la stabilité transitoire est le plus rapide à se développer. Le caractère non

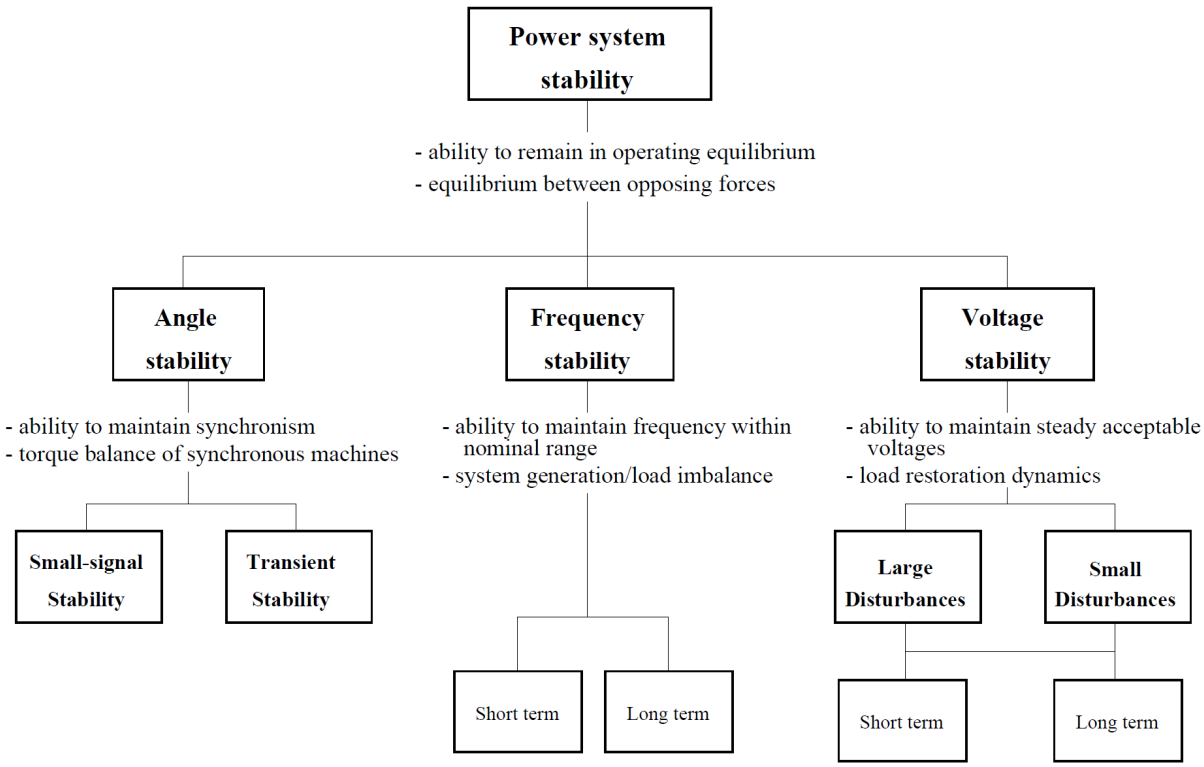

Figure 2: Types de phénomènes de stabilité des réseaux électriques.

linéaire de la stabilité transitoire, son évolution rapide et ses implications pratiques désastreuses font l'un des plus importants et en même temps la question la plus problématiques pour évaluer et encore plus à contrôler, surtout aujourd'hui, avec les pratiques de déréglementation émergents du secteur électrique dans de nombreux pays.

En effet, le secteur de l'énergie électrique déréglementé en Europe et dans beaucoup d'autres parties du monde appelle des gestionnaires de réseau indépendants à être responsable du réseau de transmission. Le secteur de l'électricité se déplace donc dans un nouveau régime de réglementation, où les nouveaux centres de contrôle devront surveiller et de contrôler les réseaux beaucoup plus importants que ceux qui existent déjà et de suivre en beaucoup plus courts horizons temporels beaucoup plus de transactions d'énergie qu'aujourd'hui: grande taille du réseau , des quantités plus importantes de flux d'énergie, et des horizons plus courts sont susceptibles d'influer sur la stabilisation transitoire et le rendre encore plus complexe et indispensable que dans le passé.

