

Dreiphasiger Signalgenerator für präzise Netzsimulationen

Dipl.-Ing. Jürgen Dreier, Produktmanager, KoCoS Messtechnik AG, Korbach

Die Überwachung der Netzqualität ist ein wichtiges Thema für Energieversorger und deren Kunden. Der Betrieb des Energieversorgungssystems kann durch eine systematische Analyse der Netzqualität verbessert und aufrechterhalten werden.

Da es im realen Umfeld im Bereich der Energieversorgung schwierig ist, Netzqualitätsereignisse zu generieren, wird in diesem Artikel ein dreiphasiger Signalgenerator zur Erzeugung und Untersuchung entsprechender Signale vorgestellt.

Netzqualität

Das Design von elektrischen Geräten und Komponenten wird immer ausgereifter und erfordert eine unterbrechungsfreie und saubere Stromversorgung. Elektronische Geräte, wie Computer und automatisierte elektronische Geräte, die in der Industrie sowie in gewerblichem oder privatem Umfeld eingesetzt werden, reagieren empfindlich auf viele Arten von Störungen in der Netzqualität. Grundsätzlich sind somit Störungen im Bereich der Netzqualität ein wichtiges Thema bei Elektrizitätsversorgern, Stromkunden und Abnehmern aber auch bei Herstellern von Messgeräten.

Die Versorgungsqualität wird bestimmt durch die Beschaffenheit von Versorgungsspannungen und Strömen. Weiterhin durch Netzzrückwirkungen, die von den angeschlossenen Verbrauchern und den dezentralen Energieerzeugern in das Verteilungsnetz eingebracht werden.

Um den Einfluss von Störungen und Geräteausfällen bei den Kunden der Energieversorger zu verringern, ist die Qualität der gelieferten Spannungen und Ströme kontinuierlich zu überwachen und zu analysieren.

Referenzwerte der zu überwachenden Parameter, einschließlich von Grenzwerten und Messintervallen, werden durch die entsprechenden nationalen und internationalen Normen und PQ-Standards vorgeschrieben. Informationen bezüglich der Qualität der Spannungen und Ströme im Verteilnetz können nur durch Messung und detaillierte Verarbeitung der Messergebnisse in Bezug auf die normierten PQ-Parameter erstellt werden.

Für die Entwicklung von Messgeräten zur Analyse und Diagnose der Netzqualität werden demzufolge entsprechende PQ-Daten und Signale benötigt. Aufgrund der Schwierigkeit, reale Störungen im Netz zu erfassen, wird zur Überprüfung von Komponenten ein Signalgenerator benötigt, der PQ-Signale simulieren kann.

Strom- und Spannungsquelle für Netzsimulationen

Herkömmliche Spannungsquellen können die Anforderungen an die komplexe Signalgenerierung nicht erfüllen. Ein konventioneller Signalgenerator kann nur verschiedene Arten allgemeiner Kurvenformen erzeugen, jedoch keine PQ-Signale. Die Generierung von typischen Signalen der Netzqualität ist aber eine wichtige Anforderung bei wissenschaftlichen Experimenten, Justagen und Kalibrierungen.



Bild 1: Signalgenerator EPOS 360 mit Netz- und Energiequalitätsanalysator EPPE CX

ELECTRONIC POWER SOURCE

Ein Signalgenerator, der diese Anforderung erfüllt, ist die dreiphasige Strom- und Spannungsquelle EPOS 360 der KoCoS Messtechnik AG. EPOS 360 kann zusätzlich zu den sinusförmigen Strom- und Spannungsformen eines Ein- oder Dreiphasensystems die verschiedenen Kategorien von PQ-Störungen wie Verzerrung der Kurvenformen, Unter- oder Überspannungen, Spannungsunsymmetrien und Transienten erzeugen. Durch die Verwendung der dreiphasigen Strom- und Spannungsquelle EPOS 360 sind die erforderlichen Signalformen einfach und schnell zu erzeugen.

EPOS 360 verfügt über vier Spannungs- und drei Stromsignalquellen. Die Signalverläufe werden von einem leistungsstarken Signalprozessor errechnet und über hochgenaue Leistungsverstärker ausgegeben. Die Parameter Amplitude, Phasenlage und Frequenz sind getrennt und unabhängig voneinander einstellbar sowie überlast- und kurzschlussicher und können während der Ausgabe in weiten Bereichen variiert werden.

