

- **Vorhersage und Minderung von Problemen der Strom- und Spannungsqualität durch Einsatz von künstlicher Intelligenz**

M.Sc. Adrian Eisenmann

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. K. Rudion

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. Bin Yang

Universität Stuttgart

Tag der mündlichen Prüfung:

21.03.2023

Nichtlineare Eigenschaften moderner Netzelemente sowie eine veränderte Impedanzcharakteristik in modernen Stromnetzen stellen eine zunehmende Herausforderung für Netz- und Anlagenbetreiber dar. Neue Verfahren zur Regelung der Spannungsqualität sind erforderlich, um das Stabilitätsniveau von Netzen mit einer hohen Durchdringung aktiv gesteuerter, leistungselektronischer Anwendungen aufrechtzuerhalten. Der vorgeschlagene Algorithmus bietet einen datengetriebenen Ansatz für die Vorhersage kritischer Netzzustände, ohne dass detaillierte Informationen der zugrunde liegenden Infrastruktur erforderlich sind. Darüber hinaus wird eine Methodik vorgestellt, die etablierte Netzfilter potentiell durch intelligente Steuerung der netzhärenten Flexibilitäten ergänzen oder ersetzen kann. Das erweiterte Prädiktionsmodell zur Vorhersage von Spannungsqualitätsproblemen baut auf interdisziplinäre Speicherkonzepte, um adaptierte Gedächtnismuster mittels Methoden der künstlichen Intelligenz zu synthetisieren. Die Hebung des Potentials großer, historischer Datensätze ermöglicht die Steigerung der Genauigkeit des entwickelten Modells für Zeitreihenregression. Daneben wird eine aktive Lastmanagementmethode zur Verbesserung der Spannungsqualität moderner Stromnetze, die durch ein hohes Maß an Flexibilität und Kommunikativität zwischen den Netzelementen definiert sind, vorgestellt. Diese neuen Freiheitsgrade ermöglichen neuartige Verfahren zur Verbesserung des Netzzustands. Ein erweiterter, genetischer Algorithmus zur intelligenten Betriebsplanung aktiv gesteuerter Lasten bildet dabei die Basis der Netzoptimierung. Die Zielfunktion schränkt hierbei die Komplexität des adressierten Optimierungsproblems hoher Kardinalität durch Übersetzung der multiplen Fitnessfunktionen des genetischen Algorithmus in ein Minimierungsproblem ein. Damit können mehrere, gegenläufige Ziele adressiert werden, um die Pareto Menge im Lösungsraum durch Anwendung des elitären, non-dominated NSGA-II-Algorithmus zu identifizieren. Eine Fallstudie zeigt die Anwendung auf ein vereinfachtes Industrienetz mit fünf aktiv gesteuerten Lasten, wodurch die harmonischen Verzerrungen gesenkt und gleichzeitig die Produktivität des zugrundeliegenden Industrieprozesses aufrechterhalten werden kann. Probleme wie vorzeitige Alterung von Komponenten, Fehlverhalten angeschlossener

Messeinrichtungen und Steuerungen sowie die Reduzierung von Verlusten durch Minimierung von Spannungs- und Stromverzerrungen können daher mittels der vorgeschlagenen Ansätze adressiert werden.

- **Artificial Intelligence supported Power Quality Prediction and Mitigation**

Nonlinear characteristics of modern grid elements as well as a noticeable divergence of the impedance characteristics in modern electrical grids are rising as a major challenge for grid and plant operators. New forms of power quality management are needed to sustain the common stability level for grids with a high penetration of actively controlled power electronic applications. The proposed algorithm therefore provides a fully data driven approach for the prediction of critical grid states due to poor power quality without the need for detailed infrastructural information, which is oftentimes unavailable. Apart from that, a methodology with the potential to complement or even substitute conventional filter measures is presented to mitigate the grid disturbances via smart demand-side-integration by using the grid inherent flexibilities via smart operation of the grid elements. The main concept of the enhanced prediction algorithm is to synthesize memory techniques derived from interdisciplinary concepts into artificial intelligence methods to overcome the constraint of a limited data space in the history window of the applied deep learning prediction model. Memory patterns adapted from multiple fields of research are combined and transferred to artificial intelligence-based methods to enable long-term consideration of information in form of a nonvolatile memory model to further enhance the accuracy of the developed time series regression. Alongside, a power quality mitigation method via smart demand-side-management is presented to deploy an active measure for improving the state of modern electrical grids, defined by a high level of interaction and communication between the grid elements. The approach is based on a genetic algorithm guided optimization for smart operational planning of actively controlled loads. The objective function narrows down the complexity of the addressed high cardinality optimization problem by translating the fitness functions of the genetic algorithm into a minimization problem, thus addressing multiple, even competing objectives to find the Pareto optimal frontier in the solution space by applying the elitist, non-dominated NSGA-II algorithm. A case study displays the application to a simplified industrial grid with five actively controlled machines, lowering the harmonic distortion levels while maintaining the productivity of the fundamental industrial process. Problems such as premature ageing of components, faulty behaviour of connected measurement and control units as well as the reduction of losses by minimisation of voltage and current distortion can therefore be addressed by the proposed approaches, thus increasing the power quality in the electrical grid.