Power Quality

Power Quality unter der Lupe

Der Wandel bei Erzeugern und Verbrauchern

Der Wandel in der Erzeuger- und Verbraucherstruktur der mitteleuropäischen Elektroenergienetze ist in vollem Gange. Großkraftwerke, die eine zentralisierte Elektroenergieerzeugung darstellen, werden Zug um Zug durch zahlreiche, dafür kleinere, dezentrale Erzeuger wie Windenergie- oder Photovoltaikanlagen ersetzt. Selbige speisen in der Regel mithilfe von leistungselektronischen Komponenten in die bestehenden Mittelspannungs- und Niederspannungsnetze ein.

Auf der anderen Seite gibt es immer mehr Verbraucher auf dem Markt, in denen im Rahmen der Energieeffizienzsteigerung ebenfalls leistungselektronische Elemente verbaut sind. Deren nichtlineare Eigenschaft ist die Hauptursache von höherfrequenten Spannungs- und Stromsignalkomponenten in Elektroenergienetzen.

Aus dieser Entwicklung resultiert ein komplexes System mit volatilen Lastflüssen und wechselnden Lastflussrichtungen. Darüber hinaus wird durch das gesetzlich vorgeschriebene Unbundling von Erzeugung, Übertragung und Verteilung das Produkt Elektronenergie immer öfter zwischen den verschiedensten Marktteilnehmern übergeben und verrechnet. So kann der Strom, bevor er den Endkunden erreicht, von diversen Marktteilnehmern hergestellt und sogar mehrfach übergeben worden sein.

Diese Struktur erfordert zahlreiche Übergabe- und Verrechnungsstellen, die hinsichtlich der Gewährleistung der Spannungsqualität neuralgische Punkte darstellen.

Sonderdruck

Auswirkungen auf die Elektroenergienetze

Durch den massiven Einsatz von Leistungselektronik in dezentralen Erzeugungsanlagen und Verdrängung ohmscher Verbraucher durch leistungselektronische Komponenten ist der Anteil störender Netzrückwirkungen wie Flicker und Oberschwingungen in den letzten Jahren stark gestiegen. So liegen die Taktfrequenzen der Leistungselektronik von Windenergieanlagen bei ca. 2 - 4 kHz, bei Solarwechselrichtern je nach Leistungsklasse bei bis zu 20 kHz.

Die Sicherstellung der Stromqualität am Übergabepunkt ist auf der Erzeuger- und Verbraucherseite wie auch auf der Verteilnetzseite in verschiedenen Normen genau geregelt (DIN EN 50160, VDE- AR-N 4120, IEC 61400-21 etc.) und bildet die Grundlage im Netzanschlussvertrag. Um Oberschwingungspegelund den THD - Faktor (Total Harmonic Distortion Factor) bestimmen zu können, sind sogenannte Power Quality Messgeräte (PQ) erforderlich. Sie ermitteln aus den gemessenen Spannungs- und Stromsignalen die Kenngrößen der Elektroenergiequalität. Desweiteren können diese Geräte bei der Störungsanalyse sehr hilfreich sein. Sie sind in der Lage, Oberschwingungen zu identifizieren, die auf elektronische Bauelemente störend einwirken und deren Lebensdauer erheblich verkürzen können.

Darüber hinaus besitzt jedes Elektroenergienetz Parallel- und Reihenresonanzen, die sich mit steigender Frequenz, beginnend mit einer Parallelresonanz, abwechseln. Oberschwingungen können diese Resonanzen anregen, die dann zu erheblichen Schäden führen können. Anhand von Praxiserfahrungen lässt sich abschätzen, dass die zuvor genannten Phänomene zukünftig verstärkt auftreten werden. Ein wesentlicher Grund hier für ist die Verringerung der ohmschen Lasten, d.h. der dämpfenden Elemente.

