

- **Automatisierte Betriebsführung von HGÜ-Verbindungen in einem synchronen Verbundsystem**

Dipl.-Ing. Katharina Frey

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. habil. K. Rudion

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. Dirk Westermann

TU Ilmenau

Tag der mündlichen Prüfung:

27.07.2017

Der Ausbau des Übertragungsnetzes im Zuge der Energiewende beinhaltet den Bau mehrerer HGÜ-Verbindungen vom Norden Deutschlands in den Süden. Im Gegensatz zu Drehstromleitungen kann der Leistungsfluss der HGÜ-Verbindung direkt vorgegeben werden. Deshalb wird in dieser Arbeit der automatisierte Betrieb der HGÜ-Verbindungen untersucht, die sich innerhalb eines synchronen Verbundsystems befinden.

Zunächst wurden vier Einzelkonzepte entwickelt, die unterschiedliche Zielfunktionen umsetzen. Ein Konzept minimiert die Auslastung im AC-Netz. Ein weiteres Konzept entlastet gezielt einzelne AC-Leitungen, falls es zu Überlastungen kommt. Das dritte Konzept optimiert die Betriebskosten, indem die Übertragungsverluste minimiert werden und das vierte Konzept beeinflusst den Leistungsfluss über die Kuppelleitungen, um Übertragungskapazität für den Strommarkt bereit zu stellen. Während des Netzbetriebs soll das Betriebsführungskonzept automatisiert die Zielfunktion anpassen. Deshalb werden im zweiten Schritt ganzheitliche Betriebsführungskonzepte entwickelt, die sowohl die Auslastung der AC-Leitungen begrenzen, als auch die Verluste minimieren. Das erste Konzept „Leistungsband mit Fahrplan“ basiert auf einem Referenzfahrplan und beinhaltet auch das Einzelkonzept zur Minimierung der

Verluste. Das zweite ganzheitliche Konzept „Leistungsband mit minimaler und maximaler Leistung“ verwendet ebenfalls ein Leistungsband, dieses wird jedoch in Abhängigkeit des aktuellen Netzzustandes ermittelt. Das dritte Konzept „Winkeldifferenz Gewichtungsfaktoren“ verknüpft die beiden Konzepte zur Minimierung der Auslastung des AC-Netzes und zur Minimierung der Verluste über Gewichtungsfaktoren.

Die entwickelten Konzepte werden anhand einer Netzstudie an einem aggregierten deutschen Netzmodell des Jahres 2024 durchgeführt. Die dazugehörigen stündlichen Eingangsdaten der Erzeugung und Last werden mithilfe einer Kraftwerkseinsatzplanung berechnet. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Netzstudie mithilfe von Indizes bezüglich der Leitungsauslastung, der Verlustminimierung, der notwendigen Informationen, den notwendigen Netzberechnungen und ihrer Transparenz bewertet. Hierbei zeigt sich, dass das Konzept „Leistungsband mit minimaler und maximaler Leistung“ und das Konzept „Winkeldifferenz Gewichtungsfaktoren“ sehr gut auf Änderungen im Netz reagieren. Das Konzept „Leistungsband mit Fahrplan“ setzt dagegen die Verlustminimierung besser um. Die wenigsten Eingangsdaten und Netzberechnungen benötigt das Konzept „Winkeldifferenz Gewichtungsfaktoren“.

- **Automated Control of HVDC Connections Embedded in a Synchronous Network**

Dipl.-Ing. Katharina Frey

The expansion of the German transmission network in the course of the energy turnaround involves the construction of several HVDC connections from the north of Germany to the south. In contrast to three-phase lines, the system operator can set the power flow of the HVDC connection directly. Therefore, this work investigates the automated operation of the HVDC links, which are embedded in a synchronous network.

At first, four individual concepts were developed which implement different target functions. One concept minimizes the loading in the AC grid. A second concept relieves specific AC lines in the case they are overloaded. The third concept optimizes operating costs by minimizing transmission losses and the fourth concept influences the power flow over the interconnecting lines of two grid regions to provide transmission capacity for the electricity market.

During the grid operation, the operational management concept should automatically adapt to the target function. Therefore, in the second step, holistic management concepts are developed, which limit both the loading of the AC lines as well as minimize the losses. The first concept "Leistungsband mit Fahrplan" is based on a reference timetable and also includes the individual concept for minimizing the losses. The second holistic concept "Leistungsband mit minimaler und maximaler Leistung" also uses a power band, but this is determined depending on the current grid state. The

third concept "Winkeldifferenz Gewichtungsfaktoren " links the two concepts for minimizing the loading of the AC grid and minimizing the losses via weighting factors.

The developed concepts are carried out on the basis of a network study on an aggregated German network model of the year 2024. The corresponding hourly input data for the generation and the load are calculated with a unit commitment and dispatch algorithm. Subsequently, the results of the network study are evaluated using indices regarding line loading, loss minimization, the necessary information, the necessary network calculations and their transparency. The concept "Leistungsband mit minimaler und maximaler Leistung" and the concept "Winkeldifferenz Gewichtungsfaktoren" react very well to changes in the network. On the other hand, the concept "Leistungsband mit Fahrplan" better implements loss minimization. The concept of "Winkeldifferenz Gewichtungsfaktoren" requires the least amount of input data and network calculations.