



BEDIENUNGSANLEITUNG

NETZQUALITÄTSANALYSATOR PQM-707



**SONEL S.A.
ul. Wokulskiego 11
58-100 Świdnica, Polen**

Version 1.10 21.03.2017



INHALT

1	Allgemeine Informationen	7
1.1	Sicherheit	7
1.2	Allgemeine Merkmale	8
1.3	Spannungsversorgung des Analysators	9
1.4	Messparameter	10
1.5	Normkonformität	11
2	Funktion des Analysators	13
2.1	Analysator EIN/AUS schalten	13
2.2	Auto-off	13
2.3	LED	13
2.4	microSD Speicherkarte	14
2.5	Externes USB Speichermedium	14
2.6	Hauptmenü	15
2.6.1	Menüleiste oben	15
2.6.2	Titel- und Hilfeleiste	16
2.6.3	Menüfenster	16
2.6.4	Informationsleiste der aktuellen Netzparameter	16
2.6.5	Menüleiste unten	17
2.7	Aufnahmekonfiguration	17
2.7.1	Aufnahmekonfiguration – Allgemeine Einstellungen	21
2.7.2	Aufnahmekonfiguration – Allgemeine Einstellungen II	23
2.7.3	Aufnahmekonfiguration - Spannungsparameter	24
2.7.4	Aufnahmekonfiguration - Stromparameter	25
2.7.5	Aufnahmekonfiguration – Leistungsarten	27
2.7.6	Aufnahmekonfiguration – Energie- und Leistungsfaktoren	28
2.7.7	Aufnahmekonfiguration – Flicker und Unsymmetrien	29
2.7.8	Aufnahmekonfiguration - THD und Oberschwingungen	30
2.7.9	Standardkonfigurationseinstellungen	31
2.7.10	Start / Stopp von Aufzeichnungen	32
2.7.11	Ungefähre Aufnahmezeiten	33
2.8	Analysator Einstellungen	34
2.8.1	Analysator Einstellungen – Geräteeinstellungen	34
2.8.2	Analysator Einstellungen – Benutzereinstellungen	35
2.8.3	Analysator Einstellungen – Managers	37
2.9	Analyse der Aufzeichnungen	40
2.9.1	Liste der Aufzeichnungen	40
2.9.2	Zusammenfassung einer Aufzeichnung	41
2.9.3	Zeitdiagramm – Auswahl des Zeitbereichs	42
2.9.4	Zeitdiagramm - Datenauswahl	43
2.9.5	Zeitdiagramm der Parameter - Zeitdiagrammfenster	46
2.9.6	Erstellen eines normkonformen Berichtes	48
2.9.7	Normbericht - Beschreibung	50
2.9.7.1	Bereich ALLGEMEINE INFORMATIONEN	50
2.9.7.2	Bereich MESSSTATISTIKEN	50
2.9.7.3	Bereich FREQUENZ	52
2.9.7.4	Bereich SPANNUNG	53
2.9.7.5	Bereich PHASE-PHASE SPANNUNG	53
2.9.7.6	Bereich FLICKER	53
2.9.7.7	Bereich UNSYMMETRIE	54

2.9.7.8	Bereich OBERSCHWINGUNGEN HÖHERER ORDNUNG	54
2.9.7.9	Bereich OBERSCHWINGUNGEN HÖHERER ORDNUNG – ZUSÄTZLICHE INFORMATION	54
2.9.7.10	Bereich ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN - EREIGNISSE	54
2.9.7.11	Bereich ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN - STATISTIKEN MEHRPHASIGER EREIGNISSE	54
2.9.7.12	Bereich ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN	55
2.9.8	Graph der Oberschwingungen	55
2.9.9	Ereignisliste	55
2.9.10	Energiekosten Rechner	59
2.9.10.1	Einstellungen des Energiekostenrechners	60
2.10	Einschaltstrom	62
2.10.1	Konfiguration der Einschaltstrommessung	63
2.10.2	Einschaltstrommessung und Analyse	65
2.11	Über PQM-707 Analysator	68
2.12	Netzqualitätsdiagnose im LIVE Modus	68
2.12.1	Wellenformen von Strom und Spannung	69
2.12.2	Zeitdiagramm von RMS Werten	70
2.12.3	Live Modus – Tabellenansicht	71
2.12.4	Phasor Diagramm	72
2.12.5	Oberschwingungen Graph/Tabelle	73
2.13	Arbeiten mit PC	75
2.13.1	"Sonel Analysis" Software	75
2.13.2	Verbindung zum PC und Datenübertragung	76
2.14	Schaltbilder	76
2.14.1	Überprüfung der Anschlüsse	82
2.15	Anwendungsbeispiel	84
3	Ausführung und Messmethoden	89
3.1	Spannungseingänge	89
3.2	Stromeingänge	89
3.3	Digitaler integrator	89
3.4	Signalabtastung	90
3.5	PLL-Synchronisation	90
3.6	Frequenzmessung	91
3.7	Methode der Messung der Komponenten der Oberwellen	91
3.8	Erkennung von Ereignissen	93
3.9	Mittelungsmethoden der Parameter	94
4	Berechnungsformeln	95
4.1	Einphasen-Netz	95
4.2	Zweiphasennetz	98
4.3	3-Phasen 4-Leiter Netzwerk	100
4.4	3-Phasen 3-Leiter Netzwerk	102
5	Qualität der Stromversorgung – Leitfaden	104
5.1	Allgemeine Informationen	104
5.1.1	Harte Zangen (CT) zur Messung von Wechselstrom (AC)	105
5.1.2	Zangen zur Messung von Wechselstrom und Gleichstrom (AC/DC)	105
5.1.3	Flexible Zangen (biegsam)	106
5.2	Flimmern (Flicker)	107

5.3	<i>Leistungsmessung</i>	107
5.3.1	<i>Wirkleistung</i>	108
5.3.2	<i>Blindleistung</i>	108
5.3.3	<i>Blindleistung und 3-Leiter-Systeme</i>	112
5.3.4	<i>Blindleistung und Blindverbrauchszähler</i>	112
5.3.5	<i>Scheinleistung</i>	114
5.3.6	<i>Die Verzerrungsleistung D_B und die effektive Scheinleistung der Verzerrung S_{eN}</i>	115
5.3.7	<i>Leistungsfaktor</i>	116
5.4	<i>Oberwellen</i>	116
5.4.1	<i>Charakteristik der Oberwellen in Dreiphasennetzen</i>	118
5.4.2	<i>THD-Faktor</i>	119
5.5	<i>Unsymmetrie</i>	120
5.6	<i>Erkennung von Spannungseinbrüchen, Überspannungen und Stromausfällen</i>	122
5.7	<i>Diagramme CBEMA und ANSI</i>	123
5.8	<i>Mittelung der Messergebnisse</i>	125
6	<i>Technische Daten</i>.....	128
6.1	<i>Eingänge</i>	128
6.2	<i>Abtastung und RTC-Uhr</i>	129
6.3	<i>Gemessene Parameter - Genauigkeit, Auflösung und Bereiche</i>	129
6.3.1	<i>Bezugsbedingungen</i>	129
6.3.2	<i>Messungenauigkeiten innerhalb des angegebenen Temperaturbereiches</i>	129
6.3.3	<i>Spannung</i>	130
6.3.4	<i>Strom</i>	130
6.3.5	<i>Frequenz</i>	131
6.3.6	<i>Oberwellen</i>	131
6.3.7	<i>Leistung und Energie</i>	132
6.3.8	<i>Schätzung der Messunsicherheit der Leistung und Energie</i>	132
6.3.9	<i>Lichtflimmern (Flicker)</i>	134
6.3.10	<i>Unsymmetrie</i>	134
6.4	<i>Ereigniserkennung - Effektivwerte der Spannung und des Stromes</i>	134
6.4.1	<i>Hysterese der Ereigniserkennung</i>	135
6.5	<i>Aufzeichnung</i>	135
6.6	<i>Spannungsversorgung</i>	136
6.7	<i>Unterstützte Netztypen</i>	137
6.8	<i>Unterstützte Stromzangen</i>	137
6.9	<i>Kommunikation</i>	137
6.10	<i>Umweltbedingungen und andere technische Daten</i>	138
6.11	<i>Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit</i>	138
6.12	<i>Standards</i>	139
7	<i>Zubehör</i>.....	140
7.1	<i>7.1 Standard equipment</i>	140
7.2	<i>7.2 Optionales Zubehör</i>	140
7.2.1	<i>C-4(A) Zangen</i>	143
7.2.2	<i>C-5(A) Zangen</i>	144
7.2.3	<i>C-6(A) Zangen</i>	147
7.2.4	<i>C-7(A) Zangen</i>	149
7.2.5	<i>Zangen F-1(A), F-2(A), F-3(A)</i>	150

8	Weitere Informationen.....	152
8.1	<i>Wiederaufladbare Batterien.....</i>	<i>152</i>
8.2	<i>Austauschen der wiederaufladbaren Batterien (Akkus).....</i>	<i>152</i>
8.3	<i>Einstellen der Geräteabdeckung</i>	<i>153</i>
8.4	<i>Reinigung und Instandhaltung</i>	<i>153</i>
8.5	<i>Lagerung</i>	<i>154</i>
8.6	<i>Zerlegen und Entsorgung</i>	<i>154</i>
8.7	<i>Hersteller</i>	<i>154</i>
8.8	<i>Labordienstleistungen</i>	<i>155</i>

1 Allgemeine Informationen

1.1 Sicherheit



Das Netzqualitätsanalysegerät PQM-707 wurde entwickelt, um verschiedene Parameter des Versorgungsnetzes zu messen, aufzuzeichnen und zu analysieren. Um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten, müssen die folgenden Anweisungen befolgt werden:

- Bevor Sie das PQM-707 in Gebrauch nehmen, machen Sie sich ausführlich mit dieser Bedienungsanleitung vertraut und halten Sie sämtliche Sicherheitsvorschriften des Herstellers ein.
- Jegliche andere Verwendung, als in dieser Anleitung beschrieben, kann das Gerät zerstören oder eine Gefahr für den Anwender darstellen.
- Der Analysator darf nur von durch Zertifikate ausreichend qualifiziertem Personal an elektrischen Systemen verwendet werden. Unautorisierter Gebrauch des Analysators, kann zur Beschädigung und zu einem ernsthaften Risiko für den Nutzer führen.
- Das Gerät darf nicht an Netzen oder Geräten in Ex geschützter oder feuergefährlicher Umgebung verwendet werden.
- Es ist verboten, das Gerät unter folgenden Bedingungen zu betreiben:
 - ⇒ Es ist beschädigt und teilweise oder komplett außer Betrieb.
 - ⇒ Die Isolierung der Kabel und Leitungen ist beschädigt.
- Betreiben Sie das Gerät nicht mit anderen Spannungen als in dieser Anleitung vorgeschrieben.
- Schließen Sie den Analysator wenn möglich an entladene Stromkreise an.
- Reparaturen dürfen nur durch autorisierte Servicestellen durchgeführt werden.



Die Messkategorie des gesamten Systems hängt von dem verwendeten Zubehör ab. Am Analysator angeschlossenes Zubehör (z.B. Stromzangen) einer niedrigeren Messkategorie setzt die Messkategorie des gesamten Systems auf diesen Wert herab.



Warnung!

Der PE-Eingang am Analysator darf nur zur lokalen Erdung verwendet werden. Schließen Sie diesen Eingang niemals an Spannungen an.

