

Simulation des Einflusses von Oberschwingungen auf die Spannungsqualität und Übertragungsverluste

Benjamin Jacobsen ^{1*}

¹ Professur für Energie- und Hochspannungstechnik, Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Straße 70, 09126 Chemnitz, Deutschland; *benjamin.jacobsen@etit.tu-chemnitz

Extended Abstract

1 Motivation

Die Versorgung mit elektrischer Energie ist eine Grundsäule für die Aufrechterhaltung der Wertschöpfung sowie der Innovationskraft von Industrienationen und ist damit von entscheidender Bedeutung [1]. Die Güte bzw. Unterbrechungsfreiheit der Elektroenergieversorgung wird mit dem Begriff der Versorgungszuverlässigkeit beschrieben. Dieser Begriff setzt sich aus verschiedenen Kennzahlen zusammen und ist nicht eindeutig definiert. Krämer und Westermann zeigen eine originelle und schlüssige Aufteilung der Versorgungszuverlässigkeit in Netzzuverlässigkeit und Spannungsqualität (als Produktqualität benannt) [2]. Bei der Recherche in anderen Quellen sowie bei den Bestandteilen der Netzzuverlässigkeit selbst nimmt die Spannungsqualität immer wieder eine entscheidende Rolle ein. Damit kann geschlossen werden, dass die Spannungsqualität eine elementare Grundlage zur Aufrechterhaltung der Versorgung mit elektrischer Energie ist [3]. Simulationen im Bereich der Spannungsqualität sind aufgrund fehlender Grundlagen und Methoden in der Regel nur vereinzelt zu finden. Dazu kommt das weit gefächerte Verständnis am Begriff der Spannungsqualität. Am besten lässt sich der Inhalt nach den Regeln entsprechend der DIN EN 50160 beschreiben, indem unter der Spannungsqualität die Parameter (u.a. Spannungshöhe und Oberschwingungsspannungsgehalt) der tatsächlichen Versorgungsspannung subsumiert werden. Innerhalb der genannten Norm werden wiederum für alle Parameter Grenz- und Sollwerte aber auch mögliche Ausnahmen definiert. Es handelt sich demnach bei der Spannungsqualität um ein Konglomerat an verschiedenen Parametern zur Beschreibung der sinusförmigen Wechselspannung. Einen weiteren Ansatz zur Beschreibung der Spannungs-

qualität leistet die englische Übersetzung. In der Regel wird der deutsche Begriff entsprechend seiner Bedeutung mit „Power Quality“ übersetzt. Diese Translation geht auf den Umstand ein, dass es bei der Versorgung mit Elektrizität weniger um die Spannung (im Sinne eines elektrischen Potentials), als vielmehr um die damit zu verrichtende Arbeit bzw. die aus diesem Potential gewonnene Leistung geht.

2 Methodik

Mit einer Grundgleichung der Elektrotechnik wird ein direkter Zusammenhang zwischen der normierten Spannung und der eigentlich benötigten Leistung hergestellt.

$$P = \frac{U^2}{R}$$

P ... elektrischer Leistung in Watt
U ... elektrisches Potential (Spannung) in Volt
R ... ohmscher Widerstand in Ohm

Der Widerstand wird in der Regel durch das Netz vorgegeben und ist damit nicht beeinflussbar, somit bleibt zunächst nur eine Beeinflussung der Spannung um die geforderte Leistung erbringen zu können. Es zeigt sich, dass die Bewertung der Netzspannung zur Gewährleistung der Bereitstellung elektrischer Leistung bzw. (wenn das Integral der Leistung über die Zeit gebildet wird) elektrischer Energie genügt. Bei der eigentlichen Bewertung der Spannungsqualität und einer daraus folgenden Simulation für verschiedene Netz- und Lastsituationen bilden sich nun hauptsächlich zwei Herausforderungen. Die erste besteht in der Schlussfolgerung der Güte der Spannungsqualität aus den einzelnen Parametern. Es existiert bisher noch keine Methodik, mit welcher die Spannungsqualität als einheitlicher Parameter (beispielsweise mit einem Wertebereich zwischen 0 und 1) bestimmt werden kann. Die Herausforderungen, die sich daraus ergeben wurden unter anderem von