Die Signale bzw. Kurvenverläufe können zur Überprüfung und Kalibrierung von Messinstrumenten und Geräten verwendet werden, die für die Überwachung, Messung und softwarebasierte Verarbeitung der grundlegenden Netzqualitätsparameter entwickelt wurden.

Bedienung und Steuerung

Die Bedienung und Steuerung des Signalgenerators EPOS 360 kann mittels der internen Bedieneinheit, über die EPOS-Bediensoftware durch einen Standard-PC oder eine einfache Programmierschnittstelle zur Einbindung in externe Prüfumgebungen erfolgen.

Für die Parametrierung und die Ausgabe von Signalen und Prüfsequenzen stehen in der Software unterschiedliche Monitore zur Verfügung. Ein Basismodul ist der VD-Monitor. Dieser Monitor ermöglicht die Prüfung beliebiger Prüfobjekte durch manuelles Einstellen der Spannungs- und Stromwerte. Darüber hinaus können die Ausgangssignale einen eingestellten Bereich rampenförmig (linear oder gestuft) durchlaufen.

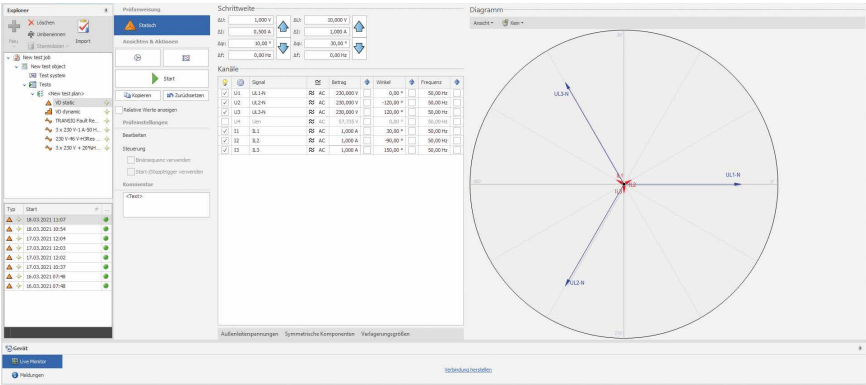
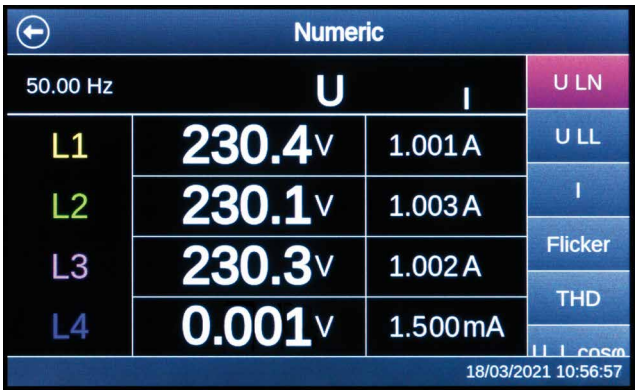
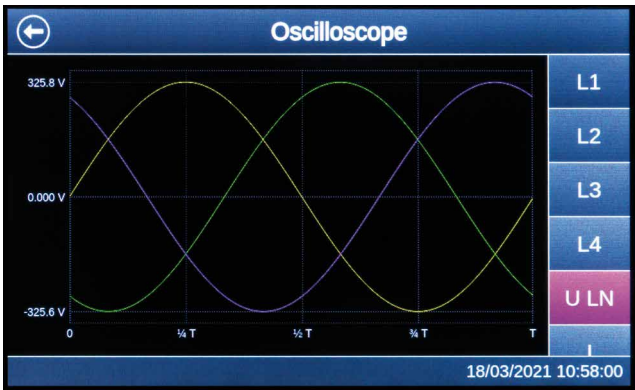


Bild 2: Erzeugen einer dreiphasigen Wechselspannung mit EPOS 360 (a) und Rückmessung mit EPPE CX (b,c)

(a)



b)



c)

Zusätzlich bietet die Software weitere abgestimmte Monitore. Mit dem Modul TRANSIG-Monitor kann die Funktion eines Prüflings unter realen Bedingungen einfach überprüft werden. Der TRANSIG-Monitor ermöglicht die grafische Darstellung und die Ausgabe von Aufzeichnungen und Signalkurven über den Signalgenerator EPOS 360. Signalverläufe können z.B. Aufzeichnungen von Störwerterfassungssystemen oder digitalen Schutzrelais sein, die im standardisierten COMTRADE-Format vorliegen. Bei Prüfungen werden die Signalkurven als transiente Sequenz über die Hardware wiedergegeben.