1.2 Allgemeine Merkmale

Der PQM-707 (Abb. 1) ist ein mobiler 3-Phasen Netzqualitätsanalysator, welcher es dem Benutzer ermöglicht, Messungen, Analysen und Aufnahmen von Parametern in 50/60 Hz Stromnetzen gemäß Europäischer Norm EN 50160 und weiteren Normen durchzuführen. Der Analysator entspricht der Messgenauigkeit Klasse S gemäß den Anforderungen IEC 61000-4-30:2008.

Ein komfortables Arbeiten bietet das 7 Zoll LCD Display mit Multipoint Touchfunktion mit einer Auflösung von 800x480. Alternativ kann der beiliegende Taststift zur Bedienung verwendet werden. Auf dem Display werden die aktuellen Netzparameter, wie Wellenform, Vektoren und Tabellen dargestellt. Die Benutzeroberfläche beinhaltet die komplette Konfiguration des Analysators. Es können die Parameter für die Datenaufnahme oder -logging eingestellt, die entsprechenden Analyseinstellungen (Zeit-Oberschwingungen-Diagramm) gesetzt und normgerechte Berichte erstellt werden.

Es werden nur 2 Tasten zum Einschalten oder Starten von Datenaufzeichnungen benötigt.

Der Analysator hat 5 Spannungseingänge (Bananenbuchsen) gekennzeichnet mit L1, L2, L3, N und PE. Der Spannungsbereich, welcher mit den 4 Messkanälen gemessen werden kann, liegt bei max. ± 1150 V. Die Verwendung von externen Messwandlern ermöglichen es dem Analysator in Stromnetzen mit höheren Spannungen einzusetzen.

Vier Stromeingänge für Stromzangen ermöglichen es dem Nutzer, verschiedenen Typen von Zangen zur Strommessung anzuschließen. Es können folgende Typen von Stromzangen angeschlossen werden: flexible Zangen [Kennzeichnung: F-1(A), F-2(A) oder F-3(A)] mit nominalem Strom bis 3000A (Unterschied der Zangen liegt im Spulendurchmesser) und Stromwandlerzangen C-4(A) (bis zu 1000A AC), C-5(A) (bis zu 1000A AC/DC), C-6(A) (bis zu 10A AC) und C-7(A) (bis zu 100A AC). Auch im Fall der Strommessung kann der nominale Wert durch externe Stromwandler verändert werden. Wird ein Wandler 10 000 A / 5 A mit Zangen C-6 (A) verwendet, ist es möglich Ströme bis 10 000 A zu messen. Der Analysator erkennt automatisch den Typ der angeschlossenen Zangen (vorausgesetzt, der Zangentyp besitzt die Kennzeichnung A und es wurde der richtige Zangentyp in der Aufnahmekonfiguration eingestellt).

Das Gerät enthält eine nutzerzugängliche 4GB microSD-Speicherkarte. Diese kann zum Abspeichern aufgezeichneter Datendateien, Berichten oder Screenshots verwendet werden. Es ist zusätzlich ein interner kleinerer Speicher im Gerät vorhanden, welcher zum Hinterlegen von Konfigurationsdateien, Standardeinstellungen etc. verwendet wird.

Aufnahmeparameter sind in Gruppen unterteilt, welche unabhängig zueinander an- oder abgewählt werden können, um nicht unnötig Speicherplatz der SD Karte zu belegen.

Der PQM-707 ist kompatibel zur *Sonel Analysis* PC Software, welche auch mit den anderen Modellen der PQM Serie von *Sonel* arbeitet. In der aktuellen Version kann zwischen der Darstellung des gemessenen Stromnetzes im „live“ Modus und der Analyseansicht aufgezeichneter Daten gewählt werden.

Die Daten können direkt über den USB-Anschluss (Typ B zum PC) oder von der microSD-Karte gelesen werden.

Des Weiteren ist auch ein USB-Anschluss Typ A zum Anschließen eines externen Speichermediums vorhanden. Über die Bedienoberfläche des Analysators können dann die Daten wie z.B. Einstellungen oder Berichte übertragen werden.

1 Allgemeine Informationen

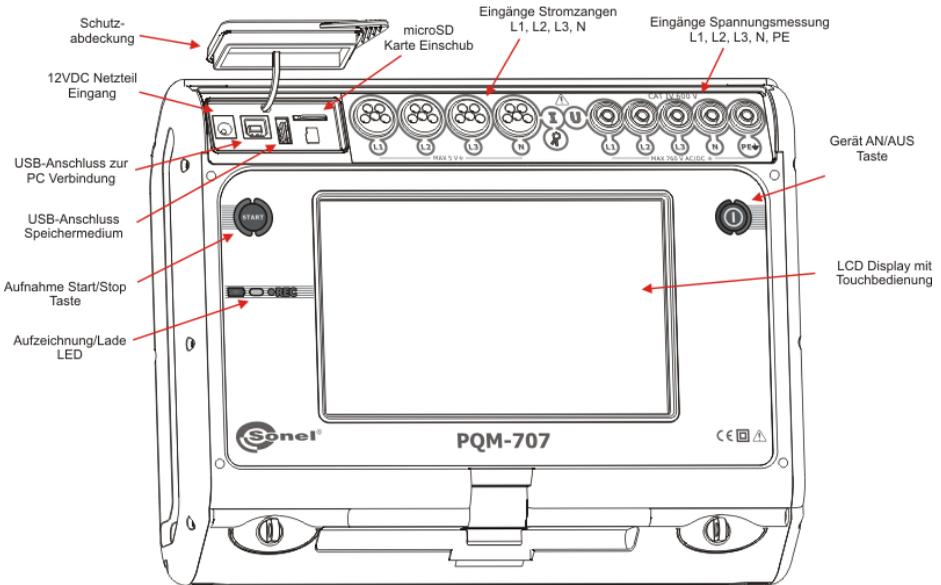


Abb. 1. Übersicht Netzqualitätsanalyzer PQM-707

1.3 Spannungsversorgung des Analyzers

Der Analyser wird von zwei Spannungsquellen versorgt: einem externen Netzteil (Eingangsspannung 100...240 V AC, Ausgang 12 V DC) und einem auswechselbaren Li-Ion-Akku-Pack. Ein voll aufgeladener Akku gewährleistet eine ununterbrochene Laufzeit von mindestens 4 Stunden ohne zusätzliche externe Spannungsversorgung. Wird diese am Gerät angeschlossen, wird gleichzeitig der Akku mit geladen. (Siehe detaillierte Beschreibung in Abschnitt 8.1). Ist der Akku entladen, stoppt das Gerät den aktuellen Vorgang, z.B. eine Aufnahme und schaltet sich in den Notfallmodus ab. Wird das Gerät wieder mit Spannung versorgt, fährt der Analyser mit der unterbrochenen Aktion fort.

Eine weitere Möglichkeit das Messgerät wieder aufzuladen, ist es mit einem USB Kabel am PC oder einem Ladegerät mit USB Ausgang anzuschließen. Der Ladestrom ist dann dementsprechend reduziert, (ca. 15x geringer) was eine verlängerte Ladezeit bedeutet. Diese Art das Gerät zu laden funktioniert aber nur im komplett ausgeschalteten Zustand (nicht im Sleep-Modus).

Akkupacks für das PQM-707 (Li-Ion 11,1 V, 3,4 Ah) sind in unserem Shop oder über das Sonel Vertriebsnetz erhältlich.

1.4 Messparameter

Folgende Parameter können mit dem PQM-707 gemessen und aufgezeichnet werden:

- RMS Spannungen bis zu 760 VAC bezogen auf PE Eingang (max. Messbereich bis zu ± 1150 V)
- RMS Ströme: bis zu 3000 A (Spitzenströme – bis zu ± 10 kA bei 50 Hz) mit flexiblen Zangen F-1(A), F-2(A), F-3(A); bis zu 1000 A (Spitzenwerte – bis zu ± 3600 A) mit festen Stromzangen C-4(A) oder C-5(A); bis zu 10 A (Spitzenwerte – bis zu ± 36 A) mit C-6(A) Zangen, oder bis zu 100 A (Spitzenwerte - bis zu ± 360 A) mit C-7(A) Zangen
- Crestfaktoren und Spannung
- Netzfrequenz im Bereich von 40...70 Hz
- Wirk-, Blind- und Scheinleistung und -energie, Verzerrungsleistung
- Oberschwingungen von Spannungen und Strömen (bis zur 40. Harmonischen)
- Gesamtklirrfaktor THD_F für Ströme und Spannungen
- Leistungsfaktor PF, $\cos\phi$, $\tan\phi$
- Unsymmetriefaktoren für 3-Phasen Netze und symmetrische Komponenten
- Flicker P_{ST} und P_{LT}

Einige der Parameter setzen sich aus einem Mittelungswert bezogen auf die ausgewählten Zeiten des Benutzers zusammen (mögliche Einstellungen: 1s, 3s, 10s, 30s, 1min, 10min, 15min, 30min). Weiter können in individuellen Mittelungszeiträumen auch Minimal- und Maximalwerte aufgezeichnet werden.

Der Analysator erkennt die folgenden Arten von Spannungsereignissen: Spannungseinbruch, Spannungsspitze und Unterbrechung. Es können zwei Schwellenwerte für den Strom vom Benutzer definiert werden: der Spitzenwert, welcher das Überschreiten des Maximalwertes signalisiert, und der Minimalwert, welcher einen Abfall unterhalb des Minimalwertes angibt. Der Strom im Neutralleiter hat zwei unabhängige Schwellenwerte. In DC Netzen gibt es zwei Schwellenwerte: das Überschreiten der Maximal- und Minimalspannung.

Die Registrierung von Ereignissen wird begleitet von der Aufzeichnung von Strom- und Spannungscurvenverläufen und RMS Werten. Diese Verläufe werden am Anfang und Ende eines Ereignisses aufgezeichnet.

Tab. 1 zeigt eine Zusammenfassung der möglichen Messparameter des PQM-707, abhängig von der Netzart.

