

Kalibrierung von Oberwellen und Flicker

Netzqualität richtig und genau messen

Eine präzise Sampling-Methode für die Kalibrierung von Leistungsmesstechnik wird hier näher vorgestellt.



Leistungskalibratoren und -messgeräte sind feste Bestandteile bei der Herstellung von elektrischen und elektronischen Geräten, mit denen der Einfluss auf die Netzqualität geprüft wird. Dabei stellt die Kalibrierung von Oberwellen/Harmonischen und Flicker mit sehr kleinen Messunsicherheiten eine besondere Herausforderung dar. Um diesen Anforderungen und den damit verbundenen Kundenwünschen nachzukommen, hat Testo Industrial Services ein Verfahren für die Kalibrierung von Harmonischen sowie Flicker entwickelt.

Leistungskalibratoren zur Überprüfung der Netzqualität

Der Begriff „Netzqualität“ bekommt seit dem Beginn der Energiewende eine immer höhere Bedeutung. Diese wird jedoch durch den vermehrten Einsatz von Leistungselektronik mit einer nicht linearen Spannung-Strom-Kennlinie, die beispielsweise in Umrichter, Solarwechselrichter, Windkraftanlagen oder Schaltnetzteilen eingesetzt werden, herausfordernder. Oberschwingungen und Flicker sind Beispiele für Phänomene der Netzzrückwirkungen. Internationale Normen und Richtlinien fordern zunehmend, dass elektrische Produkte nur eine minimale Netzstö-

örung erzeugen dürfen, da diese zu Ausfällen und Fehlfunktionen bei weiteren angeschlossenen Geräten im Netz führen können.

Zu den wichtigsten Messgrößen bei der Überwachung von Netzstörungen gehören Oberschwingungen/Harmonische und Flicker, die u.a. durch verschiedene Normen wie die DIN EN IEC 61000-3-x und -4-x-Serien reguliert werden. Durch den künftig vermehrten Einsatz von Windkraftwerken und Photovoltaikanlagen entsteht eine zusätzliche Belastung durch Oberschwingungen im Netz. Es ist davon auszugehen, dass die Überwachung der Netzqualität künftig eine noch größere Rolle spielen wird.

Kalibrierung von Oberschwingungen

Harmonische bzw. Oberschwingungen sind Schwingungen, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz ist. Durch die Überlagerung mit der Grundwelle wird ein unerwünschtes, verzerrtes Wellenmuster erzeugt. Dabei ist jedes moderne elektrische Betriebsmittel mit einer umfangreichen Elektronik ein potenzieller Verursacher von Oberschwingungen [1]. Auswir-

kungen von Oberschwingungen auf Betriebsmittel reichen von Funktionsbeeinträchtigung bis hin zur Zerstörung des betroffenen Gerätes [2].

Weitere Beispiele sind:

- Überhitzung der Leiter und Transformatoren
- Computerfehlfunktion, Überspannungsprobleme [3]
- Ausfall und Verkürzung der Lebensdauer von Transformatoren [4]

Um solche Probleme zu vermeiden, gibt es verschiedene Normen, wie die DIN EN IEC 61000-3-2, welche die Grenzwerte für Oberschwingungsströme bei Geräte-Eingangsströmen bis zu 16 A definiert oder die DIN EN IEC 61000-3-4, welche diese Grenzwerte für Eingangsströme über 16 A festlegt. Das Kalibrierverfahren der Oberschwingungen bei Spannungen erfolgt in drei Schritten (Bild 1):

1. Abtastung und Fourier Analyse des zu kalibrierenden Signals
2. Abtastung und Fourier Analyse des Referenzkalibrators
3. Kalibrierung des Referenzkalibrators mit dem Fluke 5790A
4. Berechnung des Messwerts



