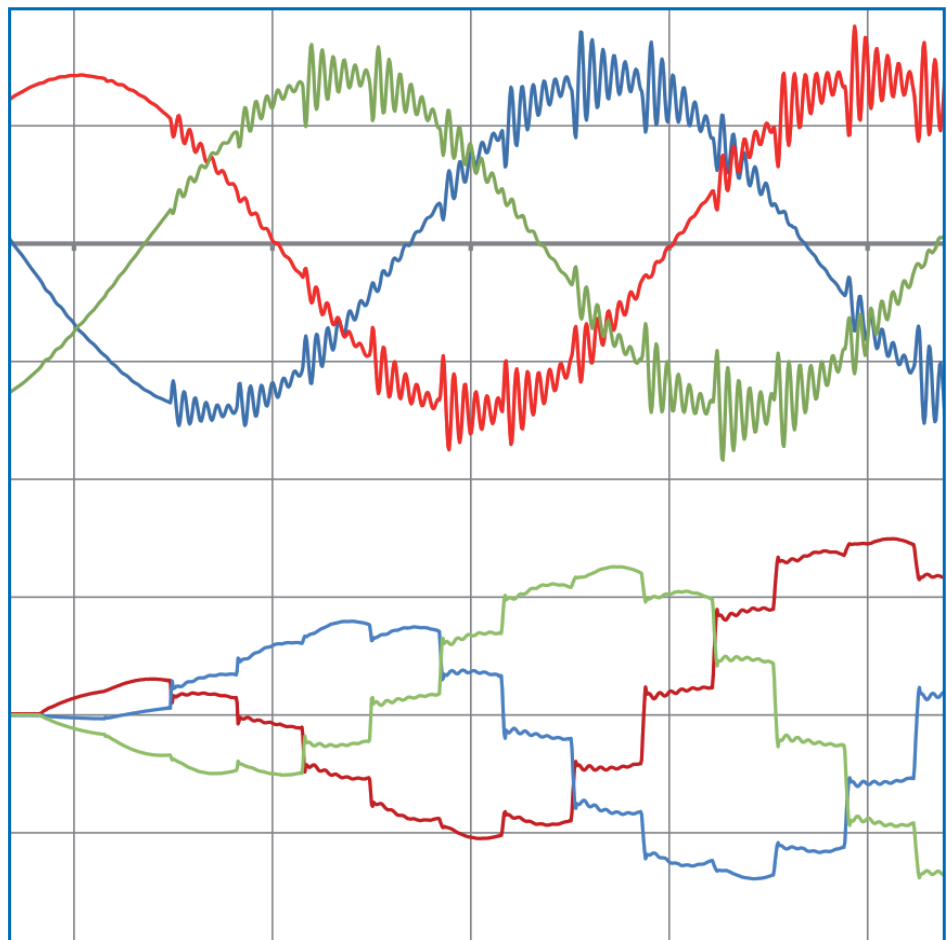


Empfehlungen für Oberschwingungs- und Leistungsmessungen in elektrischen Netzen

Anforderungen für die Durchführung und Berichterstellung
über Analysen im Rahmen der Spannungsqualität
elektrischer Netze und der Betriebsmittelbelastung



**Empfehlungen für Oberschwingungs- und Leistungsmessungen
in elektrischen Netzen**

Herausgeber:

ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e. V.

Fachverband Starkstromkondensatoren

– Fachabteilung Leistungskondensatoren und Spannungsqualität

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Redaktion:

Dr. Marcus Dietrich

Telefon: +49 69 6302-462

Fax: +49 69 6302-407

E-Mail: starkstromkondensatoren@zvei.org

April 2018

www.zvei.org



Dieses Material steht unter der Creative-Commons-
Lizenz Namensnennung – nicht-kommerziell –
Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 Deutschland.

Autoren:

Dr. Christian Dresel, Jürgen Reese, Dieter Siebold, Condensator Dominit

Lukas Motta, Epcos

Peter Riese, Frako

Dr. Christian Kaehler, Hans von Mangoldt

Achim Tempelmeier, KBR Kompensationsanlagenbau

Dr. Bernd Walther, Maschinenfabrik Reinhausen – Power Quality

Alexander Heinz, System Electric Power Quality

Christophe Durandet, Vishay Electronic

Einleitung

Deutschland liegt im weltweiten Vergleich der Versorgungszuverlässigkeit mit elektrischem Strom an der Spitze. Eine hohe Versorgungszuverlässigkeit ist aber nicht immer gleichbedeutend mit einer hohen Spannungsqualität, bei der Abweichungen der Netzspannung von der reinen Sinusform bzw. Netzspannungsschwankungen betrachtet werden.

Aus diesem Grund ist die Sicherstellung einer ausreichenden Spannungsqualität in industriellen, aber auch zunehmend in öffentlichen Verteilungsnetzen von Bedeutung.