Tab. 1. Messparameter für verschiedene Netzkonfigurationen

Stromnetz, Kanal		1-Phase		2-Phasen			3-Phasen 4-Leiter				3-Phasen 3-Leiter			DC		DC+M					
		L1	N	L1	L2	N	Σ	L1	L2	L3	N	Σ	L12	L23	L31	Σ	L1	L1	L2	Σ	
U	RMS Spannung	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•						
U _{DC}	DC Spannung	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•		
I	RMS Strom	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•						
I _{DC}	DC Strom	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•		
F	Frequenz	•		•				•					•								
CF U	Crestfaktor der Spannung	•		•		•		•	•	•	•	•	•	•	•						
CF I	Crestfaktor des Stromes	•		•		•		•	•	•	•	•	•	•	•						
P	Wirkleistung	•		•	•			•	•	•	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•
Q _r , Q _B	Blindleistung	•		•	•			•	•	•	•	•	•	•	•		• ⁽¹⁾				
D, S _N	Verzerrungsleistung	•		•	•			•	•	•	•	•	•	•	•						
S	Scheinleistung	•		•	•			•	•	•	•	•	•	•	•		•				
PF	Leistungsfaktor	•		•	•			•	•	•	•	•	•	•	•		•				
cosφ	Verschiebungsleistungsfaktor	•		•	•			•	•	•	•	•	•	•	•						

1 Allgemeine Informationen

$\tan\phi$	Faktor tangens ϕ	•		•	•		•	•	•	•	•					•(1)				
THD U	Gesamtklirrfaktor der Spannung	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•						
THD I	Gesamtklirrfaktor des Stromes	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•						
E_{P+}, E_{P-}	Wirkenergie (aufgenommen und abgegeben)	•		•	•		•	•	•	•	•					•(2)	•(2)	•(2)	•(2)	
$E_{Q1+}, E_{Q1-}, E_{OB+}, E_{OB-}$	Blindenergie (aufgenommen und abgegeben)	•		•	•		•	•	•	•	•					•(1)				
E_S	Scheinenergie	•		•	•		•	•	•	•	•					•				
$U_{h1..}..U_{h40}$	Oberschwingungen der Spannung	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•						
$I_{h1..}..I_{h40}$	Oberschwingungen des Stromes	•	•	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•						
Unsymmetrie U, I	Symmetrische Komponenten und Unsymmetriefaktoren															•				
P_{ST}, P_{LT}	Flickerstärke	•		•	•			•	•	•			•	•						

Erklärungen: L1, L2, L3 (L12, L23, L31) zeigt die folgenden Phasen an, N dient als Eingang der Spannungsmessung oder Strommessung I_N , abhängig vom Parametertyp.
 Σ gibt den gesamten Wert des Systems an.
 (1) In 3-Phasen Netzen wird die gesamte Blindleistung als inaktive Leistung wie folgt berechnet: $N = \sqrt{S_g^2 - P^2}$ (Siehe Erörterung zur Blindleistung in Abschnitt 5.2)
 (2) Nur aufgenommene Energie E_{P+}

1.5 Normkonformität

Der Analysator wurde entwickelt, um den Anforderungen folgender Normen zu entsprechen. Normen geltend für Messungen von Netzparametern:

- IEC 61000-4-30:2008 – Electromagnetic compatibility (EMC) - Testing and measurement techniques - Power quality measurement methods.
- IEC 61000-4-7:2007 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Testing and Measurement Techniques - General Guide on Harmonics and Interharmonics Measurements and Instrumentation for Power Supply Systems and Equipment Connected to them.
- IEC 61000-4-15:1999 – Electromagnetic compatibility (EMC) – Testing and Measurement Techniques - Flickermeter - Functional and Design Specifications.
- EN 50160:2010 – Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks.

Sicherheitsnormen:

- IEC 61010-1 – Safety requirements for electrical equipment for measurement control and laboratory use. Part 1: General requirements.
- IEC 61010-2-030 – Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use - Part 2-030: Particular requirements for testing and measuring circuits.

Normen zur elektromagnetischen Verträglichkeit:

- IEC 61326 – Electrical equipment for measurement, control and laboratory use. Requirements for electromagnetic compatibility (EMC).

Der PQM-707 entspricht allen Anforderungen der Messgenauigkeitsklasse S wie in IEC 61000-4-30 festgelegt. Eine Zusammenfassung der Anforderungen finden Sie in der folgenden Tabelle.

Tab. 2. Zusammenfassung ausgewählter Parameter hinsichtlich Normkonformität

Gruppierung von Messungen bei verschiedenen Intervallen	IEC 61000-4-30 Klasse S: <ul style="list-style-type: none"> • Basismesszeit an 50 Hz Netzen für die Parameter (Spannung, Strom, Oberschwingungen und Unsymmetrie) ist ein 10-Perioden-Intervall. An 60 Hz Netzen ein 12-Perioden-Intervall. • Intervall von 3 s (150 Perioden für die nominale Frequenz von 50 Hz und 180 Perioden für 60 Hz). • Intervall von 10 Minuten • Intervall von 2 h (basierend auf 12 Intervallen von je 10 Min.)
Echtzeituhr (RTC) Ungenauigkeit	IEC 61000-4-30 Klasse S: <ul style="list-style-type: none"> • Interne Echtzeituhr mit einer Genauigkeit besser als $\pm 5 \text{ s} / 24 \text{ h}$.
Frequenz	Konform nach IEC 61000-4-30 Klasse S der Messmethode und angegebener Ungenauigkeit
Versorgungsspannung	Konform nach IEC 61000-4-30 Klasse S der Messmethode und angegebener Ungenauigkeit
Spannungsflicker	Die Messmethode und angegebene Ungenauigkeit entspricht den Anforderungen der Norm IEC 61000-4-15.
Dips, Unterbrechungen und Überspannung im Versorgungsnetz	Konform nach IEC 61000-4-30 Klasse S der Messmethode und angegebener Ungenauigkeit
Unsymmetrie der Versorgungsspannung	Konform nach IEC 61000-4-30 Klasse S der Messmethode und angegebener Ungenauigkeit
Oberschwingungen von Spannung und Strom	Konform nach IEC 61000-4-30 Klasse S der Messmethode und angegebener Ungenauigkeit (IEC 61000-4-7 class II)

2 Funktion des Analysators

2.1 Analysator EIN/AUS schalten

Der Analysator wird durch Betätigen der Taste  eingeschaltet. Bis der gesamte Initialisierungsprozess komplett durchlaufen ist, dauert es ca. 30 Sekunden. Am Display wird während des Startprozesses die eingespielte Softwareversion angezeigt. Nach erfolgreichem Bootprozess zeigt das Display den Startbildschirm, welcher individuell durch den Benutzer eingestellt werden kann. Der Standardstartbildschirm wird in Abb. 2 angezeigt.

Der Analysator wird durch Betätigen der Taste  auch ausgeschaltet (bei inaktiver Aufnahme). Es wird ein Fenster angezeigt, in dem der Benutzer die Art der Abschaltung festlegen kann:

- **SHUTDOWN (HERUNTERFAHREN)** – Komplette Abschaltung mit minimalstem Stromverbrauch. Diese Auswahl stoppt den gesamten Arbeitsprozess und schaltet das Gerät ab. Das erneute Starten des Gerätes dauert danach wieder ca. 30 Sekunden. Der Vorteil dieser Methode ist eine Langzeitlagerung des Gerätes ohne ein signifikantes Entladen der Akkus.
- **SUSPEND (SPERREN)** – Stand-by-Modus des Analysators. Dieser Modus ermöglicht dem Benutzer ein schnelles Starten des Gerätes. Der Akkuverbrauch in diesem ausgeschalteten Zustand ist jedoch höher und hält bis zur völligen Entladung ca. 40 Stunden. Nach Überschreiten des kritischen Entladezustands der Akkus schaltet sich der Analysator komplett ab.

(Siehe Option **SHUTDOWN (HERUNTERFAHREN)**).

In einigen Situationen wird das Abschalten des Gerätes jedoch blockiert:

- Wenn der Analysator im Aufnahmemodus ist. Dies wird durch eine Meldung im Display angezeigt. Um das Gerät abzuschalten, muss zuerst die Aufnahme gestoppt werden.
- Wenn der Analysator Prozesse ausführt, welche nicht unterbrochen werden können, z.B. Softwareupdates. Warten Sie in diesem Fall bis das Gerät in den Stand-by-Modus gewechselt ist.

2.2 Auto-off

Der Benutzer kann diese Option aktivieren, um das Gerät automatisch nach 10-30 Minuten Inaktivität abzuschalten. (Siehe Abschnitt 2.8.2). Der Analysator wird nur dann um Energie zu sparen abgeschaltet, wenn er durch den Akku versorgt wird, sich nicht im Aufnahmemodus befindet und keine PC-Verbindung aktiv ist.

Der PQM-707 schaltet sich ebenfalls automatisch ab, wenn die Batterien komplett entladen sind. Diese Notabschaltung wird unabhängig vom aktuellen Modus, in dem sich der Analysator befindet, durchgeführt. Im Falle einer Aufnahme wird diese unterbrochen. Wird wieder eine Versorgungsspannung am Analysator angelegt, wird die Aufnahme fortgesetzt. Eine Notabschaltung wird durch eine entsprechende Meldung am Display angezeigt.

2.3 LED

Eine zweifarbige LED unterhalb der  (START) Taste zeigt den Aufnahme- und Ladestatus des Akkus an.

Rote LED zeigt den Aufnahmezustand an:

- LED blinkt während der Aufnahme mit einer Frequenz von 0,5 Hz (alle 2 Sekunden).
- LED ist aus, bei inaktiver Aufnahme.

Grüne LED zeigt den Akkuzustand an:

- LED leuchtet dauerhaft grün, wenn keine Aufnahme aktiv ist und der Akku geladen wird. (auch bei ausgeschaltetem Gerät)

- Während des Ladens und der aktiven Aufnahme blinkt die LED alle 10 Sekunden grün.
- Die LED blinkt mit einer Frequenz von 0,5 Hz, wenn ein Ladefehler erkannt wird (Temperaturüberschreitung, kein Akku vorhanden). Ist gleichzeitig eine Aufnahme aktiv, blinkt die LED abwechselnd rot und grün. Blinkt die LED für längere Zeit grün, auch wenn die Umgebungstemperatur den angegebenen Spezifikationen entspricht und sowohl die Akkutemperatur im Bereich zwischen 0°C und 45°C liegt, kann es sich um einen defekten Akku handeln. Kontaktieren Sie in diesem Fall den Herstellerservice.

2.4 *microSD Speicherkarte*

Die herausnehmbare microSD HC Karte ist der primäre Speicherplatz von:

- Aufgezeichneten Messdaten
- Normgerechten Berichten
- Screenshot Dateien

Ein Statusbalken zeigt den Zustand der Karte und den noch frei verfügbaren Speicherplatz dieser an.

Um ein reibungsloses Arbeiten des Analysators zu gewährleisten und um Datenverlust zu verhindern, beachten Sie Folgendes:

- Entfernen Sie die Speicherkarte nicht aus dem Gerät, während eine Aufnahme läuft. Ein Nichtbefolgen dieses Hinweises unterbricht den Aufnahmeprozess, kann zur Beschädigung aufgezeichneter Daten und eventuell zur Beschädigung der gesamten Datenstruktur der bereits aufgezeichneten Daten auf der Karte führen.
- Verändern, löschen oder speichern Sie keine Daten im Nachhinein manuell auf der Karte. Erkennt die Karte beim erneuten Lesen einen Fehler im Dateisystem, wird die Anweisung zur kompletten Formatierung gegeben. Erst nach der Formatierung (Verlust, Löschung aller vorhandenen abgespeicherten Daten) ist die Speicherkarte wieder verwendbar.
- Bevor Sie die Speicherkarte aus dem Gerät nehmen, (z.B. zum Einlesen der Daten mit der *Sonel Analysis Software*) wird es empfohlen, das Gerät vorher abzuschalten, um alle im Zwischenspeicher (Cache) vorhandenen Daten abzuspeichern.

Die microSD Speicherkarte kann von der Benutzeroberfläche des Analysators heraus formatiert werden. Wählen Sie **ANALYZER SETTINGS (ANALYSATOR EINSTELLUNGEN)**, dann **MEMORY (SPEICHER)**. Ebenso unter (siehe Abschnitt. 2.8.1).