Autor:
Dr. Siyavash Nekuruh
Testo Industrial Services
GmbH
www.testotis.de

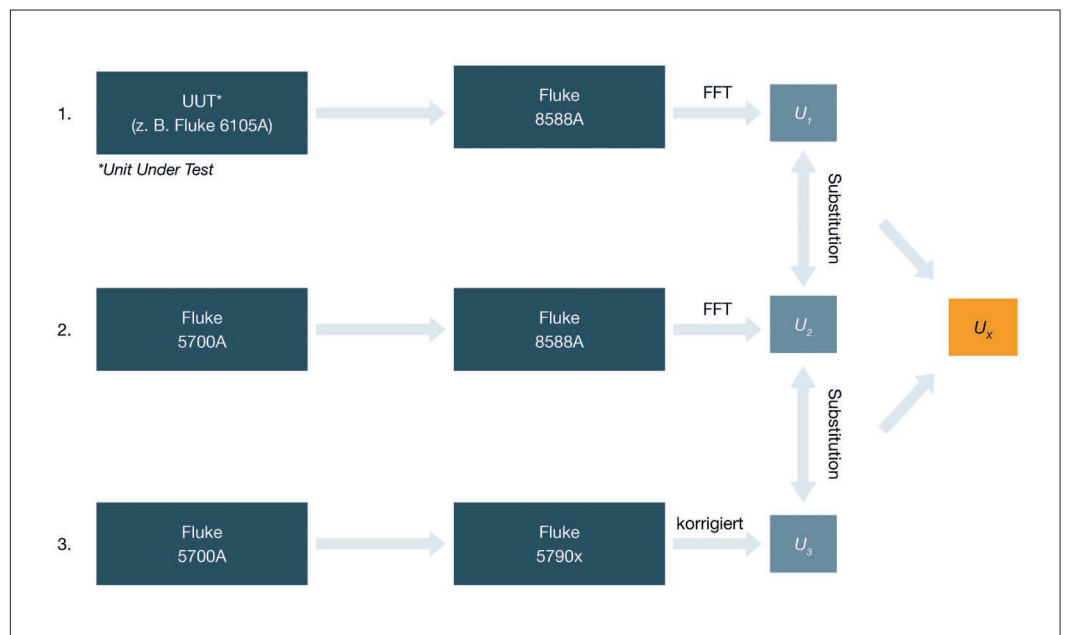


Bild 1: Schematische Darstellung des Kalibrierverfahrens einer Oberschwingung U_x

Im ersten Schritt wird das zu kalibrierende Signal des z.B. Fluke 6105A mit dem Fluke-8588A-Multimeter oder Agilent-3458A abgetastet [5, 6]. Das abgetastete Signal wird mithilfe einer Fourier Transformation (FFT) in das zugehörige Frequenzspektrum umgewandelt. Damit wird das abgetastete Signal analysiert und der Spannungswert der gesuchten Oberschwingung U_1 ermittelt. Bild 2 zeigt ein abgetastetes Signal, welches mit dem Leistungskalibrator Fluke 6105A generiert wurde. Es besteht aus einer Fundamentalwelle bei 6 V, 50 Hz und deren dritte Oberwelle bei 3 V. Zusätzlich wird das dazugehörige Frequenzspektrum, welches mithilfe von FFT ermittelt wurde, aufgezeigt. Der Spannungswert der Oberwelle U_1 wurde hiermit ermittelt.

Der so ermittelte Spannungswert U_1 ist noch nicht präzise genug. Um eine bessere Messgenauigkeit zu erzielen, wird zunächst im zweiten Schritt die zu kalibrierende Oberwelle mithilfe eines reinen sinusförmigen Signals, das mit dem Fluke 5700A erzeugt wird, abgetastet und ausgewertet. Bild 3 zeigt ein solches 3-V/150-Hz-Signal, dessen Frequenzspektrum und den durch FFT ermittelten Spannungswert U_2 . Das so erzeugte Signal wird abschließend mit einem weiteren Normal, dem Fluke 5790x referenziert, korrigiert und der Spannungswert U_3 ermittelt.

Das Normal Fluke 5790x wird regelmäßig mit dem präzisen AC-DC Transfer Normal Fluke 792A, das bei der Physikalisch Technischen Bundesanstalt PTB geeicht wurde, kalibriert und mithilfe eines sogenannten Correction-Files korrigiert. Damit sind die Wechselspannungswerte an das Fluke 792A und damit auf PTB-Ebene rückgeführt. Durch den Vergleich der drei Spannungswerte können die Messunsicherheiten erheblich reduziert werden. So ist es Testo Industrial Services gelungen, Spannungs- und Stromoverschwingungen mit einer Messunsicherheit ab 25 ppm zu erreichen. Der Messunsicherheitsbeitrag besteht im Wesentlichen aus folgenden Beiträgen:

- aufgrund der Abweichung von Fluke 5790x
- aufgrund der Auflösung der Digitalisierung mit Fluke 8588A (18 bit) oder mit Agilent 3458A (28 bit)
- wegen der FFT aufgrund der Leckeffekte und weiterer numerischen Einflüsse

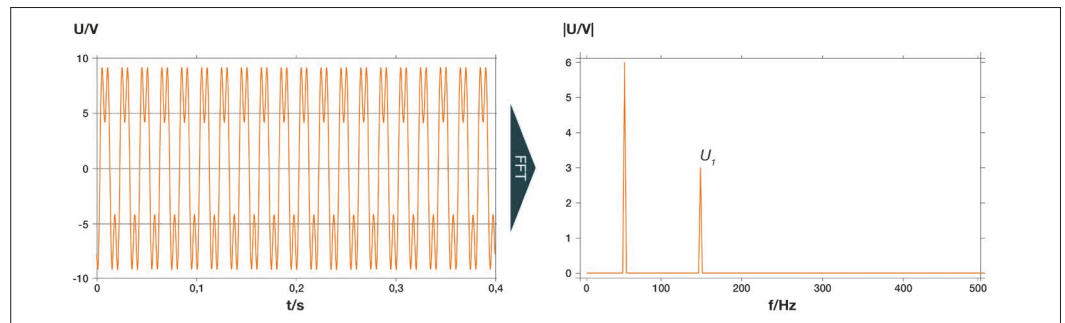


Bild 2: Ein von Fluke 6105A erzeugtes Signal, bestehend aus einer Fundamentalwelle und einer Oberwelle, wurde mithilfe von FFT zerlegt. Der Spannungswert der Oberwelle U_1 wird damit ermittelt