l'Amélioration de la stabilité transitoire est d'une grande importance dans la société humaine, car si la stabilité est perdue, l'effondrement d'énergie peut se produire dans une grande zone peuplée et des graves dommages seront portés à l'économie régionale et les conforts des consommateurs. Par conséquent,considérant tous les problèmes présentés avant, ce travail aborde la stabilisation transitoire d'un système soumis à des perturbations du réseau à partir deux approches: la centralisation, qui considère aucune limitation à l'échange d'informations à n'importe quel point d'un réseau donné, et d'autre part, la

décentralisation, qui suppose l'échange d'informations n'est pas disponible. Le premier n'est justifiée que par l'utilisation d'unités de mesure de phaseur (PMU) et de la technologie de communication actuelle, où les variables d'intérêt comme la tension, la fréquence et le courant peuvent être acquises en temps réel pour être traitées par le centre de contrôle. Notez que cette approche est sensible aux échecs sur des canaux de communication, mais est bien acceptée par la pratique moderne et ouvre à des nouveaux défis dans le domaine du contrôle de tolérance aux pannes.

Au contraire, l'approche de la décentralisation est apparue récemment à partir la nécessité d'opérer les systèmes de puissance lorsque l'échange de l'information n'est pas disponible ou partiellement disponible. Comme indiqué précédemment, le marché libéralisé de l'énergie a ouvert de nouveaux horizons dans le domaine de contrôle en matière d'intégration de la production d'énergie renouvelable dans l'infrastructure électrique actuelle. De plus, l'ancien paradigme où les centres de production sont situés à longue distance loin des centres de consommation a été remplacé par l'approche de la production distribuée, qui permet de petites et micro-centrales de production de contribuer puissance afin de répondre à la demande actuelle d'électricité collectivement. Par conséquent, cette nouvelle génération distribuée présente un phénomène de flux d'énergie bidirectionnel, qui conduit à effets négatifs à la fiabilité et la stabilité du réseau existant.

Revue de la littérature

Au cours de cette recherche, les prochains sujets ont été revisités.

Modélisation des systèmes de puissance

La théorie de la machine synchrone pour la modélisation des systèmes électriques de puissance a été largement étudiée dans plusieurs livres de texte comme [Elgerd, 1982; Pai, 1989; Kundur, 1994; Bergen and Vital, 2000; Anderson and Fouad, 2003], où l'analyse de état stationnaire et les caractéristiques de performance transitoire sont développés en détail. Les lois de Kirchhoff et les principes physiques sont utilisés pour formuler un modèle complet en trois phases. Cette description capture les deux dynamiques électriques et mécaniques d'un générateur synchrone en utilisant un total de huit variables d'etats; six pour la partie électrique et deux pour la partie mécanique. Pourtant, en raison de la nature sinusoidale de la tension et des courants dans cette description mathématique, il est souvent appliqué la transformation de *Park* et, par conséquent, des quantités non-oscillatoire dans la trame de référence $d-q$ sont utilisés au lieu pour l'analyse et le contrôle.

Une autre approche différente a été signalé dans [Zonetti, 2011; Zonetti et al., 2012], où en utilisant représentations bond-graph individuelles des générateurs synchrones, des lignes de transmission et des charges, un modèle à ports hamiltonien pour un système de puissance de trois phases est dérivé sans aucune hypothèse de simplification. Ce modèle équivalent conduit à une description basée sur l'énergie du système, où tous les éléments conservent leur interprétation physique d'origine, ouvrant la voie à l'analyse fondée sur l'énergie. Malheureusement, pour un cas multi-machine ce modèle n'est pas encore défini

dans un cadre de référence $d-q$ car un angle doit être sélectionné comme référence pour les autres afin d'appliquer une telle transformation.

Modèles simplifiés ont également été dérivée pour gérer les deux une seule machine et multi-machines représentations. Par exemple, considérons le modèle classique de troisième ordre signalés dans [Pai, 1989; Chiang et al., 1995a; Lu et al., 2001]. Tandis que le modèle complet en trois phases utilise six variables d'état pour représenter le sous-système électrique, ce modèle simplifié emploie juste une variable d'état pour le même but. Cette variable d'état électrique artificielle est nommé *tension derrière la réactance transitoire* et malgré les simplifications, cette représentation a la capacité d'inclure ou non les pertes de puissance dues à la conductance de réseau, caractéristique importante qui a conduit à plusieurs conceptions de contrôle de stabilisation. Les contrôleurs détaillées dans cette thèse sont basés dans cette représentation simplifiée pour systèmes électriques en tenant compte d'un réseau avec des pertes de puissance. Néanmoins, quelques résultats numériques en utilisant le modèle complet en trois phases sont réalisées, montrant la robustesse du contrôleur faisant face à la dynamique non linéaire non modélisée.