2.5 *Externes USB Speichermedium*

Der Anschluss eines externen USB-Sticks ermöglicht dem Benutzer:

- Dateien mit erstellten Normberichten von microSD Speicherkarte auf das USB-Speichermedium zu kopieren.
- Dateien von Screenshots von microSD Speicherkarte auf den USB-Speichermedium zu kopieren.
- Das Abspeichern der LOG-Datei im Falle eines Gerätefehlers zur Analyse und Fehlerbehebung durch den Service des Herstellers.
- Firmware Updates. Speichern Sie dazu zuerst die von der Herstellerseite <http://www.sonel.pl/en/download/firmware.html> heruntergeladene Firmware Datei (entpackt aus .ZIP Datei) im Rootverzeichnis des USB-Sticks. Schließen Sie den USB-Stick am Prüfgerät an und wählen Sie im Hauptverzeichnis **ANALYZER (SETTINGS ANALYSATOR EINSTELLUNGEN)** dann **UPGRADES**. Wird eine richtige Updatedatei erkannt, wird dies mit einer entsprechenden Meldung angezeigt. Folgen Sie dann den Anweisungen am Display.

2 Funktion des Analysators

Unterstützte Dateisysteme sind FAT und FAT32. Wird ein Datenträger mit einem anderen Dateisystem am Gerät angeschlossen, wird eine Meldung angezeigt, dass ein unformatierter Datenträger erkannt wurde. Von diesem Fenster gelangt der Benutzer dann direkt ins Formatierungsmenü.

Die Daten werden am USB Stick im Ordner "PQM-707_DATA" hinterlegt.

2.6 Hauptmenü

Abb. 2 zeigt das Standardhauptmenü des Analysators nach dem Einschalten an. Dieses ist in verschiedene Bereiche unterteilt:

- Menüleiste oben **1**
- Menüanzeige und Hilfeleiste **2**
- Menüfenster **3**
- Infoleiste der aktuellen Netzparameter **4**
- Menüleiste unten **5**



Abb. 2. Hauptmenü des Analysators

2.6.1 Menüleiste oben

Die Menüleiste oben



Abb. 3) enthält folgende Elemente:



Abb. 3. Elemente der oberen Menüleiste

- Aktuelles Datum und Zeit des Analysators **1**.
- Funktion der Taste **HOLD (HALTEN) 2**. Das Betätigen dieser Taste am Display während des LIVE Modus (Ansicht des aktuellen Netzwerks, siehe Abschnitt **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**), unterbricht die Aktualisierung des im Hauptfenster dargestellten Bildes. Durch ein wiederholtes Betätigen gelangt man in den vorherigen normalen Modus zurück.
- **3** zeigt, ob der Analysator richtig angeschlossen ist. Das Symbol gibt Aufschluss über Potentialprobleme, falschem Anschluss oder Konfiguration. Betätigen des Symbols (✓, ? oder ✗), öffnet ein neues Fenster mit detaillierten Informationen zur Fehlerbehebung. Weiter Informationen dazu finden Sie in Abschnitt **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**
- Aufnahmestatussymbol **4**. Dieses Symbol ist bei inaktiver Aufnahme grün. Nach Aufnahmeart wird dieses rot.
- Informationen zu angeschlossenen oder konfigurierten Stromzangen **5**. Wurden anhand der Konfiguration keine Zangen erkannt, so wird hier "---" angezeigt, ansonsten die Typenbezeichnung dieser. Im Auto Erkennungsmodus wird ebenfalls die Typenbezeichnung der erkannten Zange angezeigt. (Es müssen dazu an allen Messkanälen der gleiche Typ angeschlossen sein oder ein Fragezeichen "?", wenn keine Zangen angeschlossen oder erkannt werden, wird angezeigt sind).
- Speicherkartensymbol mit Informationen zu verbleibendem Speicher **6**. Ist keine Speicherkarte eingelegt, wird dieses Symbol durchgestrichen am Display angezeigt.
- Externes USB-Speicher Symbol. (USB Stick) **7**. Ist keine USB Stick eingelegt, wird dieses Symbol durchgestrichen am Display angezeigt.
- Symbol des Batterieladestatus und externer Spannungsversorgung **8**.

2.6.2 Titel- und Hilfeleiste

Die Menüanzeige (Abb. 2, Element **2**) zeigt das aktuell ausgewählte Menü und den Bereich an, in dem sich der Benutzer gerade befindet. Am rechten Rand der Leiste ist das Hilfe Symbol **?** dargestellt. Nach Auswahl dieses Symbols, wird ein Kontextmenü angezeigt, welches die sich im aktuellen Display befindlichen Element beschreibt.

2.6.3 Menüfenster

Im zentralen Teil des Displays befindet sich das Standardmenüfenster des Analysators, welches aus vier Elementen besteht (siehe Abb. 2):

- **RECORDING CONFIGURATION (AUFNAHMEKONFIGURATION)**. In diesem Teil werden die Aufnahmeparameter und damit zusammenhängend Einstellungen wie: Netzform (z.B. 1-Phasen, 3-Phasen Netz), Stromzangentyp oder Wandler konfiguriert.
- **RECORDING ANALYSIS (AUFNAHMEANALYSE)** – ermöglicht eine Analyse der aufgezeichneten Daten und eine "live" Darstellung der Aufnahme.
- **ANALYZER SETTINGS (ANALYSATOR EINSTELLUNGEN)** – Allgemeine Einstellungen des Analysators, wie z. B. Datum, Zeit, Normeinstellungen, Energie- u. Speichermanagement.
- **ANALYZER INFORMATION (GERÄTE INFO)** – Hier wird ein Fenster mit Detailangaben zu Gerät und Hersteller angezeigt.

Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Sektionen finden Sie in den folgenden Kapiteln.

2.6.4 Informationsleiste der aktuellen Netzparameter

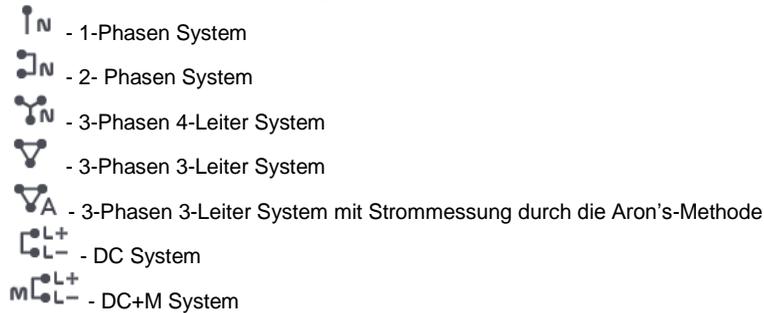
Unterhalb des Hauptfensters werden in der Leiste die Netzparameter zur aktuellen Netzmesung angezeigt. (Abb. 2, Element **4**):

- Nennspannung
- Netzfrequenz
- Netzform

2 Funktion des Analysators

- Name der aktuellen Aufnahmekonfiguration

Die Netzformen werden durch folgende Symbole gekennzeichnet:



2.6.5 Menüleiste unten

Die Menüleiste unten (Abb. 2, Element **5**) enthält verschiedene Touch-Symbole, welche sich mit dem dargestellten Menü individuell ändern. Die entsprechenden Symbole werden in den Abschnitten der dazugehörigen Menüanzeigen beschrieben. In einigen Fällen erscheint ein weiteres Menü oberhalb dieser Menüleiste.

Einige Symbole haben im gesamten Menüverlauf des Analysators stetig die gleiche Bedeutung und Funktion:

- Zurück zum Hauptmenü
- Zurück zur vorherigen Anzeige
- Speichern eines Screenshots auf die microSD Speicherkarte
- Öffnen eines zusätzlichen Zoom-Menüs für das Diagramm

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Menüleistensymbole und ihre Funktionen speziell für die entsprechende Ansicht separat im Teil "Funktionen der Menüleiste" erläutert.

2.7 Aufnahmekonfiguration

Vor dem Starten einer Messung ist es erforderlich den Analysator entsprechend den Anforderungen des Nutzers zu konfigurieren. Die Einstellungen werden direkt in den Menüs des Analysators vorgenommen. Dies ist momentan der einzige Weg der Analysatorkonfiguration. Die Software Sonel Analysis in der aktuellen Version (3.0.0) unterstützt die Konfiguration des PQM-707 nicht.

Um ins Einstellungsmenü zu gelangen, wählen Sie im Hauptmenü **RECORDING CONFIGURATION (AUFNAHMEKONFIGURATION)**. Es erscheint die Liste der bereits erstellten und im Speicher abgelegten Konfigurationen (Abb. 4).

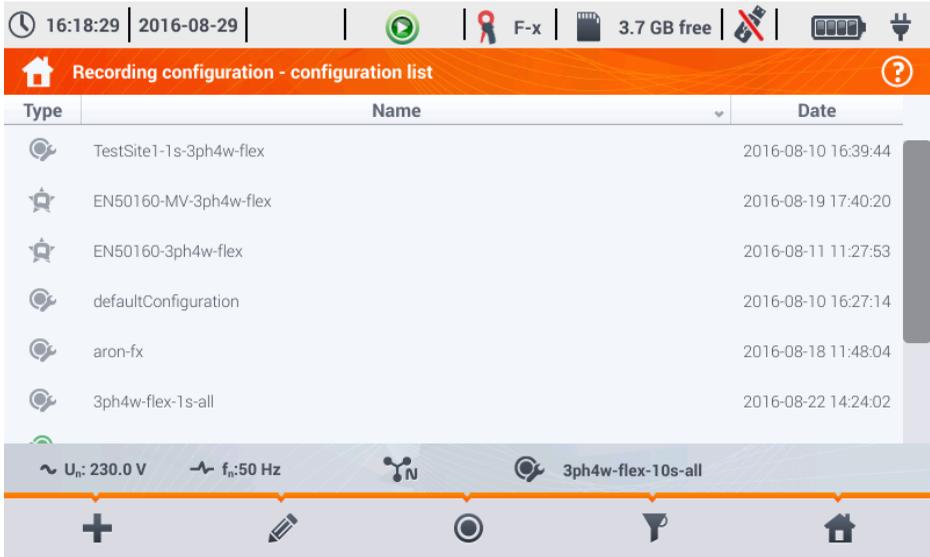


Abb. 4. Aufnahmeconfiguration – Aufnahmeliste

Die Tabelle besteht aus den drei folgenden Spalten:

- **TYPE (ART)** – gibt die Art der Messconfiguration an:
 - - Aufnahme nach individueller Benutzereinstellung (inaktiv - grau)
 - - Aufnahme nach individueller Benutzereinstellung (aktiv - grün)
 - - Normkonforme Aufnahme nach ausgewählter Norm (inaktiv)
 - - Normkonforme Aufnahme nach ausgewählter Norm (aktiv)
- **NAME (BEZEICHNUNG)** – Der durch den Benutzer festgelegte Name der Configuration
- **DATE (DATUM)** – Datum und Zeit der erstellten Configuration

Die Liste kann mit dem Finger oder der rechten Bildlaufleiste nach unten gescrollt werden.

Menu der Aufnahmeconfiguration

Um eine gewünschte Configuration zu aktivieren, wählen Sie diese aus und dann aus der Menüleiste das Symbol (Aktivieren einer Configuration).

Um die angezeigte Configuration zu bearbeiten, wählen Sie aus der unteren Menüleiste (bearbeiten) oder machen Sie einen Doppelklick auf die Configuration.

Durch das Filter-Symbol wird ein weiteres Untermenü geöffnet, in dem die Configurationen nach Benutzerconfiguration, Norm oder beidem gefiltert werden können. Eine Auswahl wird durch die Verwendung der orangenen Farbe gekennzeichnet. z.B. .

Um eine neue Configuration hinzuzufügen, wählen Sie (hinzufügen).