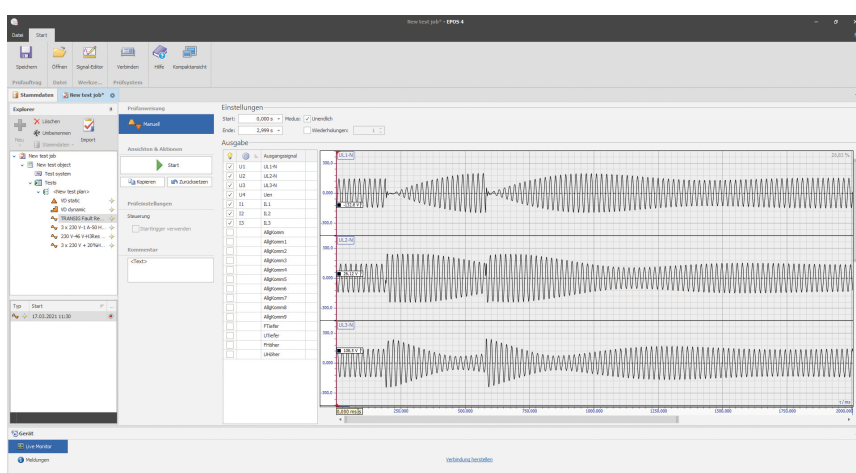


Bild 3: Darstellung einer COMTRADE-Aufzeichnung im TRANSIG-Monitor der EPOS-Bediensoftware

Ein weiterer Bestandteil der EPOS Bediensoftware ist der Signaleditor. Der Signaleditor ermöglicht die Parametrierung und Berechnung beliebiger Signalverläufe. Die Parametrierung der Signale erfolgt interaktiv am Bildschirm. Für einzelne Kanäle kann jeweils eine Signaldauer eingestellt werden. Jeder Kanal kann wiederum in beliebig viele Zeitfenster bzw. Zeitbereiche unterschiedlicher Länge unterteilt werden. Innerhalb der Zeitfenster können unabhängig voneinander verschiedene Funktionsverläufe synthetisiert werden. Dabei ist es möglich, die Funktionsverläufe aus einer Grundfunktion und deren additiver oder multiplikativer Überlagerung mit einer oder mehreren Überlagerungsfunktionen zu generieren.

Anwendungsbeispiel

Wie bereits beschrieben, können Spannungen und Ströme im Netz Abweichungen von der Sinusform aufweisen. Dies kann zu Störungen im Betrieb von elektrischen Komponenten führen und auch Einfluss auf die Genauigkeit von Messgeräten haben.

Kurven, deren Verlauf von der Sinusform abweichen, kann man sich aus der Überlagerung einer sinusförmigen Spannung bzw. eines sinusförmigen Stroms und Sinuskurven einer höheren Frequenz vorstellen. Je nach Netzsystem ist die Grundwelle eine Sinuskurve von

z. B. 16⅔, 50 oder 60 Hz. Die zusätzlichen Komponenten mit einer höheren Frequenz werden als Oberschwingungen bezeichnet. Diese Oberschwingungen haben in der Regel eine 3, 5, 7 usw. mal höhere Frequenz als die Grundwelle. Bei 50 Hz haben die Oberschwingungen somit die Frequenzen 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz, usw. Die Spitzenwerte der Oberwellen sind in der Regel kleiner als die Spitzenwerte der Grundwelle.

Um die Entstehung einer verzerrten Kurve zu verdeutlichen, wird im folgenden Beispiel eine Spannung mit der Grundwelle mit einer Oberschwingung der dreifachen Frequenz (dritte Harmonische) überlagert. Die Oberwelle hat die gleiche Richtung und geht mit der Grundwelle durch den Nullpunkt. Der Spitzenwert der Oberwelle beträgt 20 % des Spitzenwertes der Grundwelle. Die Addition der Momentanwerte der Grundschwingung und der Oberschwingung ergibt die verzerrte Kurve.

Von Interesse kann die Frage sein, wie groß der Effektivwert der Spannung bei einer verzerrten Kurve ist. Der Effektivwert der Spannung berechnet sich aus

$$U = \sqrt{\frac{1}{2}(\hat{u}_1^2 + \hat{u}_3^2 + \hat{u}_5^2 + \dots)}$$

$\hat{U}_N$: Scheitelwerte der Grundwelle und der einzelnen Harmonischen. Anmerkung: Die obige Beziehung gilt äquivalent auch für Strom.