Auch das häufigere Auftreten höher frequenter Spannungs- und Stromsignalkomponenten mit größerer Amplitude ist Ursache für Resonanzerscheinungen. Er fahrungsgemäß liegen die Resonanzfrequenzen eines MS - Netzes deutlich niedriger als in einem Niederspannungsnetz. Dementsprechend können diese Resonanzen schon durch Oberschwingungen niedriger Ordnung angeregt werden. Gerade bei finanzintensiven Industrieanlagen können derartige Störungen extrem hohe Kosten verursachen.

Ein definiertes Übertragungsverhalten der installierten Strom- und Spannungswandler ist sowohl für die Fehlersuche als auch für eine Überwachung der Grenzwerte eine Grundvoraussetzung. Weiterhin sind nur vertrauenswürdige Messungen sowohl für Lieferanten als auch für Verbraucher die Basis, um Haftungsansprüche abzuwehren beziehungsweise geltend zu machen.

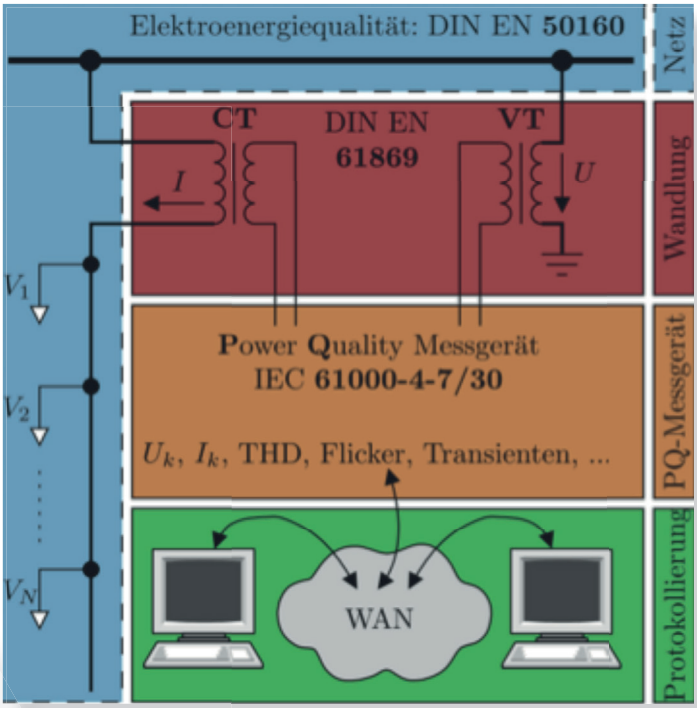

Bild 1: Für PQ-Messungen relevante Messkette

Messung der Elektroenergiequalität

Die neue Erzeuger- und Verbraucherstruktur bringt eine enorme Bedarfszunahme an Überwachungsmaßnahmen von Netzzuständen, insbesondere von PQ - Monitoringsystemen mit sich. Derzeit existieren Geräte am Markt, die höherfrequente Spannungs- und Stromkomponenten bis 20 kHz protokollieren.

Ein Ziel der PQ - Messungen ist die Überwachung der in der Norm EN 50160 angegebenen Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektroenergienetzen (insbesondere die Harmonischen). Für derartige Analysen ist die in Bild 1 angegebene Messkette relevant.