2 Funktion des Analysators

Es erscheint ein neues Fenster, wie unten in Abb. 5 dargestellt. Im Bezeichnungsfeld wird die Standardbezeichnung der Konfiguration angezeigt. Diese setzt sich zusammen aus dem aktuellen Datum und Zeit im Format "YYYY-MM-DD hh_mm_ss_settings", welche anschließend verändert werden kann. Ein Stern (*) hinter der Bezeichnung gibt an, dass die Konfiguration geändert, aber noch nicht gespeichert wurde.

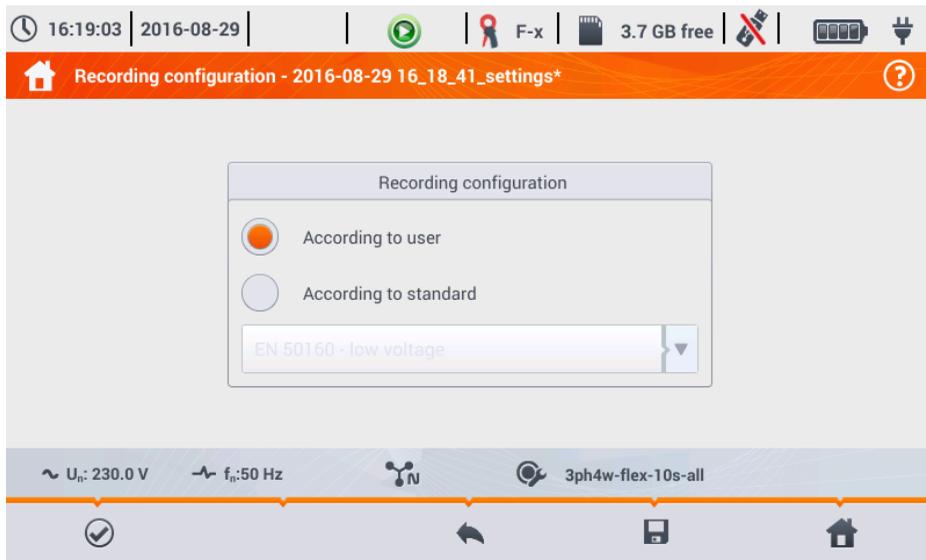


Abb. 5. Konfiguration der Aufzeichnung – Auswahl des entsprechenden Typs für eine neue Konfiguration

Als ersten Schritt einer neuen Konfiguration muss die Art der Aufnahme ausgewählt werden. Hier gibt es zwei Möglichkeiten:

- **ACCORDING TO USER (BENUTZERDEFINIERT)** – es können alle Parameter der Aufnahme vom Benutzer festgelegt werden.
- **ACCORDING TO STANDARD (NORMKONFORM)** – Normkonforme Aufzeichnung der Netzparameter nach Listenauswahl; Es ermöglicht dem Benutzer das Erstellen eines Normprotokolls. Der Benutzer kann nur bestimmte Aufnahmeparameter, wie z.B. Netzwerkaufbau und Nennspannung einstellen. Die restlichen Parameter werden automatisch nach ausgewählter Norm eingestellt und können nicht verändert werden. Standardmäßig sind folgende Normen im Analyser hinterlegt:
 - EN50160: Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen, abhängig von der Nennspannung (Nieder-, Mittel-, Hochspannung)
 - *Polish Regulation*: Gültige Bestimmungen für Polen in vier Varianten, abhängig vom Wert der Nennspannung (Nieder-, Mittel-, Hochspannung, 110 kV und 220 kV, Hochspannung 400 kV).
 - Zwei Varianten einer australischen Norm (basierend auf EN 50160 und AS 61000.3.100), für Nieder und Mittelspannung.
 - GOST 32144-2013: Russische Norm in vier Varianten, abhängig von der Nennspannung (Niederspannung, Mittelspannung 6-20 kV, Mittelspannung 35 kV, Hochspannung).

Funktionen der Menüleiste

-  - Bestätigung des ausgewählten Aufnahmetyps und Aufrufen des Detailmenüs
-  - Speichern der Konfiguration mit Standardparametern. Es wird nach der Dateibezeichnung gefragt, folgend kann dann zwischen der Standardbezeichnung oder der Eingabe eines individuellen Namens gewählt werden.

Die Menüs für die Detaileinstellungen der Konfigurationen sind in 8 Ansichten aufgeteilt:

- **GENERAL SETTINGS (ALLGEMEINE EINSTELLUNGEN)**
- **GENERAL SETTINGS II (ALLGEMEINE EINSTELLUNGEN II)**
- **VOLTAGE PARAMETERS (SPANNUNGS-PARAMETER)**
- **CURRENT PARAMETERS (STROM-PARAMETER)**
- **POWERS (LEISTUNGEN)**
- **ENERGY AND POWER FACTORS (ENERGIE- UND LEISTUNGSFAKTOREN)**
- **FLICKER AND UNBALANCE (FLICKER UND UNSYMMETRIEN)**
- **THD AND HARMONICS (THD UND OBERSCHWINGUNGEN)**

Mit  und  in der unteren Menüleiste, kann zwischen aufeinanderfolgenden Ansichten gewählt werden.

Nach Abschluss der Konfiguration kann diese unter einem bestimmten Namen im Speicher des Analysators durch  hinterlegt werden. Um die Bezeichnung zu ändern, klicken Sie in das Bezeichnungsfeld – (das Display Keyboard erscheint), um die Eingabe zu tätigen. Das Feld **Set as active (aktivieren)** wählt diese gespeicherte Konfiguration als aktiv. Der Analysator liest die Konfiguration ein und ist bereit die Aufnahme zu starten. Zur Bestätigung wählen Sie **OK**, oder **CANCEL (ABBRECHEN)** zum Abbrechen.

2 Funktion des Analysators

2.7.1 Aufnahmekonfiguration – Allgemeine Einstellungen

Ansicht der Allgemeinen Einstellungen dargestellt in Abb. 6.

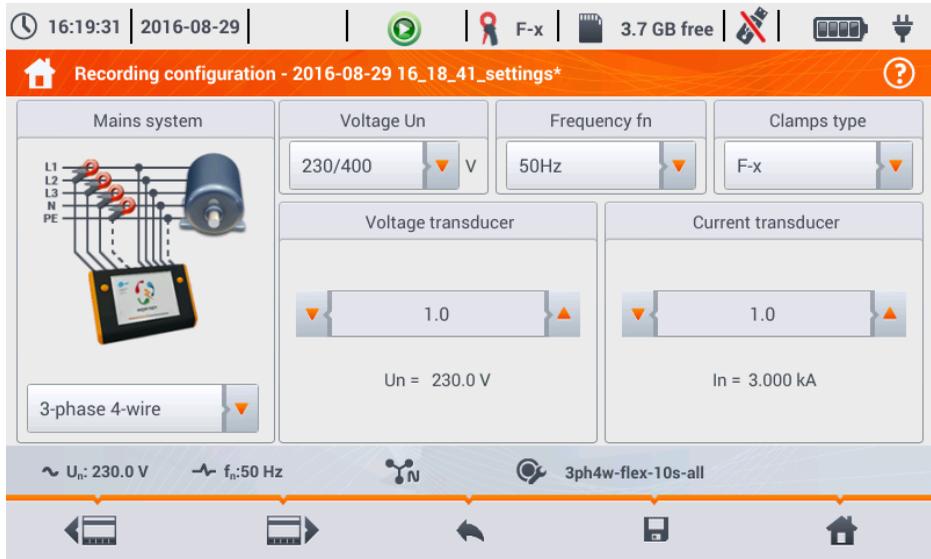


Abb. 6. Aufnahmekonfiguration – Allgemeine Einstellungen

Hier können folgende Einstellungen vorgenommen werden:

- **MAINS TYPE (NETZFORM)**. Hier können durch das Symbol aus einem Dropdown Menü folgende Netzformen ausgewählt werden.
 - 1-phase (1-Phase)
 - Split-phase (1-Phasen 3-Leiter Netz),
 - 3-phase 4-wire (3-Phasen 4-Leiter) (Netze mit Neutralleiter, z.B. wye mit N)
 - 3-phase 3-wire (3-Phasen 3-Leiter) (Netze ohne Neutralleiter – wye ohne N und Delta)
 - 3-phase 3-wire Aron (3-Phasen 3-Leiter Aron) (wie Standard 3-Leiter System, aber mit Strommessung durch zwei Zangen (I1 und I3), der dritte Strom (I2) wird nach folgender Formel $I_2 = -(I_1 + I_3)$ berechnet.

Die o.g. Netzformen gibt es im Frequenzbereich 50 und 60 Hz.

In DC Netzen gibt es zwei Varianten:

- DC – Messen einer DC Spannung und eines DC Stromes
- DC+M – Messen von zwei DC Spannungen mit Mittelpotential als Bezugspunkt (M steht für mittel). Für die Messung der zwei DC Ströme stehen die Zangen C-5 oder C-5A zur Verfügung.
- **VOLTAGE UN (SPANNUNG UN)** – der Benutzer kann aus einer Liste von Nennspannungen auswählen. Jede Auswahl besteht aus zwei durch einen Querstrich getrennte Werte. z.B. 230/400. Der erste Wert gibt den Nennwert mit Neutralleiter an (1-Phase, 1-Phasen-Dreileiter Netz, 3-Phasen 4-Leiter). Der zweite Wert gibt die Phase-Phase Spannung an, in Netzen ohne Neutralleiter (3-Phasen 3-Leiter)
- **FREQUENCY FN (FREQUENZ FN)** – Nennfrequenz. Hier gibt es 3 Werte:
 - 50 Hz,

- **60 Hz**,
- **DC** – Diese Auswahl ermöglicht das Messen in DC Netzen (Netzform: DC und DC+M wie oben erläutert).
- **CLAMPS TYPE (ZANGENTYP)** – hier kann die Strommessung aktiviert oder deaktiviert und die Zangenart festgelegt werden. Wird die Strommessung benötigt, können folgende Zangen aus der Liste gewählt werden.
 - **F-X** – flexible Zangen (Rogowski Spule) mit Nennbereich 3000 A, AC
 - **C-4** – Stromwandler (mit Kern) mit Bereich von 1000 A für AC Ströme
 - **C-5** – Stromwandler mit Hall Sensor mit Bereich von 1000 A für AC und DC Ströme (nur für DC Netze verfügbar)
 - **C-6** – Stromwandler (mit Kern) mit Bereich von 10 A für AC Messung
 - **C-7** – Stromwandler (mit Kern) mit Bereich von 100 A für AC Messung
 - **AUTO** – Diese Auswahl ermöglicht die Verwendung jeder automatischen Zange (mit Buchstabe A in der Bezeichnung, z.B. F-3A). Der Analysator zeigt die angeschlossene Zange in der oberen Menüleiste an. Das Starten der Aufzeichnung ist nur möglich, wenn der Analysator eine passende Zange erkannt hat und wenn die Zangen in Multiphasennetzen identisch sind.
 - **NONE (KEINE)** – Diese Auswahl deaktiviert die Strommessung und gleichzeitig alle davon abhängigen Parameter, welche eine Strommessung benötigen (z.B. Leistung).

Ist aus der Liste **FREQUENCY FN (FREQUENZ FN)** die Position **DC** ausgewählt, sind nur die folgenden Optionen verfügbar: **None (Keine)**, **C-5**, **Auto** (im **Auto** Modus werden nur C-5A Zangen akzeptiert).