ELECTRONIC POWER SOURCE

Der Einfluss der Oberschwingungen auf den Effektivwert ist geringer, als man aus dem Verhältnis der Spitzenwerte der Oberschwingungen zu dem der Grundschwingung erwarten würde.

Scheitelwert der Grundwelle: $\hat{u}_1 = 325,3 \text{ V}$

Scheitelwert der 3. Harmonischen: $\hat{u}_3 = 65,1 \text{ V}$

Bei einer reinen Sinuswelle entfallen die Scheitelwerte $\hat{u}_3$, $\hat{u}_5$ usw. und man erhält die Beziehung zwischen Effektiv- und Scheitelwert zu:

$$U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$$

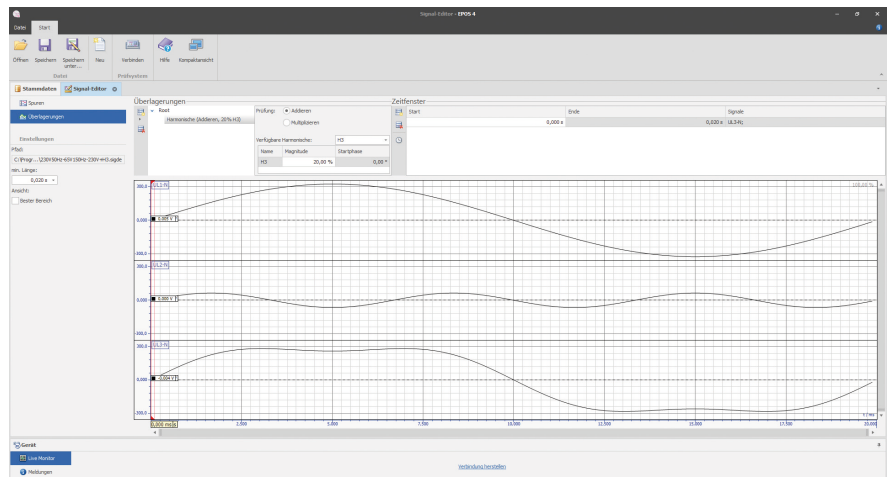
Daraus berechnet sich der Effektivwert der Grundwelle zu

$$U = \frac{325,3 \text{ V}}{\sqrt{2}} = 230,0 \text{ V}$$

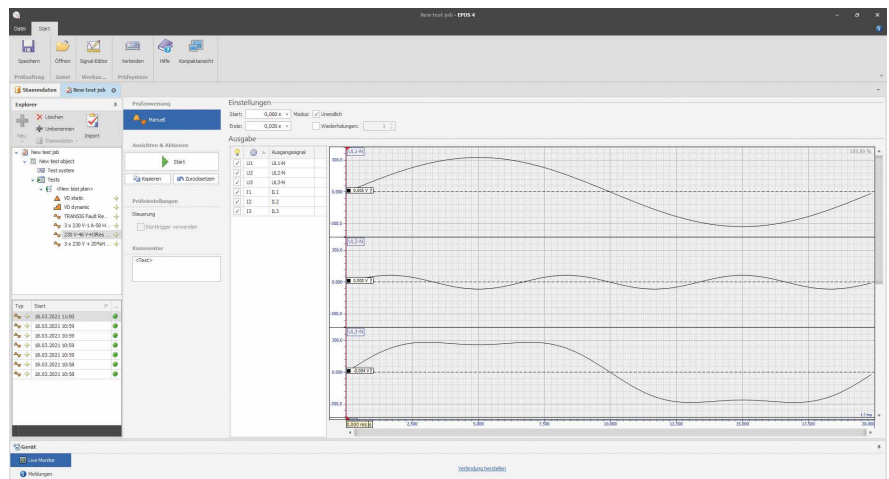
und der Effektivwert der verzerrten Kurve

$$U = \sqrt{\frac{1}{2}((325,3 \text{ V})^2 + (65,1 \text{ V})^2)} = 234,6 \text{ V}$$

Dieser Wert ist nur 1,98 % höher als der Effektivwert der Grundwelle, obwohl der Spitzenwert der dritten Harmonischen 20 % des Spitzenwertes der Grundwelle beträgt. Kurven mit den entsprechenden Verläufen können mit dem Signalgenerator EPOS 360 erzeugt werden, indem eine Grundwelle mit 50 Hz mit einer zweiten Sinuswelle mit 150 Hz überlagert wird, wobei der Spitzenwert 20 % der Grundwelle beträgt.