Jasinski et al aufgezeigt [4]. Elphick et al haben gezeigt, wie schwer allein die messtechnische Erfassung und Bewertung der einzelnen Parameter der Spannungsqualität in Gänze ist [5]. Nourollah und Moallem haben sich (wie schon einige vor ihnen) darum bemüht eine Methode zur Zusammenfassung der Spannungsqualität in einer Kennzahl zu ermöglichen [6]. Alle diese Bemühungen habe gezeigt, dass die Spannungsqualität eine zu individuelle Kennzahl ist, als sie universell beschreiben zu können. Hierbei handelt es sich um ein Spezialproblem, welches in weiteren Veröffentlichung diskutiert und bearbeitet wird. Die zweite Herausforderung liegt in der Bewertung der einzelnen Parameter im Hinblick auf die Spannungsqualität. Um diesen Einfluss simulativ nachgehen zu können, sollte zunächst mit nur einem Parameter gearbeitet werden. Die Wahl hierfür fällt auf den Oberschwingungsgehalt, das hat vor allem zwei Gründe. Zum einen existiert für die Leistung- bzw. Energie zur Kompensation von Oberschwingungsspannungen (THD – Total Harmonic Distortion) bisweilen noch kein Markt (anders bei Regelleistung zur Frequenzhaltung oder Blindleistung zur Regulierung des Phasenwinkels), der bei der Simulation beachtet werden müsste. Weiterhin handelt es sich um ein eher lokales Phänomen, welches sich nicht netzweit (das bedeutet nicht nur innerhalb eines Netzabschnittes / einer Leitung) ausbreiten kann. Die Herausforderung bei der Simulation von Oberschwingungsspannungen besteht demnach hauptsächlich in der Simulation der Auswirkungen von Oberschwingungsströmen in lokalen Netzen. Quellen von Oberschwingungen (die vor allem durch Leistungselektronik dargestellt werden), senden keine Oberschwingungsspannungen aus. Durch ihre eher getaktete Leistungsaufnahme verursachen sie Oberschwingungsströme, die sich erst durch die Netzimpedanz zu Oberschwingungsspannungen ausbilden.

3 Ergebnisse

Ein Ansatz zur Bewertung des Einflusses von Oberschwingungen (und später auch von weiteren Parametern) auf eine mögliche zusammengefasste – universelle Spannungsqualitätskennzahl ist die Simulation der nötigen Energie zur Kompensation der Störbeeinflussung. Die Bewertung des Einflusses von Oberschwingungen auf die Spannungsqualität wird in einem ersten Schritt durch den Vergleich der Oberschwingungsverluste mit den Gesamtnetzverlusten realisiert. Die Simulation der Werte auf dieser Grundlage hat den Vorteil, dass zunächst besser beurteilt werden kann, in welchem Umfang eine Kompensation erforderlich bzw. sinnvoll ist, bevor nähere Kenntnis

zu einem (einheitlichen) Spannungsqualitätskennwert vorliegen.

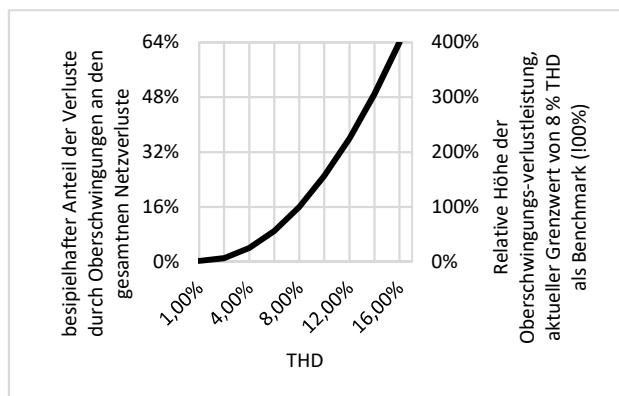


Abbildung 1: Abhängigkeit der Netzverluste vom Oberschwingungsgehalt (THD)