- **VOLTAGE TRANSDUCER (SPANNUNGSWANDLER)** – ermöglicht die Eingabe eines Faktors der Nennspannung, welcher aus einer Liste ausgewählt werden kann. Der Wert des Multiplikators kann von einem Bereich von 0,1 bis 10000,0 in 0,1 Schritten eingestellt werden. Diese werden benötigt, wenn externe Spannungswandler verwendet werden, welche die aktuelle Netzspannung auf einen anderen verändern (normal niedriger), passend zum Messinstrument. Unterhalb des Wertes des Faktors wird der dadurch resultierende Wert der Nennspannung angezeigt, welcher das Produkt aus Nennspannung und eingestelltem Faktor ist. (Beispiel: Messung im Mittelspannungsnetz von 15 kV (3-Phasen 3-Leiter). Wandler werden zum Herabsetzen der Spannung im Verhältnis von 150:1 verwendet. Die Spannung wird von 15 kV auf 100V transformiert, um eine sichere Einspeisung im Analysator zu gewährleisten. Um zu gewährleisten, dass die tatsächliche Spannung im Mittelspannungsnetz richtig gemessen wird, ist es notwendig, den Spannungswandler auf 150,0 einzustellen und "58/100" aus der Liste der Nennspannungen auszuwählen. Die am Analysator anliegende Spannung von 100 V wird mit 150 multipliziert und als 15 kV angezeigt).
- **CURRENT TRANSDUCER (STROMWANDLER)** - Der Wert des Multiplikators kann von einem Bereich von 0,1 bis 10000,0 in 0,1 Schritten eingestellt werden. Bei Verwendung von Stromwandlern (normalerweise, um den Stromwert zu verkleinern), muss dieses Feld demselben Wert des Windungsverhältnisses der verwendeten Wandler entsprechen. Die durch die Wandler gemessenen Ströme werden mit dem Faktor der Wandler multipliziert, um den tatsächlichen Strom zu ermitteln, welche primärseitig am Transformator fließt. Unterhalb des Faktors wird der tatsächlich fließende Primärstrom angezeigt, welcher sich aus dem Produkt des Faktors und dem Nennbereich der verwendeten Stromwandler ergibt. (Beispiel: Es werden Wandler von 10 000 A / 5 A und Zangen C-6(A), mit Nennbereich von 10A verwendet.) Es können nun Ströme bis 10 000 A gemessen werden. (Der Grenzwert resultiert aus dem Messbereich der Stromwandler, nicht der Zangen). Der messbare Primärstrom, in Bezug auf den Nennstrom der Zangen, beträgt 20 000 A).

2.7.2 Aufnahmekonfiguration – Allgemeine Einstellungen II

Ansicht der Allgemeinen Einstellungen II dargestellt in Abb. 7, beinhaltet folgende Felder:

- **TRIGGERING**: Spezifiziert die Startmethode der Aufnahme.
 - **Immediate (Sofort)** – Starten der Aufnahme unmittelbar nach Betätigen der Taste **START**.
 - **Threshold (Schwellenwert)** – Der Analysator startet die Aufnahme nach dem Betätigen von **START**. Eine Speicherung der Daten auf der Speicherkarte erfolgt aber erst, nachdem der eingestellte Schwellenwert eines Ereignisses überschritten wird, z.B. nach dem Erkennen des ersten Spannungseinbruchs (DIP).
 - **Schedule (Zeitplan)** – Start- u. Endzeit der Aufnahme werden durch den Benutzer festgelegt. Der Benutzer kann auch nur die Startzeit (die Endzeit wird dann manuell ausgelöst), nur die Endzeit (der Aufnahmestart wird manuell gestartet) eingeben oder beide Zeiten. Das Eingabefeld für die Zeiten ist in der Ansicht des Abschnittes **SCHEDULE (ZEITPLAN)** zu finden. Gestartet und unterbrochen werden kann eine laufende Aufnahme in beiden Fällen manuell immer mit der Taste **START**.

16:19:45 | 2016-08-29 | F-x | 3.7 GB free

Recording configuration - 2016-08-29 16_18_41_settings*

Triggering	Additional measurements	Schedule
Immediate	<input type="checkbox"/> N-PE voltage	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="text"/>
Averaging period	<input type="checkbox"/> N-conductor current	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="text"/>
10min		
Hysteresis [%]		
2.0		
	Configuration name	
	2016-08-29 16_18_41_settings	
	Selected standard	

U_n: 230.0 V f_n: 50 Hz 3ph4w-flex-10s-all

Abb. 7. Aufnahmekonfiguration – Allgemeine Einstellungen II

- **AVERAGING PERIOD (MITTELUNGSZEIT)** – Legt die Zeit für aufgezeichnete Parameter, sowie die Zeit zwischen aufeinanderfolgenden Aufnahmen auf der Speicherkarte fest (außer Ereignissen). Es können folgende Einstellungen gewählt werden: 1 second (Sekunde), 3 seconds, 10 seconds, 30 seconds, 1 minute (Minute), 10 minutes, 15 minutes 30 minutes .
- **HYSTERESIS (HYSTERESE)** – Prozentueller Wert im Bereich von 0,1 bis 10. Dieser wird verwendet, um Ereignisse zu registrieren. Höhere Werte ermöglichen die Anzahl der Ereignisse zu verringern, wenn der Parameterwert um den Schwellenwert (Threshold) schwankt. Ein typischer Wert der Hysterese liegt bei 2%.
- **ADDITIONAL MEASUREMENTS (WEITERE MESSUNGEN)** – In diesem Abschnitt ist es möglich weitere Messkanäle für zusätzliche Messungen zu aktivieren:
 - **N-PE voltage (Spannung)** – Anwählen dieser Option bewirkt eine Aufnahme von Spannungsparameter im Kanal N-PE (wie für andere Spannungskanäle)

- **N-conductor current (Nulleiterstrom)** – Anwählen dieser Option bewirkt eine Aufzeichnung des Stromes im Neutraleiter. Hierzu müssen die Zangen am N-Kanal angeschlossen sein.
- **CONFIGURATION NAME (KONFIGURATIONS BEZEICHNUNG)** – Zeigt die Bezeichnung der aktuell editierten Konfiguration (nicht veränderbar) an.
- **SELECTED STANDARD (AUSGEWÄHLTE NORM)** – Im Fall einer normkonformen Aufzeichnung, wird in diesem Feld die Bezeichnung der ausgewählten Norm angezeigt. Z.B. "EN50160 Niederspannung". Im anderen Fall wird im Feld "---" angezeigt.

2.7.3 Aufnahmekonfiguration - Spannungsparameter

Die Ansicht zur Einstellung der Spannungsparameter wird in Abb. 8 dargestellt.

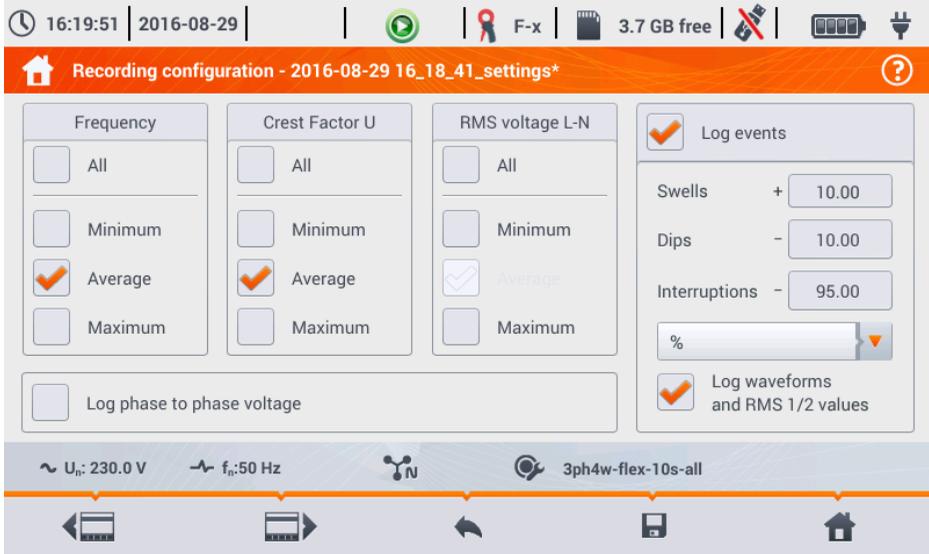


Abb. 8. Aufnahmekonfiguration - Spannungsparameter

Es sind folgende Elemente enthalten:

- **FREQUENCY (FREQUENZ)** – Auswahlboxen, um folgende Parameter aufzuzeichnen:
 - Minimum – Aufzeichnung des kleinsten Frequenzwertes registriert in einer Mittelungsperiode. Zum Beispiel: im 10-Minuten Durchschnitt, ist der kleinste Wert 10-Sekunden, um auf die Gesamten 60 Frequenzmessungen in dem Bereich zu kommen.
 - Average (Durchschnitt) - Der Durchschnittswert der Frequenz im Mittelungszeitraum. Zum Beispiel: Im Fall dieser Parameter und einer Mittelung aus 10-Minuten ist das Ergebnis des arithmetischen Mittelwert aus 60 Frequenzmessungen in dieser Periode.
 - Maximum – Der höchste aufgezeichnete Frequenzwert dieser Periode.
 - All – Anwählen dieser Box führt automatisch zur Aufzeichnung aller drei Parameter (Minimum, Mittelung, Maximum).
- **CREST FACTOR U (CREST FAKTOR)** – Auswahlboxen für die Aufzeichnung des Crestfaktors der Spannung. Genau wie bei der Frequenz und den meisten anderen Parametern, steht Folgendes zur Auswahl:
 - Minimum

2 Funktion des Analysators

- Mittelwert
 - Maximum
- **RMS VOLTAGE L-N (RMS SPANNUNG L-N)** oder **RMS VOLTAGE L-L (RMS SPANNUNG L-L)** (abhängig von der Netzform) – Auswahlboxen für die Aufzeichnung von RMS Spannung Phase-zu-Neutralleiter und Phase-zu-Phase. Minimal- und Maximalwerte werden aus $RMS_{1/2}$ ermittelt. (RMS Wert 1-Welle wird jede Halbwelle aktualisiert). Der Benutzer kann folgende Felder auswählen:
 - Minimum
 - MaximumDer Mittelwert ist permanent ausgewählt und wird immer aufgezeichnet.
- **LOG EVENTS (LOG EREIGNISSE)** – Die Auswahl dieser Box ermöglicht die Erkennung von Spannungsereignissen: swells (Spannungsspitzen), dips (Spannungseinbrüche), oder interruptions (Spannungsunterbrechungen). Drei Felder mit Werten ermöglichen dem Benutzer individuelle Schwellenwerte für die 3 Arten von Ereignissen zu vergeben. Die Schwellenwerte können entweder in Volt oder als prozentualer Wert bezogen auf die Nennspannung des Netzes angezeigt werden. Zum Beispiel: Schwellenwert von Spannungsspitzen bei +10% bei Nennspannung von 230 V löst eine Registrierung dieser Ereignisse bei einer Überschreitung von 253 V ($RMS_{1/2}$) aus. Das Ereignis endet, wenn die Spannung wieder auf den Schwellenwert fällt, welcher durch die Hysterese verringert wurde. Wenn die Hysterese in diesem Fall 2% ist, dann ist das Ereignis zu Ende, wenn die Spannung ($RMS_{1/2}$) kleiner ist als 248,4 V ($253\text{ V} - 4,6\text{ V}$) ist.
- **LOG WAVEFORMS AND RMS $\frac{1}{2}$ VALUES (LOG WELLENFORMEN UND RMS $\frac{1}{2}$ WERTE)** – Anwählen dieser Box hat die zusätzliche Aufnahme von Wellenformen eines aktiven Messkanales zur Folge (auch Stromkanäle) beim Start und Ende eines Spannungsereignisses. Diese Wellenform hat eine Standardlänge von 6 Perioden, (ca. 120 ms), 2 Perioden Vortrigger (vor der Startzeit) und 4 Perioden danach.