Stabilisation des systèmes de puissance

En raison du grand complexité, la stabilité transitoire dans les systèmes de puissance est souvent analysée considérant la représentation d'une seule machine. Par conséquent, chaque unité de production est considérée séparément, tandis que l'ensemble des autres machines sont considérées comme un bus infini, fonctionnant à tension et fréquence constante par rapport à la machine considéré. Dans cette approche, plusieurs résultat basé sur des techniques non linéaires et spécialisés ont été publiés sur ces dernières années. Par exemple, les contrôleurs de linéarisation par rétroaction ont été signalés dans [Lu et al., 2001] and [Fusco and Russo, 2011], la technique de mode glissant est détaillé dans [Loukianov et al., 2011], immersion et invariance (I&I), adaptative robuste H_∞ et backstepping en [Manjarekar et al., 2012; Sun et al., 2009; Fu and Zhao, 2005], respectivement.

Le travail de thèse de doctorat en [Galaz, 2003] a publié ses résultats dans [Ortega et al., 2001; Galaz et al., 2001, 2004]. De plus, en utilisant le contrôle basé dans la passivité, ces résultats abordent le problème de l'élargissement de la région de l'attraction de l'équilibre dans les systèmes électriques décrits par la représentation d'une seule machine. Ensuite, la notion du contrôle basé en passivité, est étendue à un cas multi-machine en [Ortega et al., 2005] pour prouver l'existence d'une loi de commande de rétroaction d'état non-linéaire statique qui assure la stabilité asymptotique du point de fonctionnement, avec une estimation bien définie du domaine d'attraction. Malheureusement, une expression explicite pour le contrôleur est donnée seulement pour les cas de un, deux et trois machine. De plus, pour établir le résultat de l'existence de plus de trois machines les hypothèses strictes que tous les inerties du générateur sont égaux, et que les pertes en ligne sont suffisamment petites, sont faites.

Après, la thèse de doctorat réalisés dans [Dib, 2009] ramasse les résultats donnés par [Dib et al., 2009a,b,c, 2011]. Ces résultats sont également consacrés au problème de

l'élargissement de la région de l'attraction, mais au contraire, ils proposent une nouvelle loi de stabilisation basée sur l'énergie pour le contrôle de l'excitation des alternateurs synchrones et considère des modèles plus naturelles et les plus populaires de préservation de structure qui préservent l'identité des composants du réseau, permettant un traitement plus réaliste des charges. Tout d'abord, ces résultats ont introduit la méthode des moments pour la réduction du ordre des systèmes non linéaires avec le but d'estimer les états non mesurés et de construire des lois de contrôle simplifiées. Ensuite, la méthode I&I est utilisée pour stabiliser un système d'énergie multi-machine où la formulation du problème de commande est ajusté pour répondre aux exigences de stabilité transitoire pratiques (convergence de l'angle de rotor).

Dans le travail [Casagrande et al., 2011b], une nouvelle théorie du contrôle pour stabiliser globalement systèmes triangulaires qui ne sont pas totalement linéarisables est introduit. Cette théorie emploie un contrôleur par retour d'état dynamique non linéaire et contraste avec la technique de backstepping normale car l'exigence d'une structure stricte de rétroaction dans les systèmes triangulaires est détendu, par conséquent, une loi de commande est alors explicitement obtenu. En conséquence, en [Casagrande et al., 2012, 2014] la théorie est étendue efficacement aux systèmes de puissance multi-machines où un contrôleur centralisé qui stabilise globalement et asymptotiquement, avec une fonction de Lyapunov bien défini pour une ligne de transmission avec pertes est synthétisé. L'efficacité et la performance de la solution est illustrée en simulant le problème de la récupération de l'équilibre après un défaut, aussi bien dans le cas du système d'ordre simplifiée et dans le cas d'un modèle de huitième ordre plus précise avec les signaux d'entrée saturés.

