

- **Fingerprint Approach for the Characterization and Mitigation of Supraharmonic Distortion from Electric Vehicles**

M.Sc. Tim Streubel

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. K. Rudion

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. habil. Hofmann

IFES Hannover

Tag der mündlichen Prüfung:

13.05.2022

Im Rahmen der Arbeit wurden Unterbrechungen des Ladevorgangs von Elektrofahrzeugen festgestellt, während die Spannungsqualität innerhalb der normativen Grenzen lag. Dies deutet darauf hin, dass eine niedrige Spannungsqualität ein erhebliches Risiko für die erfolgreiche Integration von Elektrofahrzeugen in die Verteilungsnetze darstellen könnte. Insbesondere die von modernen leistungselektronischen Anwendungen erzeugten höherfrequenten Oberschwingungen, im Bereich von 2 bis 150 kHz (Supraharmonische) geben in der Wissenschaft und bei der Normung Anlass zur Sorge. Es gibt nur begrenzte Kenntnisse und Erfahrungen über das Langzeitverhalten von Supraharmonischen in der Praxis. Die Hauptgründe dafür sind das Fehlen geeigneter Messgeräte und Analysemethoden, die in der Lage sind, die großen Mengen an erzeugten Daten effizient zu verarbeiten.

In dieser Arbeit wird ein neuer Überwachungsansatz für die kontinuierliche Langzeitmessung und Charakterisierung von Supraharmonischen im Feld präsentiert. Das Hauptkonzept des Ansatzes besteht darin, die Daten lokal auf den Messgeräten zu verarbeiten und nur ausgewählte und komprimierte Ergebnisse an den Überwachungsserver zu senden. Algorithmen zur Erkennung von Ereignissen ermöglichten es den Messgeräten, Messabschnitte zu extrahieren, die unerwartete Änderungen im supraharmonischen Spektrum enthielten. Dies lieferte wichtige Merkmale von Verzerrungsquellen im Zeit- und Frequenzbereich. Darüber hinaus wurde auf den Messgeräten ein Fingerabdruck-Datenbankansatz implementiert, mit dem wiederkehrende supraharmonische Muster identifiziert, wiedererkannt und gespeichert werden können. Dieser Ansatz ermöglichte es, Messungen an bestehende Fingerabdrücke anzuhängen und eine detailliertere statistische Darstellung der Verzerrungseigenschaften der Quellen zu erstellen. Das Überwachungssystem wurde an drei verschiedenen Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge eingesetzt und validiert. Die Spannungsqualität lag an allen überwachten Standorten innerhalb der normativen Grenzen. Es wurden jedoch hohe Neutralströme aufgrund der ungleichen Belastung von Elektrofahrzeugen und eine große Anzahl von Transienten beobachtet. Die hochfrequente Verzerrung variierte erheblich zwischen den Standorten und wurde hauptsächlich durch die Hintergrundverzerrung und die Anzahl der angeschlossenen Fahrzeuge beeinflusst.

Mit dem implementierten Fingerprint-Charakterisierungsansatz wurden unbeabsichtigte Ladeunterbrechungen erkannt und die betroffenen und verantwortlichen Fahrzeuge identifiziert. Schließlich wurde ein aktiver Minderungsansatz implementiert und an einem Ladestandort validiert. Der Ansatz ist in der Lage, harmonische Verzerrungen zu reduzieren und Störungen im Ladeprozess zu verhindern.

- **Fingerprint Approach for the Characterization and Mitigation of Supraharmonic Distortion from Electric Vehicles**

M.Sc. Tim Streubel

In the frame of this thesis, unintended interruptions of electric vehicle charging processes were detected while the power quality was within normative limits. This indicates that poor power quality could impose a significant risk for the successful integration of electric vehicles into the distribution grids. Particularly higher frequency harmonics in the range from 2 to 150 kHz (Supraharmonics), generated by modern power electronic applications, raise concerns among the scientific and standard setting communities. There is limited knowledge and experience about the long-term behavior of Supraharmonics in the field. The main reasons are the lack of suitable measurement equipment and data analysis methods, able to overcome the challenge of processing the large amounts of generated data in an efficient manner.

This thesis proposes a new monitoring approach for the continuous long-term measurement and characterization of Supraharmonics, which are rarely measured in the field. The main concept of the approach is to process the data locally on the meters and to only send selected and compressed results to the monitoring server. Event detection algorithms enabled the meters to extract measurement segments, containing unexpected changes within the Supraharmonic spectrum. This provided important characteristics of distortion sources in time and frequency domain. Moreover, a fingerprint database approach was implemented on the measurement devices with the ability to identifying, re-identifying and memorizing reoccurring Supraharmonic patterns. This approach allowed appending measurements to existing fingerprints and enabled a more detailed statistical representation of the source's distortion characteristics. With the fingerprint database, a detailed analysis and decomposition of Supraharmonic patterns into their corresponding sources was possible.

The monitoring system was deployed and validated at three different electric vehicle charging infrastructures. The power quality was within acceptable limits at all monitored sites. However, high neutral currents due to the unbalanced charging of EVs and large numbers of switching transients were observed. The Supraharmonic

distortion varied significantly between the sites and was mainly influenced by the background distortion and number of connected vehicles. With the implemented fingerprint characterization approach unintended charging interruptions were detected and the affected and responsible vehicles identified. Finally, an active mitigation approach was implemented and validated at an EV charging site. The approach is able to reduce harmonic distortion levels and prevent charge process disturbances.