2.7.4 Aufnahmekonfiguration - Stromparameter

Die Ansicht ist dargestellt in Abb. 9.

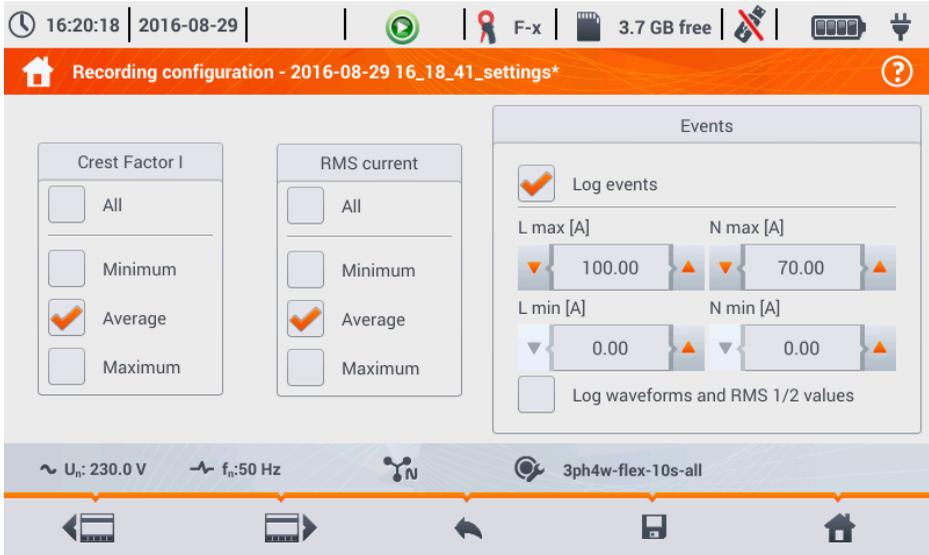


Abb. 9. Aufnahmekonfiguration - Stromparameter

Diese Elemente sind zum Bearbeiten aktiv, wurde zuvor in der Ansicht der allgemeinen Einstellungen die Strommessung aktiviert.

- **CREST FACTOR I (CRESTFAKTOR I)** – Aufzeichnung des Strom Crestfaktor. Es können aufgezeichnet werden:
 - Minimum
 - Mittelwert
 - Maximum
- **RMS CURRENT (RMS STROM)** – Aufzeichnung des RMS Stromes. Es können aufgezeichnet werden:
 - Minimum
 - Mittelwert
 - Maximum

Minimal- und Maximalwerte im Mittelungszeitraum werden aus allen $RMS_{1/2}$ Werten ermittelt, wie im Falle der RMS Spannung.

- **LOG EVENTS (LOG EREIGNISSE)** – Das Anwählen ermöglicht die Registrierung von Stromereignissen. Die Eingabe von "0" deaktiviert ein gegebenes Ereignis. Es können Werte im Bereich von 0 ... I_n (wobei I_n der Strommessbereich nach Einbezug der Stromwandler ist).
 - **L max [A]** – Maximaler Schwellenwert für Strom L1, L2, L3 (abhängig von der Netzform). Ein Event wird registriert, wenn der Stromwert von $RMS_{1/2}$ den eingestellten Schwellenwert überschreitet.
 - **L min [A]** – Minimaler Schwellenwert für Strom L1, L2, L3. Ein Event wird registriert, wenn der Stromwert von $RMS_{1/2}$ unter den eingestellten Schwellenwert fällt.
 - **N max [A]** – gleich zu L max, bezogen auf N Stromkanal (Neutralleiterstrom).
 - **N min [A]** – gleich zu L min, bezogen auf N Stromkanal (Neutralleiterstrom).
- **LOG WAVEFORMS AND RMS 1/2 VALUES (LOG WELLENFORMEN UND RMS 1/2 WERTE)** - Anwählen dieser Box hat die zusätzliche Aufnahme von Wellenformen eines aktiven Messkanales zur Folge (auch Spannungskanäle), beim Start und Ende eines Stromereignisses. Diese Wellenform hat eine Standardlänge von 6 Perioden, (ca. 120 ms), 2 Perioden Vortrigger (vor der Startzeit) und 4 Perioden nach dem Start.

2 Funktion des Analysators

2.7.5 Aufnahmeconfiguration – Leistungsarten

Konfigurationsansicht Powers (Leistungsarten) gezeigt in Abb. 10.



Abb. 10. Aufnahmeconfiguration – Leistungsarten

Es gibt die Möglichkeit, Minimal-, Mittel- und Maximalwert der folgenden Leistungsarten aufzuzeichnen

- **ACTIVE POWER P (WIRKLEISTUNG P)**
- **REACTIVE POWER Q1 (BLINDLEISTUNG Q1)** (für IEEE 1459) oder **REACTIVE POWER QB (BLINDLEISTUNG QB)** (für die Budeanu Methode)
- **DISTORTION POWER SN (VERZERRUNGSLEISTUNG SN)** (für IEEE 1459) oder **DISTORTION POWER D (VERZERRUNGSLEISTUNG D)** (für die Budeanu Methode)
- **APPARENT POWER S (SCHEINLEISTUNG S).**

Im unteren Bereich gibt es die Checkbox "Reactive power calculation method" ("Methode zur Berechnung der Blindleistung"): *IEEE 1459* (empfohlen und standardmäßig aktiviert) oder *Budeanu*.

2.7.6 Aufnahmekonfiguration – Energie- und Leistungsfaktoren

Konfigurationsansicht **Energy and power factors (Energie- und Leistungsfaktoren)**, dargestellt in Abb. 11.

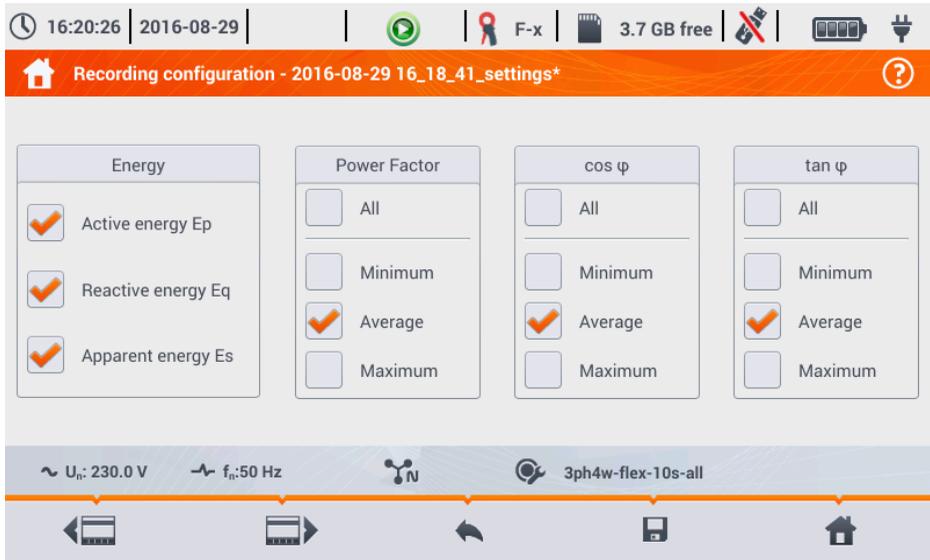


Abb. 11. Aufnahmekonfiguration – Energie- und Leistungsfaktoren

Folgende Elemente sind verfügbar:

- **ENERGY (ENERGIE):**
 - **Active energy Ep (Wirkenergie Ep)** – Das Anwählen dieser Box aktiviert die Aufnahme der Wirkenergie. Die Wirkenergie (aufgenommen und verbraucht) wird nach jedem Mittelungszeitraum gespeichert.
 - **Reactive energy Eq (Blindenergie Eq)** - Das Anwählen dieser Box aktiviert die Aufnahme der Blindenergie. Die Blindenergie (aufgenommen und verbraucht) wird nach jedem Mittelungszeitraum gespeichert.
 - **Apparent energy (Scheinenergie)** - Das Anwählen dieser Box aktiviert die Aufnahme der Scheinenergie. Die Scheinenergie (aufgenommen und verbraucht) wird nach jedem Mittelungszeitraum gespeichert.
- **POWER FACTOR (LEISTUNGSFAKTOR)** – Der Benutzer kann hierzu Minimal-, Mittel- und Maximalwerte aufzeichnen.
- **cos φ** – Die Aufnahme des Verschiebungsfaktors (Phasenverschiebung zwischen Primärspannung und den Stromkomponenten). Es besteht die Möglichkeit, Minimal-, Mittel- und Maximalwerte aufzuzeichnen.
- **tan φ** – Aufnahme des Tangent φ Verhältnis (Verhältnis der Blindleistung zur Wirkleistung). Es können Minimal-, Mittel- und Maximalwerte aufgezeichnet werden.

2.7.7 Aufnahmeconfiguration – Flicker und Unsymmetrien

Die Konfigurationsansicht **Flicker and unbalance (Flicker und Unsymmetrien)** ist in Abb. 12 dargestellt.

In dieser Ansicht können durch den Benutzer folgende Parameter aktiviert werden:

- **SHORT-TERM FLICKER SEVERITY PST (KURZZEITFLICKER PST)** – P_{ST} Faktor wird alle 10 Minuten berechnet.
- **LONG-TERM FLICKER SEVERITY PLT (LANGZEITFLICKER PLT)** – P_{LT} wird alle 2 Stunden aus 12 P_{ST} Werten ermittelt.
- **UNBALANCE AND SYMMETRICAL COMPONENTS U (UNSYMMETRISCHE UND SYMMETRISCHE KOMponentEN U)** – Es besteht die Möglichkeit, Minimal-, Mittel- und Maximalwerte aufzuzeichnen. Diese Gruppe enthält die folgenden Spannungsparameter:
 - Positive Sequenz symmetrische Komponente U_1 [V],
 - Negative Sequenz symmetrische Komponente U_2 [V],
 - Null symmetrische Komponente U_0 [V],
 - Negative Sequenz des Unsymmetriefaktors i_2 [%], welcher das Verhältnis der negativen Sequenz U_2 zur positiven Sequenz U_1 prozentual darstellt.
 - Positive Sequenz des Unsymmetriefaktors i_0 [%], welcher das Verhältnis der positive Sequenz U_0 zur positiven Sequenz U_1 prozentual darstellt.
- **UNBALANCE AND SYMMETRICAL COMPONENTS I (UNSYMMETRISCHE UND SYMMETRISCHE KOMponentEN I)** - Es besteht die Möglichkeit, Minimal-, Mittel- und Maximalwerte aufzuzeichnen. Diese Gruppe enthält folgende Stromparameter:
 - Positive Sequenz symmetrische Komponente I_1 [A]
 - Negative Sequenz symmetrische Komponente I_2 [A],
 - Null symmetrische Komponente I_0 [A],
 - Negative Sequenz des Unsymmetriefaktors i_2 [%], welcher das Verhältnis der negativen Sequenz I_2 zur positiven Sequenz I_1 prozentual darstellt.
 - Positive Sequenz des Unsymmetriefaktors i_0 [%], welcher das Verhältnis der positive Sequenz I_0 zur positiven Sequenz I_1 prozentual darstellt.