Car les systèmes de puissance couvrent normalement grandes régions géographiques, il est naturel de les faire fonctionner d'une manière décentralisée, en d'autres termes, considérant la limitation sur l'échange d'informations entre les unités de production. Selon cette approche, le processus de décentralisation redistribue ou disperse la tâche de commande à chaque contrôleur local agissant sur les centres de production correspondants. Évidemment, cette action de contrôle est basée uniquement sur des mesures locales. En début des années 70, la perspective donnée par [Wang and Davison, 1973], commencé formellement la recherche sur le contrôle décentralisé. Ils ont démontré que un système peut être stabilisée avec un contrôleur décentralisé (statique ou dynamique) si et seulement s'il ne possède pas de modes fixes décentralisés instables, voir aussi [Lunze, 1992]. Le scénario typique de stabilisation décentralisés de systèmes suppose que la matrice d'entrée est plein et vise à trouver la sortie locale telle que la boucle fermée est stable. Les enquêtes et les évolutions les plus récentes sur ce problème peuvent être trouvés dans [Lavaei and Aghdam, 2008; Lam and Davison, 2010; Miller and Davison, 2012; Song et al., 2013]. Une autre approche est présentée dans [Šiljak and Zečević, 2005] où un nouveau schéma basé sur les inégalités matricielles linéaires est conçu pour la stabilisation robuste décentralisé d'un systèmes de puissance de 10 machines. Les non-linéarités du système sont considérées comme incertitude, mais limitée par une inégalité quadratique. Sur la base de cette hypothèse, le problème de stabilisation est traduit en un problème de solvabilité des inégalités matricielles linéaires pour obtenir finalement des gains de rétroaction appropriés. Ces notions sont inspirées par les livres [Šiljak, 1991; Boyd et al., 1994; Zečević and Šiljak, 2010].

Enfin, plusieurs références ont été étudiés en ce qui concerne la stabilisation décentralisée des systèmes non linéaires. Même peu de résultats sur le contrôle décentralisé des systèmes électriques traitent avec rigueur la dynamique non linéaire du système. Deux exceptions notables sont [Guo et al., 2000] et [Yan et al., 2010], où il est constaté que la technologie actuelle permet la mesure locale de signaux supplémentaires, à savoir, la puissance active, la puissance réactive et le courant de champ à chaque générateur. En [Guo et al., 2000] les termes de couplage du système de puissance sont considérés comme une perturbation additive de l'équation mécanique. En supposant que, les limites de cette perturbation sont connus et l'état complet de chaque générateur est disponible pour la mesure, un schéma de backstepping décentralisée qui réduit (à un certain niveau) le gain $\mathcal{L}_2$ de l'opérateur à partir de la perturbation à la fréquence de puissance est proposé. En [Yan et al., 2010] les mêmes mesures que [Guo et al., 2000] sont supposés, et un contrôleur de backstepping adaptatif qui assure bornitude ultime de l'Etat est proposé. En ajoutant l'adaptation, les auteurs parviennent à détendre l'hypothèse de la connaissance de borne supérieure dans les perturbations.

Contributions

Les principales contributions de ce travail sont énumérés ci-dessous.

- Légères modifications à la théorie proposée dans [Casagrande et al., 2011b] sont détaillées ici au chapitre 2. Ces modifications impliquent l'introduction de gains de commande ayant pour objectif une meilleure performance dynamique en boucle fermée. En outre, la technique proposée est appliquée aux systèmes Maglev et SMIB pour stabiliser un point d'équilibre donné, ces résultats ne sont pas signalés dans toute autre référence de la littérature.

- Un contrôleur centralisé qui stablizes globalement et asymptotiquement systèmes de puissance considérant des lignes transmissions avec pertes est rapporté ici. Au meilleur de notre connaissance, c'est le premier résultat relatif dans la littérature. De plus, l'efficacité du schéma proposé est testé faisant face à une dynamique non linéaire non modélisés et d'ordre élevé, étant donné que le contrôleur est synthétisé à partir d'un modèle de troisième ordre, mais à la place est appliqué à un modèle de huit ordre pour obtenir des résultats numériques satisfaisants incluant plusieurs scénarios de défaut.

- Ainsi également, une nouvelle méthode pour stabiliser des systèmes linéaires interconnectés à grande échelle via un contrôle décentralisé basé sur observateur est détaillé ici. La restriction d'échange limitée de l'information entre les sous-systèmes a été surmonté en utilisant observateurs I&I que, c'est bien connu, ont une nouvelle structure consistant en une partie intégrale et une partie proportionnelle. De plus, les gains d'observation sont obtenues grâce à une solution des inégalités matricielles linéaires et les valeurs propres du observateur sont placés dans une région circulaire souhaitée.