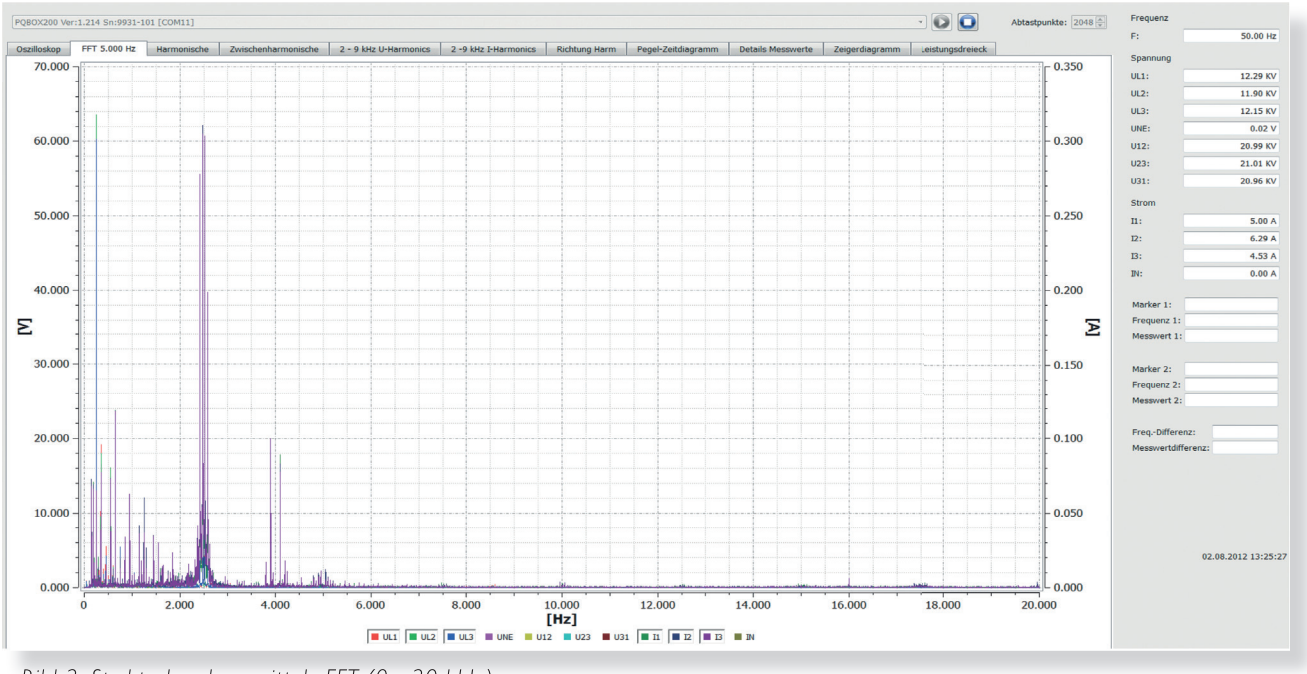

Bild 2: Spektralanalyse mittels FFT (0 - 20 kHz)

Relevante Messkette für PQ - Messungen

Grundsätzlich müssen Normmessgeräte gerichtsfeste und rückführbare Daten liefern. Daher beschreibt die Messgerätenorm IEC 61000-4-30 für Klasse A - Geräte vollständig die Aggregation und die Genauigkeit der Messdaten. Dem Hersteller bleiben nur wenige Freiheitsgrade. Messdaten von verschiedenen Herstellern werden somit vergleichbar. Die Genauigkeit der Messeingänge muss < 0,1 % liegen, die der Oberschwingungsmessung < 5 % betragen.

Beispiel: Liegt der Istwert der 49. Harmonischen bei 0,15 %, darf die maximale Abweichung vom Messgerät in diesem Fall lediglich maximal +/- 0,0075 % betragen.

Messwandler – das Bindeglied zwischen Elektroenergienetz und PQ - Messgerät

Das Bindeglied zwischen PQ - Messgerät und Elektroenergienetz ist die Wandlung der Strom- und Spannungssignale gemäß der Messkette in Bild 1. Oftmals werden hier für aber bedenkenlos herkömmliche Strom- und Spannungswandler verwendet, die lediglich nach der IEC 61869, d.h. für einen Betrieb bei Nennfrequenz, abgeprüft und freigegeben sind. Diese Norm greift das Frequenzübertragungsverhalten der Wandler bei Harmonischen höherer Ordnung nicht auf. Demnach bleibt die Frequenzabhängigkeit des Übersetzungsverhältnisses bisher unberücksichtigt.

In der Praxis wird dieser Zusammenhang häufig übersehen und der Wandler als idealer Übertrager angenommen und in die Messkette integriert. Dieses Vorgehen birgt aber große Unsicherheiten, da präzise Aussagen über das frequenzabhängige Übersetzungsverhältnis nur durch Spezialmessungen gewonnen werden können.

