

Masterthesis

Konzeptevaluation eines aktiven Filters für Stromoberwellen in Hochspannungsnetzen

Diplomand



Sascha Koch

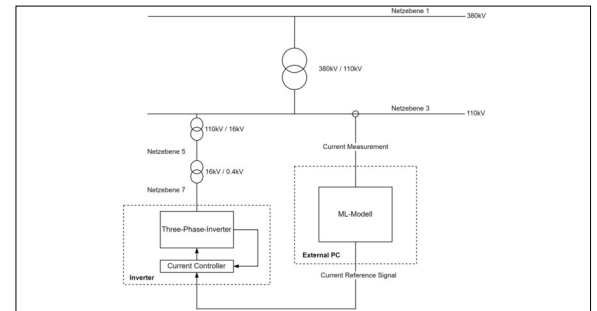
Ausgangslage: Aufgrund steigender Anzahl an Geräten und Maschinen mit nichtlinearem Verhalten im Stromnetz, nehmen die Oberwellen von Strom und Spannung im Netz langsam, aber stetig zu. Dies, obwohl die Anforderungen an netzgebundene Geräte genormt sind. Auf der Netzebene 7 ($< 1 \text{ kV}$) werden heute schon aktive Filter eingesetzt, welche diese Oberwellen kompensieren können. Hingegen auf Netzebene 3 (36 – 150 kV) werden hauptsächlich passive Filter verwendet, um die harmonischen Störungen zu reduzieren. Der Grund dafür sind die hohen Spannungen, die den Einsatz schneller Schaltertechnologien verhindern sowie die unbekannte und sich ändernde Netzimpedanz, die eine Regelung stark erschwert. Diese Masterarbeit beschäftigte sich damit, ein Konzept zu finden, welches es ermöglicht, Stromoberwellen auf Netzebene 3 aktiv zu kompensieren. Das gewählte System muss unabhängig von der Netzimpedanz funktionieren, damit es universell einsetzbar ist.

Vorgehen: Die Konzeptidee gründet auf einem Inverter, der auf der Nieder- oder Mittelspannungsebene realisiert wird. Die Ausgangsspannung wird mithilfe eines Transformators auf NE 3 hochtransformiert. Aufgrund der Erkenntnis, dass keine Echtzeitregelung möglich ist, wurde das System mit einem Machine Learning Modell erweitert. Dieses Modell schätzt in einer langsamen Regelschleife (1 Hz) die benötigte Kompensation zur Auslöschung der Stromoberwellen. Es wurde ein Testaufbau mit einem Inverter-Prototyp auf Niederspannung aufgebaut, damit das System realitätsnah getestet werden konnte. Der Inverter setzt ein Design voraus, das es ermöglicht die Frequenzen der Oberwellen zuverlässig zu regeln. Dazu wurde eine Three-Phase-Bridge mit LCL-Filter aufgebaut. Der LCL-Ausgangsfilter entkoppelt das System vom Stromnetz. Für die Regelung wurde die Kombination aus einem PI mit mehreren parallelen PR-Reglern verwendet. Diese Regelung eignete sich besonders, da es möglich war, die LCL-Resonanz ausreichend zu dämpfen und gleichzeitig eine hohe Verstärkung bei den gewünschten Frequenzen zu erreichen. Für das Machine Learning Modell wurde ein Gaußscher Prozess mit Bayesian Optimization verwendet. Dieser Algorithmus ermöglicht es, mit einer kleinstmöglichen Anzahl an Schätzungen das Minimum einer unbekannteren mehrdimensionalen Funktion zu finden. Diese Eigenschaft wurde genutzt, um die benötigte Amplitude und Phase zur Kompensation der Oberwellen zu schätzen. Das System konnte in zwei Testszenarien geprüft und ausgewertet werden.

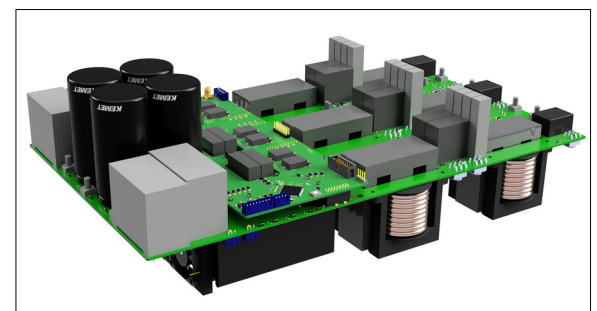
Ergebnis: Die Ergebnisse der Messungen zeigen, dass das vorgeschlagene System funktioniert und zur Stromoberwellenkompensation verwendet werden kann. Das System benötigt im Durchschnitt rund 40 Schätzungen, bis eine nahezu vollständige

Kompensation von mehreren harmonischen Schwingungen erreichen werden kann. Es wurde festgestellt, dass die Performance des Algorithmus sehr stark auf kleine Parameteränderungen reagiert und darauf angewiesen ist, dass die aktuelle Netzfrequenz und Phasenlage der Grundfrequenz bekannt sind. Ohne diese Größen kann kein konstantes Modell geschätzt werden. Aufgrund der laufenden Modellierung kann das System innerhalb kürzester Zeit auf Veränderungen in den Oberwellen reagieren. Die Ergebnisse dieser Masterarbeit eröffnen die Möglichkeit, dieses Konzept in Folgeprojekten weiterzuentwickeln.

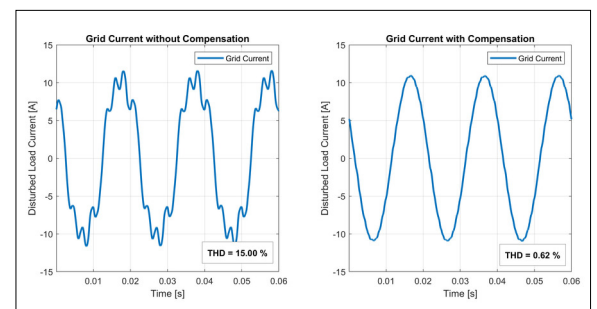
Skizze des erarbeiteten Gesamtsystems mit einem Machine Learning Modell zur Schätzung der benötigten Kompensation
Eigene Darstellung



Entwickelte Inverter-Hardware zum Test des Gesamtsystems
Eigene Darstellung



Im Testsystem gemessener Strom vor und nach der Kompensation
Eigene Darstellung



Referent
Simon Nigsch

Korreferent
Ralf Negele, Negal
Engineering AG

Themengebiet
Electrical Engineering,
Energy & Environment