- Enfin, une version adaptative décentralisée du contrôleur centralisé pour systèmes de puissance multi-machine avec des lignes de transmission à pertes est rapporté dans ce travail. Ce nouveau schéma est décentralisée dans le sens où il n'y a pas d'échange en information entre les contrôleurs de chaque machine. La décentralisation est réalisée en utilisant les mesures des variables d'etat locales, la puissance active et la puissance réactive, qui sont disponibles avec la technologie existante. En plus, le schéma proposé utilise d'une manière équivalente l'estimation de la différence entre la réactance de l'axe direct et la réactance transitoire de l'axe direct, soit $x_d - x'_d$ dans la loi de commande, apportant robustesse au terme de linéarisation partielle de boucle interne .

Présentation de la thèse

Dans le **Chapitre 2**, nous introduisons une nouvelle théorie de contrôle pour stabiliser globalement *systèmes triangulaires non globalement linéarisables* utilisant un contrôleur d'état de rétroaction dynamique non linéaire. Afin d'aider à une meilleure compréhension, le matériau est exposé augmentant le degré de complexité dans chaque section. Ce cadre théorique comprend seulement les systèmes représentés par deux ou trois états et son applicabilité est testé par deux systèmes physiques, c'est à dire, une machine unique bus infini et un système de lévitation magnétique.

En **Chapitre 3**, une solution non linéaire globale pour le problème de système d'alimentation électrique multi-machine avec des conductances de transfert non négligeable est présentée. Cette schéma est *centralisé* dans le sens que tous les états de la machine sont disponibles pour la mesure et il n'ya pas de contraintes sur l'échange d'informations. Bien que ce soit le contrôleur est inspiré de celui présenté dans le chapitre 2, quelques manipulations sont détaillées afin de résoudre une boucle algébrique. Enfin, des simulations en tenant compte de plusieurs défauts de réseau en utilisant le le 10 machines.

Chapitre 4 détails la stabilisation des systèmes linéaires temps-invariant à grande échelle à partir d'un point de vue *décentralisé*. Ce schéma met en œuvre un observateur de type déterministe utilisant idées d'immersion et invariance en combinaison avec le cadre des inégalités linéaires de matricielle pour reconstruire les États d'autres sous-systèmes et utilise de manière équivalente ces estimations dans la loi de commande. Des résultats numériques sont offertes pour un système de deux machines et pour un système académique de quatre sous-systèmes.

Dans le **Chapitre 5**, nous présentons un contrôleur dynamique *décentralisé* non linéaire qui stabilise le point d'équilibre d'un système de puissance donné. Cette partie est une extension naturelle de celle présentée dans le **Chapitre 3**, où, en revanche, certaines hypothèses sur les mesures soient prises afin de parvenir à un fonction *décentralisé*. De la même manière, le système d'alimentation de 10-machines de Nouvelle Anglaterre est utilisée pour tester l'efficacité du dispositif de commande via plusieurs scénarios de simulation.

Finalement, le **Chapitre 6** présente les conclusions de la recherche et propose également

des travaux futurs.

Publications

Ce travail de thèse a fourni trois publications des revues et deux actes de congrès, ce sont:

Articles dans des revues

- Daniele Casagrande, Alessandro Astolfi, **Diego Langarica**, Romeo Ortega. Transient Stability Problem for Multimachine Power Systems: a Theoretical Solution and its Applicability. *IET, Generation, Transmission and Distribution*, 2014.

- **Diego Langarica** and Romeo Ortega. An Observer–Based Scheme for Decentralized Stabilization of Large-Scale Systems with Application to Power Systems, *Asian Journal of Control* 2013.

- **Diego Langarica Cordoba**, Romeo Ortega, Daniele Casagrande, Alessandro Astolfi. Transient Stability of Multimachine Power Systems: Towards a Global Decentralized Solution. *Automatica* 2014, Submitted.

Actes de congrès

- D. Zonetti, S. Fiaz, R. Ortega, A. Van Der Schaft, **D. Langarica**, J. Scherpen. Du Bond Graph au Modèle Hamiltonien à Ports d'un Système de Puissance. *Conférence Internationale Francophone d'Automatique*, Grenoble, France, July 2012,

- Daniele Casagrande, Alessandro Astolfi, Romeo Ortega, **Diego Langarica**. A Solution to the Problem of Transient Stability of Multimachine Power Systems. *IEEE 51st Annual Conference on Decision and Control (CDC)*, December 2012, 1703-1708.