Das verdeutlicht auch Bild 2. Es zeigt das Ergebnis einer Spektralanalyse (0 - 20 kHz) von Spannungs- und Stromsignalen in einem 20 kV - Mittelspannungsnetz. An diesem Netz sind zwei Windenergieanlagen (WEA) unterschiedlicher Hersteller angeschlossen.

WEA 1 taktet mit 2,5 kHz und erzeugt entsprechende Seitenbänder. WEA 2 zeigt Rückwirkungen bei ca. 4 kHz. In der Auswertung sieht es nun so aus, als ob WEA 2 viel geringere Störpegel in das Elektroenergienetz emittiert. Da in diesem Fall die Messung mit herkömmlichen MS - Wandlern vorgenommen wurde, ist von einer Verfälschung der Sekundärsignale im Frequenzbereich 4 kHz auszugehen. Man kann keine Rückschlüsse mehr auf die reale Höhe der Spektralanteile in diesem Bereich ziehen.

Auch eine Korrektur der Messwerte basierend auf dem Frequenzübertragungsverhalten eines Wandlers ist in der Regel nicht möglich, da jeder Messwandler ein spezifisches Frequenzübertragungsverhalten besitzt. Dieses kann zudem noch von den jeweilig angeschlossenen Geräten beeinflusst werden. Niemand wird den Aufwand betreiben, einen vorhandenen Spannungswandler zusammen mit allen angeschlossenen Geräten, in einem Labor hinsichtlich des Frequenzübertragungsverhaltens prüfen zu lassen. Für WEA sowie alle anderen Einspeiseanlagen in das Nieder- und Mittelspannungsnetz gibt es bereits Grenzwerte für Harmonische bis 9 kHz.

Die Berechnungsverfahren für Spannungs- und Stromharmonische werden in der Norm IEC 61000-4-7 beschrieben. Im Frequenzbereich 2 - 9 kHz sind jeweils 200 Hz Bänder der FFT - Berechnung zusammengefasst. Angegeben ist jeweils die Mittelfrequenz des jeweiligen Bandes.

Im Beispiel in Bild 3 werden im Frequenz- band „2,5 kHz“ alle 5 Hz -S pektrallinien von 2.405 Hz bis 2.600 Hz zusammengefasst. Es entstehen für jeden Spannungs- und Stromeingang 35 Frequenzbänder im Bereich 2 - 9 kHz, welche die PQ - Messgeräte permanent überwachen.