Abbildung 1 zeigt deutlich ein quadratisches Wachstum der Verluste durch Oberschwingungen bei zunehmender Oberschwingungsspannung. Es wird zum einen deutlich, dass die Art (bei Oberschwingungen als relative Größe in % der Nennspannung) sowie die Höhe (hier 8 %) der in der Norm vorgegebenen Grenzwerte nicht zu kritisieren sind. Des Weiteren kann deutlich erkannt werden, dass im unteren einstelligen Prozentbereich keine hohe Relevanz zur Kompensation von Oberschwingungen vorliegt. Anders ab einem zweistelligen THD-Gehalt, hier ist mit einer signifikanten Erhöhung der Netzverluste durch Oberschwingungen zu rechnen und es sollte zu einer Kompensation kommen.

4 Ausblick und Diskussion

Ziel weiterer Untersuchungen muss es sein, diese Erkenntnisse so zu verarbeiten, dass daraus Regelalgorithmen simuliert werden können. Dazu werden technische Möglichkeiten zur Kompensation der Oberschwingungen simuliert. Die Anlagen werden mit ihren Parametern darauffolgend in Beispielnetzen eingebracht. Anhand verschiedener Szenarien wird simulativ bestimmt, ob eine zentrale oder dezentrale Strategie bei der Kompensation verfolgt werden sollte. Eine dezentrale Kompensation könnte so weit reichen, dass an jedem Netzanschlusspunkt (beispielsweise jeder Hausanschluss) eine entsprechende Anlage zur Kompensation von Störbeeinflussungen installiert wird. Dezentrale Ansätze hingegen würden eine Kompensation beispielsweise an der nächsten Ortsnetzstation oder erst am nächsten Umspannwerk vorsehen. Zusammenfassend handelt es sich bei der Auslegung der richtigen Kompensationsstrategie um ein typisches Optimierungsproblem. Die Summe aus

Aufwand für die Kompensation und den Netzverlusten soll ein Minimum erreichen. Um dieses Optimum universell generieren zu können, soll ein Simulationstool geschaffen werden, welches in der Lage sein soll die optimale Oberschwingungskompensationsstrategie zu finden. Weiterführend soll diese Software für weitere Parameter der Spannungsqualität ausgebaut werden, was langfristig zu einer Minderung der Übertragungsverluste, sowie einer bedarfsgerechten Erhöhung der Spannungsqualität und einer höheren Versorgungszuverlässigkeit beiträgt.

Referenzen

- [1] Schwab A. J. Elektroenergiesysteme: Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie, 5th ed. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-55316-9>
- [2] Krämer M. and Westermann R. "Die Qualitätsregulierung im Strombereich aus der Perspektive großstädtischer Verteilnetzbetreiber," in Energiewirtschaftliche Tagesfragen, pp. 16–19.
- [3] Böske J. Zur Ökonomie der Versorgungssicherheit in der Energiewirtschaft. Zugl.: Münster (Westf.), Univ., Diss., 2007. Berlin: Lit, 2007. [Online]. Available: www.gbv.de/dms/zbw/547565976.pdf
- [4] Jasinski M. Sikorski T., Kostvla P., and Borkowski K., "Global power quality indices for assessment of multipoint Power quality measurements," in ECAI 2018 - International Conference – 10th Edition.
- [5] Elphick S. Ciufu P., Drury G., Smith V., Perera S., and Gosbell V., "Large Scale Proactive Power-Quality Monitoring: An Example From Australia," in IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 32, NO. 2, APRIL 2017, pp. 881–889.
- [6] Nourollah S. and Moallem M. "A data mining method for obtaining global power quality index," in pp. 1–7.

Die vorgestellte Forschung wurde durch das Projekt GRIDS – Grüne Energie in industriellen Verbänden unterstützt

