

**Dissertationsthema:** Entwicklung intelligenter, robuster und nichtlinearer Modelle in der dynamischen Äquivalentierung für elektrische Verbundsysteme

**Bearbeiter:** Dipl.-Ing. Oscar Clovis Yucra Lino

---

Die Untersuchung des dynamischen Verhaltens komplexer Energiesysteme erfordert die Benutzung dynamischer Äquivalente, die sowohl einen enormen Rechenaufwand als auch die Weitergabe unternehmensspezifischer Daten an einen Eigennetzbetreiber im Sinne der fortschreitenden Liberalisierung des Energiemarktes bei der Berechnung des Netzes vermeiden. Äquivalenten werden benutzt als Basismodell für Netzersatzanlagen, die für die Notstromversorgung eingesetzt werden können und für die Gestaltung optimaler Netzführung und Netzplanung nach technischen, ökonomischen, ökologischen und rechtlichen Gesichtspunkten.

Will ein Netzbetreiber Simulationen seines eigenen Netzes durchführen, so ist es erforderlich, das komplette Netz in seiner Simulation zu berücksichtigen. Eine so genaue Simulation ist jedoch nicht praktikabel und keineswegs notwendig, weil weit entfernt liegende Teilnetze (Fremdnetz) nur einen geringfügigen Einfluss auf das Verhalten des Eigennetzes bewirken. Im Rahmen der Vereinfachung des Fremdnetzsystems wird ein Ersatznetz durch die dynamische Äquivalentierungsprozedur als vereinfachtes nichtlineares Modell generiert, das das Fremdnetz statisch und dynamisch unabhängig vom Kurzschluß- und Lastflußvorgang nachbilden muss.

Die traditionelle Äquivalentierung lässt sich in folgende Teilaufgaben unterteilen: (i) Identifikation kohärenter Generatoren bei den in Frage kommenden Schalthandlungen, (ii) Zusammenfassung von Generatoren zu einem aggregierten Modell, (iii) statische Netzwerkreduktion und (iv) Bestimmung von Ersatzreglermodellen.

Im Rahmen dieser Dissertation werden folgende Ansätze eingeführt und verifiziert:

- Ein Ähnlichkeitserkennungskonzept basierend auf der Anwendung von Standardalgorithmen der Mustererkennung (K-means, hierarchische Clusterung, Fuzzy-Clusterung und selbstorganisierende Karten auf der Basis von nicht-überwachten neuronalen Netzen) wird als Alternative zur Kohärenzidentifikation dargestellt. Das Ziel dieses Ansatzes besteht darin, das nichtlineare Maschinenverhalten als zeitabhängiger Schwingungsverlauf besser durch die Identität im Sinne von Amplitude- und Phasengleichheit nachzubilden und zu approximieren. Eine Verbesserung der Genauigkeit der dynamischen Äquivalenten lässt sich durch die Einführung eines elektromechanischen Distanzmaßes in den Clusterungsprozessen realisieren.
- Weiterhin wird auch ein innovatives Aggregationskonzept präsentiert, bei dem alle Fremdnetzgeneratoren zur Bildung „fiktiver“ Generatormodelle in Erwägung gezogen werden. Das Ziel dieses Ansatzes besteht darin, dass das Lastfluss- oder Kurzschlussverhalten der Ersatzmaschine bezüglich des Originals exakt erhalten bleiben muß. Dieser Ansatz besteht hauptsächlich aus einer neuartigen Aufteilungsstrategie (Splittingtechnik) der Fremdnetzgeneratoren durch die Hauptkomponentenanalyse oder die Fuzzy-Theorie. Diese aggregierten Maschinen entsprechen einem elektromechanischen Modell mit physikalischer Struktur.
- Ein weiterer Schwerpunkt ist die Nachbildung des linearen und nichtlinearen Verhaltens des Fremdnetzes mit Hilfe eines künstlichen dynamischen neuronalen Netzes (KDNN) als dynamisches Äquivalent. Dieser neue Ansatz ermöglicht gegenüber der konventionellen Äquivalentierung die Realisierung der o.g. Teilaufgaben durch das KDNN unter Berücksichtigung eines angebrachten Trainingsablaufs. Das Ersatznetz mit lokal verteilter Dynamik wird so entwickelt, ohne dass der Betreiber des Fremdnetzes betriebsspezifische Daten über sein Netz an Verbundenergiepartnern liefern muß und dieses kann alle Facetten des dynamischen Verhaltens des Fremdnetzes auch unter allgemeinen Lastflussänderungen nachbilden.

Die Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Ansätze und ihre technische Implementierung werden an praxisbezogenen Beispielen von Testnetzen und des europäischen Verbundnetzes UCTE/CENTREL nachgewiesen.