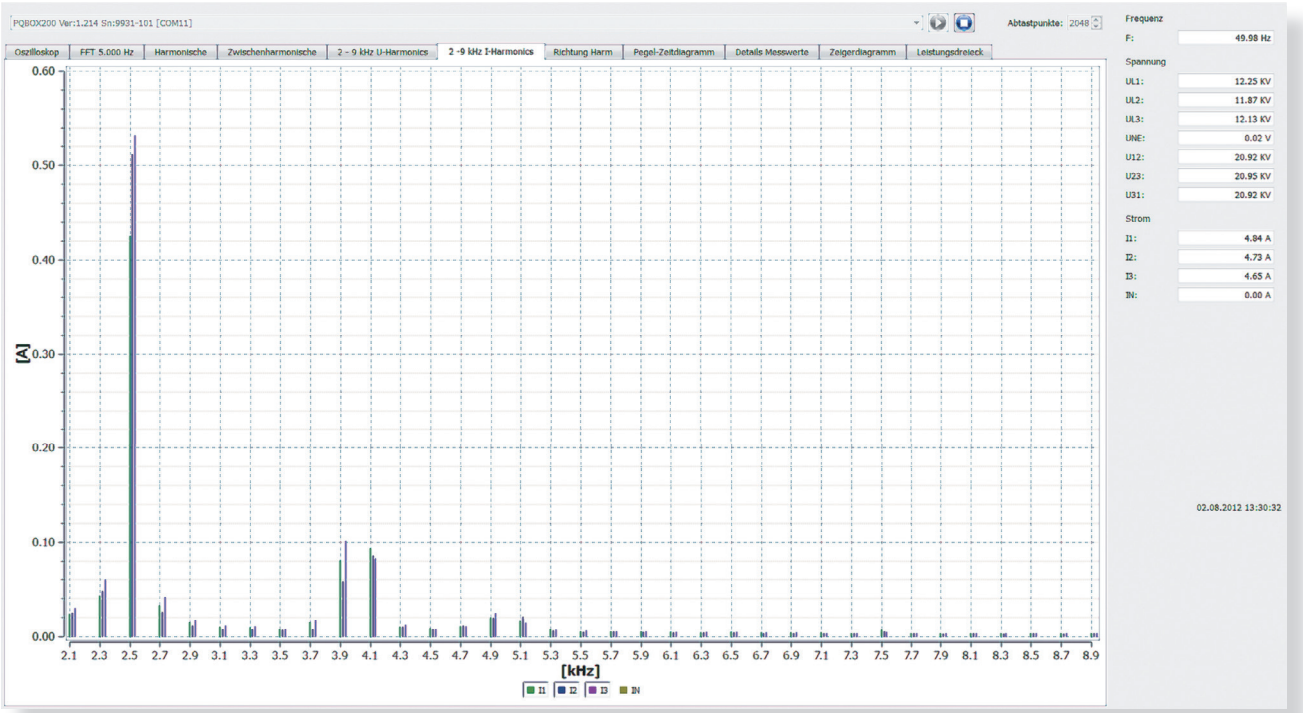

Bild 3: 200 Hz Bänder nach Norm IEC 61000-4-7

Die Taktfrequenz ist noch nicht alles

Im Elektroenergienetz bilden sich neben der Taktfrequenz viele weitere Frequenzkomponenten aus. Diese sogenannten Seitenbänder sind in Bild 4 eindrucksvoll erkennbar.

Folgende Formel beschreibt das Phänomen:

$$f_\mu = n \cdot f_T \pm 2n \cdot f_l$$

f_μ = Frequenz im Netz
n = Multiplikator (1; 2; 3)
f_T = Taktfrequenz der Leistungselektronik
f_l = Frequenz der Grundschwingung Netz (50Hz)

Die Taktfrequenz des Wechselrichters, viele weitere Seitenbänder und Vielfache der Taktfrequenz sind in Messergebnissen von A. Eberle in Bild 4 im Netzstrom und auch in der Netzspannung zu erkennen. Im Beispiel bilden sich folgende Seitenbänder und Vielfache der Taktfrequenz aus:

Taktfrequenz der Leistungselektronik =	**4,5 kHz**
n (2; 3; 4) Multiplikator =	**9 kHz; 13,5 kHz; 18 kHz** …
Frequenzseitenbänder =	**+/- 100 Hz; +/- 200 Hz** …

So erzeugt eine Anlage mit 4,5 kHz Taktfrequenz weitere Spektrallinien bei 9 kHz und 13,5 kHz inklusive der jeweiligen Seitenbänder als Rückwirkung im Netz.