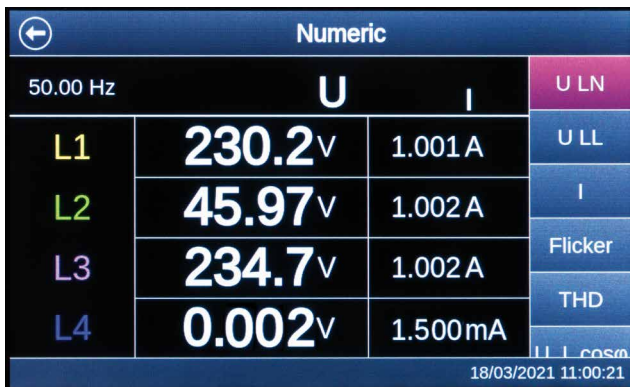


(a)

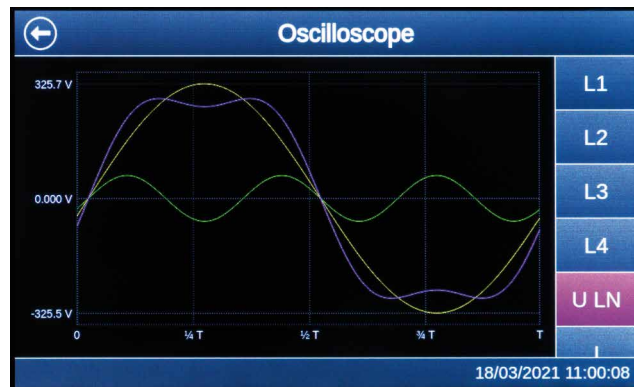


(b)

Bild 4: Erstellen der Signalverläufe über das Modul Signaleditor (a) und Ausgabe der Verläufe über den TRANSIG-Monitor (b)



(a)



(b)

Bild 5: Rückmessung der definierten Spannungen mit 20 % Anteil der 3. Harmonischen mit Netz- und Energiequalitätsanalysator EPPE CX (a, b)

L1: Grundwelle, L2: Verlauf der dritten Harmonischen, L3: verzerrte Kurve

Fazit

Im Zuge steigender Energiekosten, zunehmender Netzstörungen und der Verunsicherung der Stromkunden wird die Prüfung elektrischer Komponenten und Messtechnik immer wichtiger.

Zur Simulation und Erzeugung von Netzsignalen und Netzstörungen steht mit dem EPOS 360 ein einfach zu bedienendes Signalgeneratorsystem zur Verfügung. Die Systemfunktionalität wird von einer professionellen Software unterstützt.

Das beschriebene Signalgeneratorsystem kann in Verfahren zur Entwicklung von Messtechnik und elektrischen Komponenten verwendet werden, um die Probleme der Identifizierung und Minderung bei Störungen im Energieversorgungssystem zu lösen.

Der Signalgenerator bietet auch Lehrenden und Lernenden die Möglichkeit, diverse Signalverläufe zu analysieren und ist damit ein nützliches Werkzeug in der praktischen Arbeit zum Verständnis und zur Erklärung der Netzphänomene.

Um das Leistungsvermögen von elektrischen Komponenten und der Anlage zu überprüfen, hat der Einsatz des dreiphasigen Signalgenerators EPOS 360 somit zahlreiche Vorteile für Hersteller von Messgeräten, Dienstleistern, Betreibern von elektrischen Anlagen und Energieversorgern. Entsprechendes Prüfequipment bietet somit eine kostengünstige, einfache und schnelle Möglichkeit der Vor-Ort- und auch der Fabrik- und Labor-Überprüfung.

Quellen

WILD, TIMO (2015): Anforderungen an ein Messsystem zur effizienten Überwachung von Versorgungsnetzen und technischen Anlagen, Korbach: Fachthema Spannungsqualität, KoCoS Messtechnik AG

WILD, TIMO und STACHORRA, ELMAR (2015): Netzmessungen vor dem Hintergrund der Energiewende, Korbach: Fachthema Netzqualität, KoCoS Messtechnik AG

KRUKOWSKI, WALDEMAR VON (1930): Grundzüge der Zählertechnik, Berlin: Verlag Julius Springer

DIN EN 50160:2020-11: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen (Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks)

IEC 61000-4-30:2016-10-01: Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods

KoCoS MESSTECHNIK AG, Korbach: www.kocos.com