Die Anzahl und die Vielfalt der leistungselektronischen Energiewandler hat in den vergangenen Jahren deutlich zugenommen – vom Schaltnetzteil bis zum leistungsstarken Walzwerksantrieb. Hinzu kommt der Einsatz neuer HGÜ-Leitungen, ob auf dem Festland oder als Verbindung zu Offshorewindparks. Somit ist ein großer Anteil der Erzeugungs- wie auch der Abnahmeleistung leistungselektronisch basiert.

Messungen der Spannungsqualität sind somit heute ein Hauptwerkzeug beim Betrieb bzw. der Planung elektrischer Netze.

Im Rahmen dieser Empfehlungen sollen Mindestanforderungen an Technische Berichte definiert werden, die sich mit der Messung und Bewertung der Spannungsqualität und der elektrischen Leistung beschäftigen.

Spannungsqualität

Unter dem Begriff Spannungsqualität versteht man in den meisten Fällen die Beeinflussung der Spannung durch:

- Oberschwingungen in der Anschlussspannung bzw. im Strom bis 2,5 kHz
- Schnelle Spannungsänderungen (z. B. Flicker) sowie langsame Spannungsänderungen und Spannungsbandverletzungen
- Kommutierungseinbrüche, teilweise nur erkennbar zusammen mit Kabelresonanzschwingungen
- Zwischenharmonische Spannungen und Ströme bis 2,0 kHz und supraharmische Spannungen und Ströme (> 2,0 kHz)
- Unsymmetrien in Strom und Spannung
- Tonfrequenz-Signale

Leistungen

Bei der Messung der Leistungen muss man unterscheiden zwischen Anteilen der Netzfrequenz (z. B. 50 Hz in Deutschland) und Anteilen von höheren Harmonischen bzw. durch Unsymmetrien und Modulationen hervorgerufener:

- Wirkleistung
- Verschiebungsblindleistung
- Verzerrungsblindleistung
- Unsymmetrie-/Modulationsblindleistung
- Blindleistung (enthält alle o. g. Blindleistungsarten und ist immer positiv)
- Grundscheinleistung
- Scheinleistung unter Beachtung aller o. g. Leistungsanteile
- Leistungsfaktor λ
- Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$

Um eine Bewertung im Zusammenhang mit Aufzeichnungen von Oberschwingungen vornehmen zu können, ist ein Zeitraster von zehn Minuten zu wählen. Moderne Messgeräte gestatten darüber hinaus auch eine Darstellung anderer Zeitintervalle.

In vielen Fällen ist es erforderlich, die gemessenen zehn Minuten Mittelwerte zu hinterfragen, ob nicht Vorgänge im elektrischen Netz vorliegen, die eine hohe Dynamik besitzen. Aus diesem Grund sind je nach Qualität des Messgeräts 10 und/oder 200 ms Maximalwerte vorhanden, die in ihrem Einfluss auf die Spannungsqualität bewertet werden müssen.

Bewertungsgrundlagen

Die Auswertung von Messungen zur Spannungsqualität bzw. der Leistungsverhältnisse erfolgt meistens nach den folgenden Standards oder Richtlinien:

- IEC 61000 für Grenzwerte der Spannungsqualität in öffentlichen und industriellen Netzen in der Mittel- und Niederspannung (nur Spannungen)
- EN 50160 für öffentliche Netze in der Hoch-, Mittel- und Niederspannung (nur Spannungen)
- D-A-CH-CZ Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen (Spannungen und Ströme)
- VDE-Anwenderrichtlinien 41XX für Hoch-, Mittel- und Niederspannung (nur Spannungen)
- IEC 60871 für HS-Kondensatoren
- IEC 60831 für NS-Kondensatoren
- DIN EN 61800 für drehzahlveränderliche Antriebe
- Normen in anderen Regionen der Welt: IEEE 519, GB/T 15543, GOST 13109, Engineering Recommendation G5/4-1 und P28
- Netzanschlussvertrag mit Details zum vereinbarten Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ bzw. weitere Festlegungen

Entsprechend der jeweiligen Norm müssen die Messwerte in Bezug auf die geltenden Grenzwerte zu 100 Prozent oder zu 95 Prozent der Messzeit (Basis meist eine Woche) eingehalten werden.