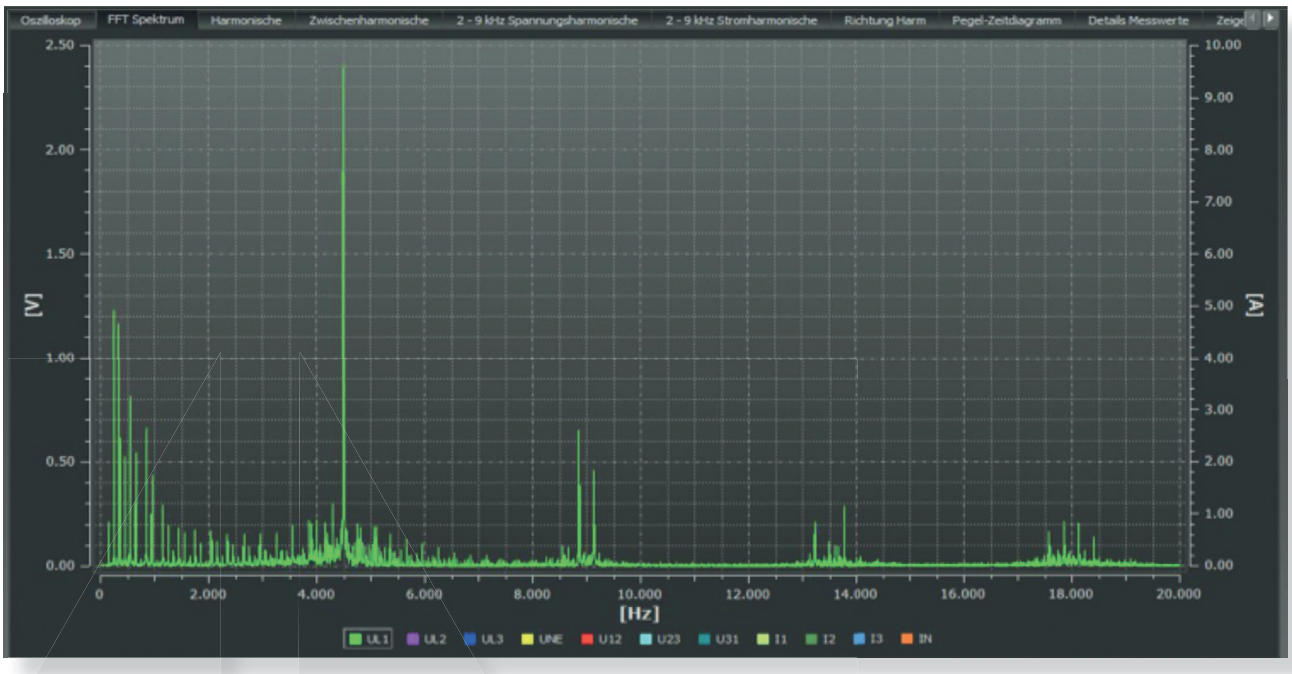

Bild 4: Spektrogramm mit deutlich erkennbarer Taktfrequenz, Seitenbändern und Vielfachen der Taktfrequenz

Frequenzübertragungsverhalten und Entwicklung von Breitbandwandlern

In Forschungsprojekten mit der TU Dresden und der Leibniz Universität Hannover konnte die RITZ Instrument Transformers GmbH die wissenschaftlichen Grundlagen für die Entwicklung von Breitbandwandlern erarbeiten. Als Ergebnis bietet RITZ seit 2012 sogenannte Breitbandwandler für Strom- und Spannungsmessungen an. Diese optimierten Geräte eignen sich speziell für die Oberschwingungsanalyse gemäß DIN EN 61000-4-30 oder 61000-4-7.

Bild 5 zeigt die frequenzabhängigen Übersetzungsfehler von drei herkömmlichen Spannungswandlern im Vergleich zu dem eines optimierten Spannungswandlers. Diese Ergebnisse beziehen sich auf 20 kV - Geräte und begründen die Notwendigkeit des Einsatzes von Breitbandwandlern für PQ - Messzwecke. Zusätzlich zu den Übersetzungsfehlern sind Standards angegeben. Die jeweils relevanten Frequenzbereiche sind farblich hervorgehoben.

So würde etwa eine mit dem Spannungswandler „VT 3“ gemessene 1,8 kHz Spannungskomponente schlichtweg falsch an den Eingang des PQ - Messgeräts übertragen. Diese Wandlereigenschaft hat zur Folge, dass die Überprüfung der in EN 50160 geforderten Merkmale mit „VT 3“ nicht vertrauenswürdig ist. In den Frequenzübertragungsverhalten gibt es Bereiche mit einer starken Dämpfung oder großen Verstärkung. Folglich kann die Spannungsqualität nicht einwandfrei kontrolliert werden.

Für Messungen gemäß dem informativen Teil der DIN EN 61000-4-7 sind alle herkömmlichen Spannungswandler VT 1 - 3 unzulässig. Der Breitbandwandler VT 4 ist speziell für diese Messzwecke optimiert und ermöglicht erst die Berechnung verlässlicher PQ - Kenngrößen durch ein entsprechendes Messgerät im Frequenzbereich bis 9 kHz.