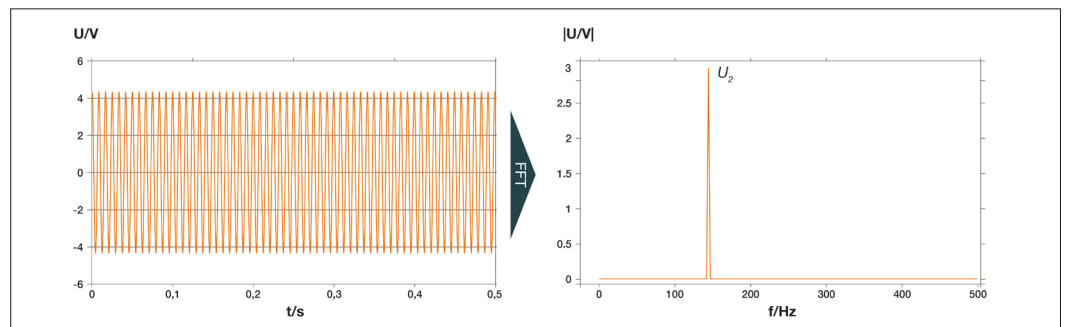


Bild 3: Ein von dem Fluke 5700 erzeugtes Signal, bestehend aus einer Sinuswelle, wurde mithilfe einer FFT zerlegt. Der Spannungswert U_2 wird damit ermittelt

Die Kalibrierung der Stromoverschwingungen können aus der Beschreibung zur Spannungsüberschwingungsmessung adaptiert werden. Allerdings wird hier in Schritt 3 der Shunt-Satz Fluke A40A zur Strommessung mit dem Fluke 5790A kombiniert.

Kalibrierung von Flicker

Als Flicker werden Schwankungen der Netzspannung verstanden. Die DIN EN IEC 61000-3-3 beschreibt Flicker als „visueller Eindruck einer Leuchtdichteschwankung“, der „u.a. durch die Auswirkung von Spannungsschwankungen auf die Lichtproduktion von Beleuchtungseinrichtungen hervorgerufen werden kann und dessen Vermeidung auch ein Beitrag für ein belastungsfreies Umfeld darstellt“ [7]. In der Regel wird zwischen Langzeitflicker (PLT) und Kurzzeitflicker (PST) unterschieden. $PST = 1$ ist mit dem menschlichen Auge wahrnehmbar und gilt als Grenze, die nicht überschritten werden soll [8]. Die Kalibrierung eines generierten Flicker-Signals wird wie bei Oberschwingungen mit dem Multimeter Agilent 3458A oder Fluke 8588A abgetastet und mittels FFT ausgewertet. Damit kann das Verhältnis $U\text{-Änderung}/U$ ausgewertet wer-

den. Folgende Flickermesspunkte des Fluke 6105A wurden bisher bei Testo Industrial Services erfolgreich und mit einer Messunsicherheit von 0,007% kalibriert (50 Hz, PST 1):

- 230 V, 1620 cpm
- 230 V, 4000 cpm
- 120 V, 1620 cpm
- 120 V, 1800 cpm

Fazit

Die Herausforderungen, welche bei der Kalibrierung von Oberschwingungen und Flicker bei Leistungskalibratoren entstehen, können durch das entwickelte Verfahren der Testo Industrial Services überwunden werden.

Mit der beschriebenen Vorgehensweise werden die Oberschwingungen mit einer Messunsicherheit von 25 ppm und Flicker mit einer Messunsicherheit von 0,007% kalibriert. Für die Sicherstellung der Netzqualität werden Leistungsanalysatoren eingesetzt, die mit hochpräzisen Leistungskalibratoren wie dem Fluke 6105A kalibriert werden. Diese Kalibratoren können mit dem Kalibrierverfahren der Testo Industrial Services mit geringen Messunsicherheiten sichergestellt werden.

Wer schreibt:

Dr. Siyavash Nekuruh ist Experte für elektrische Messgrößen, absolvierte ein Physikstudium an der Universität Freiburg mit einer Promotion auf dem Gebiet des molekularen Magnetismus.

Literatur

- [1] Höck, G. „Dirty Power“ – Oberschwingungen durch nichtlineare Verbraucher
- [2] Kamenka, A. [2014]. Sechs Themen rund um Oberschwingungen und die Netzqualität in Stromversorgungsnetzen
- [3] W. Abbas and M. A. Saqib. [2007]. „Effect of Nonlinear Load Distributions on Total Harmonic Distortion in a Power System,“ 2007 International Conference on Electrical Engineering, 2007
- [4] D. M. Said and K. M. Nor. [2008]. „Effects of harmonics on distribution transformers,“ 2008 Australasian Universities Power Engineering Conference
- [5] R. Lapuh, Sampling with 3458A, 2018
- [6] C. E. Shannon, Communication in the Presence of Noise, IEEE Transactions on Signal Processing, 2022
- [7] DIN EN 61000-3-3 VDE 0838-3:2020-07
- [8] M. De Koster, E. De Jaeger- und W. Vancoetsem, Light Flicker caused by Interharmonics ◀