Aufgabenstellung

Grundlegend sind nach der messtechnischen Untersuchung eines elektrischen Netzes die folgenden Informationen im Abschlussbericht festzuhalten:

- Genaue Bezeichnung der Firma, des Standorts und der Station
- Anlass der Messung (Routineüberprüfung, Störung, Basis für eine Netzerweiterung oder Auslegung von Anlagen)
- Genauer Messzeitraum
- Übersichtsschaltbild (vereinfacht oder komplex) mit Angabe des Messpunkts und des Schaltzustands
- Lastverhältnisse (Normallast oder abweichende Verhältnisse)
- Exponierter Abnehmer (z. B. Antriebsstromrichter oder Schweißmaschine) mit Daten und eventuell Lastprofil
- Kompensationsanlagen und deren Schaltzustand
- Netzfilter
- Anlagen zur Stromerzeugung und Netzersatzanlagen
- Basis der Bewertung der Messungen (Standards, Richtlinien)
- Wer hat welche Messung durchgeführt
- Name des Verteilnetzbetreibers

Eignung der Messtechnik

Es ist dringend erforderlich, in einem fachlich orientierten Gespräch mit dem Kunden die Randbedingungen für die erforderliche Messung herauszufinden. Somit können Schlussfolgerungen für die dann einzusetzende Messtechnik getroffen werden.

Damit muss zwischen einfachen Messaufgaben mit Messgeräten zur statistischen Erfassung von Werten und Messungen für ingenieurtechnisch anspruchsvolle Netzanalysen mit Geräten, die eine Frequenzauflösung bis 20 bzw. 150 kHz haben und triggerbare Störschriebe aufzeichnen können, unterschieden werden. Dies ist insbesondere bei der neuen Umrichter- und Netzresonanzen durch die Kapazitäten der Betriebsmittel (z. B. unverdrosselte Kompensation, Eingangsfiler, Leistungskabel) erforderlich.

Messung der Spannungsqualität

Bei der Messung der Spannungsqualität sind grundsätzlich Messgeräte der Klasse A nach IEC 61000-4-30 einzusetzen. Damit sind die Messergebnisse normenkonform und können für die Bewertung uneingeschränkt verwendet werden. Bei der Beurteilung des Anschlusspunkts im Rahmen öffentlicher Netze ist weiterhin eine Messung im Zeitraster von zehn Minuten auszuführen. Für die Beurteilung des Lastverhaltens kann das Zeitintervall verkürzt werden oder es sind Oszillogramme z. B. für die Ermittlung von Kommutierungseinbrüchen zu erstellen.

Für die Ermittlung der richtigen Flickerwerte ist die jeweilige Netznominalspannung in den Messparametern anzugeben.

Tonfrequenz-Signale

Vor der Parametrierung der Messung ist beim Kunden bzw. beim Verteilungsnetzbetreiber das im Netz verwendete Tonfrequenzsignal zu erfragen und entsprechend einzugeben.

Die Frequenz und die Signalhöhe sind wichtig für eine festzulegende Maßnahme im Rahmen der notwendigen Reduzierung von Oberschwingungen.

Messung von Strömen

Ströme können mit Zangenstromwandlern oder Rogowski-Spulen gemessen werden. Dabei ist das Wandlerübersetzungsverhältnis und die Phasenlage, bezogen auf die jeweilige Spannung, zu beachten. Wenn das Messgerät über eine Darstellung des Zeigerbilds verfügt, ist dieses zur Vermeidung von Messfehlern zu verwenden. Moderne Messgeräte verfügen auch über Möglichkeiten zur Datennachbearbeitung, wenn fehlerhafte Parametrierungen erkennbar sind.

Leistungsmessung

Bei der Leistungsmessung ist in vielen Fällen eine Messung mit der Zeitauflösung zu wählen, die der Abtastrate der eingesetzten Zähler von 15 Minuten entspricht.

Dabei muss angemerkt werden, dass insbesondere in Mittel- und Hochspannungsnetzen auf das Übertragungsverhalten der Spannungswandler zu achten ist. Es ist möglich, dass wandlerabhängig ab 1,0 kHz deutliche Verfälschungen von Messwerten durch interne Resonanzen im induktiven Messwandler auftreten können.

Zunehmend sind heute leistungselektronische Geräte im Einsatz, die geradzahlige Harmonische und Zwischenharmonische generieren. Aus diesem Grund sind aus den Messgeräten die entsprechenden Auswertemodi zu beurteilen und gegebenenfalls im Bericht darzustellen. Insgesamt ist es erforderlich, vor oder nach Abschluss der Messungen eine Genauigkeit der Messergebnisse abzuschätzen. Dazu sind die Genauigkeitsklasse, der Wandler sowie die technischen Daten der Messgeräte heranzuziehen. Auch die Lage zum Beispiel von Rogowski-Spulen hat großen Einfluss auf die Genauigkeit und kann Fehler bis zu 20 Prozent verursachen.

Durchführung der Messung

Vor Beginn der Messung sind mit dem Anlagenbetreiber erforderliche Lastvariationen bzw. Schaltzustände festzulegen, die vom Netzbetreiber zu dokumentieren sind, falls diese Information nicht aus den Messergebnissen eindeutig ersichtlich ist.