Für Messungen über 9 kHz hinaus bietet RITZ einen hochgenauen ohmschen Teiler (GSER 16) an, der z. B. in Verbindung mit Leistungsanalysatoren in Motorprüfständen Verwendung findet. Derzeit kann der GSER 16 bis 150 kHz eingesetzt werden. Auch die aktuelle Version DIN EN 61000-4-30 :2016-01 befasst sich im informativen Teil mit Frequenzmessungen bis 150 kHz.

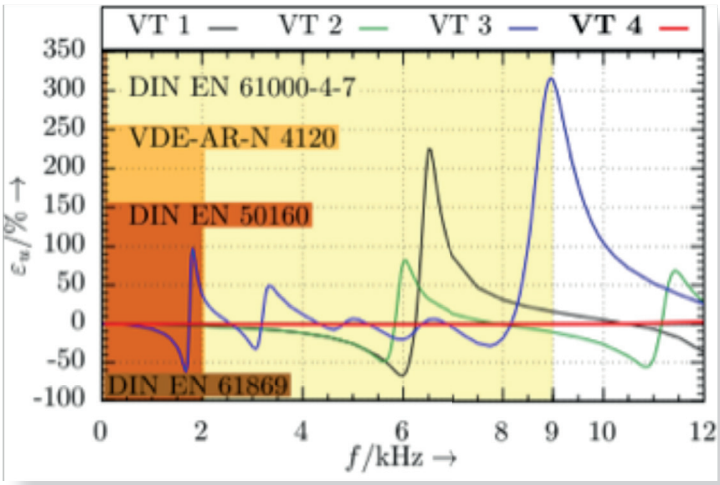

Bild 5: Übersetzungsfehler herkömmlicher (VT 1 -3) und eines optimierten Spannungswandlers (VT 4); Relevante Frequenzbereiche einiger Standards

Fazit

Der Spezialist für elektrische Mess- und Regelungstechnik, A. Eberle aus Nürnberg, hat auf die erläuterten Anforderungen an die Messtechnik bereits vor einigen Jahren reagiert. Die fest installierten PQ - Analysatoren erfassen Frequenzen bis 20 kHz im Energienetz, die mobilen Messgeräte sogar bis 1 MHz. Dies ist um einiges mehr als Spannungsqualitätsnormen heute verlangen, ist aber Bedingung, um mit Sicherheit alle Störungen detektieren zu können.

Die Energiewende mit der Einbindung regenerativer Erzeugungsanlagen und dem damit einhergehenden deutlich verstärkten Einsatz von Leistungselektronik auf Seiten der dezentralen Erzeuger und auch der Verbraucher haben den mitteleuropäischen Elektroenergienetzen erheblich zugesetzt.

Die Anzahl störender Netzrückwirkungen wie Flicker und Oberschwingungen ist in den vergangenen Jahren stark angestiegen. Gefragt sind Komplettsysteme, bestehend aus PQ - Messgeräten und Breitbandwandlern. Mit derartigen Systemen lassen sich die Kenngrößen der Elektroenergiequalität zuverlässig ermitteln und im Rahmen der Störungsanalyse die Verursacher identifizieren und lokalisieren.

A. Eberle und die RITZ Instrument Transformers GmbH haben die Zeichen der Zeit frühzeitig erkannt. Die Weichen für die Entwicklung leistungsstarker Lösungen sind gestellt.

Autoren

Dr. Roberto Schulze

Forschungsleiter
RITZ Instrument Transformers GmbH
roberto.schulze@ritz-international.com
www.ritz-international.com

Roland Bürger

Produktmanager Elektronik / Sensorik
RITZ Instrument Transformers GmbH
roland.buerger@ritz-international.com
www.ritz-international.com

Jürgen Blum

Produktmanager Power - Quality
A. Eberle GmbH & Co. KG
juergen.blum@a-eberle.de
www.a-eberle.de

A. Eberle GmbH & Co. KG
Frankenstraße 160
D-90461 Nürnberg
Tel +49(0)911 628108-0
Fax +49(0)911 628108-99
info@a-eberle.de
www.a-eberle.de

01/2019