Aus diesen Maßnahmen ist auch die Dauer der Messungen ableitbar, die im Normalfall alle Belastungszustände abdecken sollte. Nur dann sind für die Betriebsführung eines Netzes entsprechende Maßnahmen ableitbar – etwa wenn Grenzwerte von Normen erreicht oder überschritten werden.

Bei Messungen von zufälligen Störereignissen sind eventuell Trigger auf Schaltvorgänge oder Laständerungen erforderlich.

Bei längeren, nicht beaufsichtigten Messungen ist darauf zu achten, nur zertifizierte Geräte, Messleitungen und Adapterstücke zu benutzen, um eine Personengefährdung zu vermeiden.

Berichtsform und Empfehlungen

Es gibt zwei Möglichkeiten der Erstellung von technischen Berichten zur Darstellung der Messergebnisse:

- Kurzbericht mit ausgewählten Messergebnissen
- Umfassender Bericht mit einem Theorieteil (Erklärung auftretender Spannungsphänomene wie Flicker, Oberschwingungen, Spannungseinbrüche), einem beschreibenden Textteil und verschiedenen Anlagen für die jeweiligen Messpunkte

In beiden Fällen sollte darauf geachtet werden, dass eine Bewertung der Messungen in Hinblick auf Einhaltung oder Überschreitung der Grenzwerte von Normen oder Vorgaben des Netzbetreibers erfolgt. Somit wird dem Auftraggeber der Netzanalyse, der vielfach kein ausgewiesener Experte für das Thema Spannungsqualität ist, die Möglichkeit gegeben, die durchgeführten Messungen zu bewerten und Schlussfolgerungen für den Betrieb seines elektrischen Netzes zu ziehen.

Es ist grundsätzlich erforderlich, dass bei Überschreitung von Grenzwerten zum Beispiel der Oberschwingungen, des Flickers (schnelle Spannungsschwankungen) und der Blindleistung im Bericht Empfehlungen für netz- und abnehmerseitige Abhilfemaßnahmen angegeben werden:

- Erhöhung der Kurzschlussleistung durch Veränderung der Transformatorleistung bzw. Erhöhung der Netzanschlusskapazität
- Veränderung der Pulsigkeit von Stromrichteranlagen
- Veränderung der netzseitigen Schaltung von Diode auf Active Front-End
- Kapazitive Kompensationsanlagen mit Schutzsteuerung oder NS-Halbleiter-Schaltern bei hoher Lastdynamik, teilweise jedoch auch induktive Anlagen
- Passive Filterkreise (kapazitive Blindleistung beachten)
- Aktive Leistungsfiler
- Dynamische STATCOM-Systeme, die induktive und kapazitive Blindleistung erzeugen können

Es ist weiterhin erforderlich, auf zukünftige Netzänderungen im Kundennetz einzugehen (Erhöhung der Leistung, vermehrter Anschluss von Umrichtern etc.). Bei den Empfehlungen sollten jedoch nur die Wirksamkeit der jeweiligen netz- oder abnehmerseitigen Maßnahmen sowie wirtschaftliche Aspekte wie zum Beispiel die Verlustleistung objektiv beschrieben werden. Dabei ist auf eine Herstellerunabhängigkeit zu achten.

Checkliste Messbericht

✓	Genaue Bezeichnung der Firma, des Standorts, der elektrischen Station und des Messpunkts
✓	Anlass der Messung <ul style="list-style-type: none"> • Betriebsmessung/Routineüberprüfung • Störungsanalyse/Fehlersuche • Datenerfassung zur Auslegung von Neuanlagen/Erweiterung
✓	Messzeitraum
✓	Angaben zum verwendeten Messgerät
✓	Angaben der verwendeten Normen, Richtlinien und eventuell Vorgaben des Verteilnetzbetreibers
✓	Übersichtsschaltbild mit Angabe des Messpunkts und der Schaltzustände (Schalter offen/geschlossen)
✓	Lastangaben <ul style="list-style-type: none"> • nicht lineare Abnehmer (mit aktiven Bauelementen und nicht sinusförmiger Stromaufnahme, z. B. alle Arten von Stromrichtern und Netzteilen) • lineare Abnehmer (mit passiven Bauelementen und sinusförmiger Stromaufnahme) • Eigenerzeugung (Notstrom-Generatoren, BHKW, PV-Anlagen) • Kompensationsanlagen/Filter (aktiv/passiv)
✓	Belastungszustände (mit Zeitangabe) <ul style="list-style-type: none"> • Schichtbetrieb • Wartungsschichten • vom Normalzustand abweichende Lastzustände
✓	Bericht enthält die Darstellung der Ergebnisse und deren Bewertung
✓	Schlussfolgerung und gegebenenfalls Empfehlungen für Maßnahmen



ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik-
und Elektronikindustrie e.V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6302-0
Fax: +49 69 6302-317
E-Mail: zvei@zvei.org
www.zvei.org