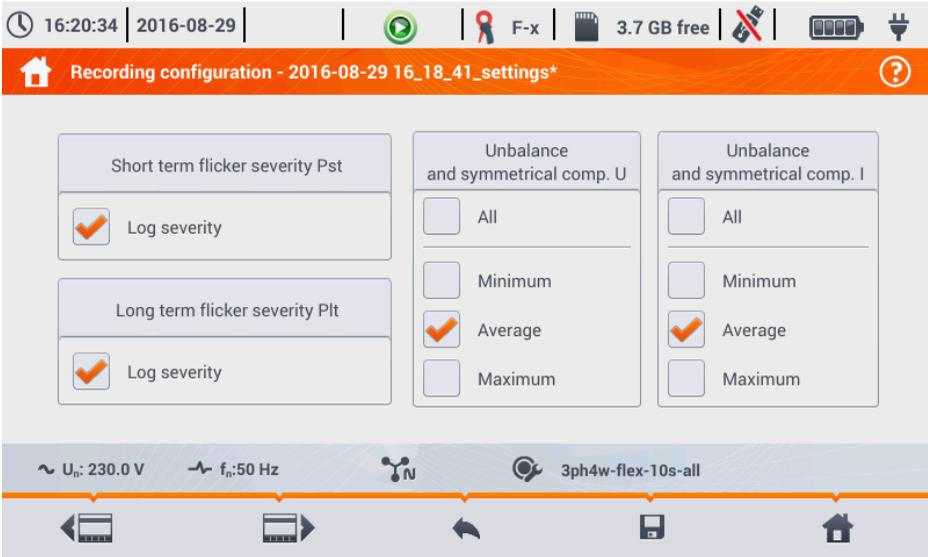


Abb. 12. Aufnahmekonfiguration – Flickerfaktor und Unsymmetrien

2.7.8 Aufnahmekonfiguration - THD und Oberschwingungen

Die letzte Ansicht der Aufnahmekonfiguration, ist THD und **Oberschwingungen** (Abb. 13). In dieser Ansicht können durch den Benutzer folgende Parameter zur Aufzeichnung aktiviert werden:

- **THD U** – Gesamtklirrfaktor (THD) der Spannung; Der Faktor THD-F wird berechnet (in Bezug auf die Grundkomponente). Beinhaltet sind 40 Oberschwingungen. Es kann aufgezeichnet werden:
 - Minimum
 - Mittelwert
 - Maximum
- **HARMONICS AMPLITUDES U (OBSCHWINGUNGEN AMPLITU DEN U)** – Aktivierung der Aufzeichnung von Amplituden für 40 Spannungs-Oberschwingungen; Folgende Werte können abgespeichert werden:
 - Minimalwert
 - Mittelwert
 - Maximalwert
- **THD I** – Gesamtklirrfaktor des Stromes gleich zu THD der Spannung
- **HARMONICS AMPLITUDES I (OBSCHWINGUNGEN AMPLITU DEN I)** – gleich zu Spannungs-Oberschwingungen

2 Funktion des Analysators

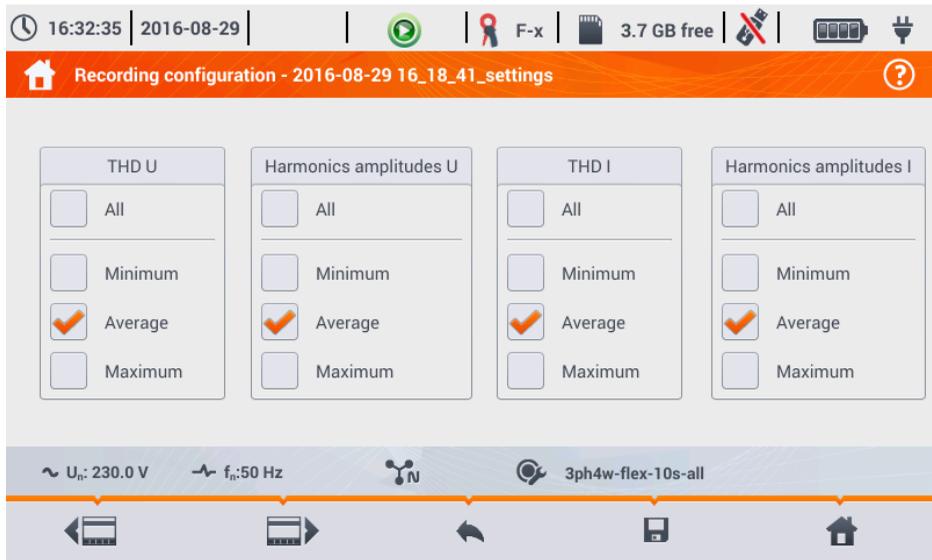


Abb. 13. Aufnahmeconfiguration - THD und Oberschwingungen

2.7.9 Standardkonfigurationseinstellungen

Die Standardkonfigurationseinstellungen je nach Benutzer:

- Netzform: 3-Phasen 4-Leiter
- Nennspannung: 230/400 V (Phase/Phase-zu-Phase)
- Nennfrequenz: 50 Hz
- Strommessung und Zangen: aktivierte Strommessung mit flexiblen Zangen F-x
- Strom- und Spannungswandler: deaktiviert
- Triggering: unmittelbar
- Mittelungszeit: 10 Minuten
- Ereignisregistrierungs-Hysterese: 2,0%
- N-PE Spannung I_N Strommessung: deaktiviert
- Aufnahmeparameter: Mittelwerte folgender Parameter:
 - Frequenz
 - Crestfaktor für Spannung und Strom
 - RMS Phasenwerte für Spannung und Strom
 - Wirkleistung, Blindleistung, Scheinleistung, Verzerrungsleistung (Messmethode IEEE-1459)
 - Wirkenergie, Blindenergie, Scheinenergie
 - Leistungsfaktor PF, $\cos\phi$ und $\tan\phi$ Faktoren
 - Flickerfaktoren P_{ST} und P_{LT}
 - Unsymmetriefaktoren und symmetrische Komponenten von Strom und Spannung
 - THD U, THD I, Amplituden der Oberschwingungen von Strom und Spannung
- Ereignisregistrierung:
 - Registrierung von Spannungsereignissen aktiviert: Spannungsspitzen 110% U_{NOM} , Spannungseinbrüche 90% U_{NOM} , Unterbrechungen 5% U_{NOM} , Aufzeichnung von Wellenformen und $RMS_{1/2}$ aktiviert
 - Stromereignisse deaktiviert

Die Standardnormeinstellungen sind wie folgt:

- Ausgewählte Norm: EN50160 Niederspannung
- Netzform: 3-Phasen 4-Leiter
- Nennspannung: 230/400 V (Phase/Phase-zu-Phase)
- Nennfrequenz: 50 Hz
- Strommessung und Zangen: aktivierte Strommessung mit automatischen Zangen
- Strom- und Spannungswandler: deaktiviert
- Triggering: unmittelbar
- Ereignisregistrierungs-Hysterese: 2,0%
- N-PE Spannung I_N Strommessung: deaktiviert
- Aufgenommene Parameter:
 - Gemäß den Normanforderungen
- Ereignisregistrierung:
 - Spannungsereignisse gemäß den Normanforderungen, aktivierte Aufnahmen von Wellenform und $RMS_{1/2}$
 - Stromereignisse deaktiviert

2.7.10 Start / Stopp von Aufzeichnungen

Nach korrekter Konfiguration der Aufnahme und deren Aktivierung können die Messungen ausgelöst werden. Dies wird mit **START**  ausgelöst. Eine laufende Aufnahme wird durch ein rotes  in der oberen Menüleiste und eine blinkende LED angezeigt.

Bevor sie eine Aufzeichnung starten, beachten Sie Folgendes:

- Überprüfen Sie die Zeit des Analysators. Sind Zeit oder Datum falsch, gehen Sie ins Menü **ANALYZER SETTINGS (ANALYSATOR EINSTELLUNGEN) → DATE AND TIME (DATUM UND ZEIT)**, um diese zu korrigieren.
- Überprüfen Sie die Anschlüsse des Analysators mit dem zu testenden Netz. Ist das Symbol für den richtigen Anschluss ein  oder , wird vor dem Menü der Aufnahmeparameter ein weiteres Fenster mit entsprechenden Warnungen bezüglich Potentialproblemen, angezeigt. Dieses muss vom Benutzer bestätigt, oder der Start der Aufzeichnung abgebrochen werden. Für weitere Informationen bezüglich Potentialproblemen, lassen Sie sich das Infofenster über richtigen Anschluss des Analysators anzeigen (siehe Abschn. **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**). Es kann helfen dies über das Phasordiagramm (Vektoren von Strom; mit folgender Rotationssequenz der Phasen in 3-Phasen Netzen: Phase UL1 (UL1-2) ist bei 0°, UL2 (UL2-3) ca. -120°, UL3 (UL3-1) ca. -240°. Beide Unsymmetriefaktoren (für Spannung und Strom) sollten in dieser Ansicht niedrig sein (normal weniger als 10%, besonders bei der Spannung). Die Anzeige der Wellenformen kann auf ihre Form und dem RMS Wert von Strom und Spannung überprüft werden. Der korrekte Anschluss der Stromzangen kann durch die Markierungen über die Wirkleistung ermittelt werden – bei den meisten Anwendungen mit passiven Lasten ist das Zeichen positiv.
- Sind längere Aufnahmen geplant, gewährleisten Sie eine kontinuierliche Spannungsversorgung durch das externe 12 V Netzteil (in der Menüleiste oben rechts wird dann ein Steckersymbol angezeigt).
- Wird bei der Zangenmessung die Konfiguration *Auto* ausgewählt (automatische Zangen), so überprüft der Analysator, ob die richtigen Zangen angeschlossen sind. Wird ein Fehler erkannt, erscheint eine entsprechende Meldung am Display; die Aufnahme wird nicht ausgelöst. Es müssen an allen Zangeneingängen der gleiche Typ von Zangen angeschlossen sein. Der korrekte Anschluss wird durch die Anzeige des Zangentyps neben dem Zangensymbol in der oberen Menüleiste angezeigt. Wird hier ein Fragezeichen angezeigt, sind falsche Zangen angeschlossen. In DC Systemen, sind nur C-5 und C-5A erlaubt.

2 Funktion des Analysators

- Zur Speicherung der Aufnahmen muss eine Speicherkarte mit genügend freiem Speicher eingelegt sein. Ist für die geplante Aufnahme nicht genügend freier Speicher vorhanden, was von den eingestellten Parametern wie Mittelungs- und Aufnahmezeit, Netzform oder Anzahl der Messungen abhängt, muss freier Speicher geschaffen werden. Dies können Sie über das Menü **ANALYZER SETTINGS (ANALYSATOR EINSTELLUNGEN → FILES (DATEIEN))** durchführen.
- Die Aufnahme hat den Namen, der in der Konfiguration vergeben wurde und aktiv ist sobald diese ausgelöst wurde. Dieser kann dann nicht mehr geändert werden. Deshalb ist es ratsam, eine sinnvolle Bezeichnung für die Aufnahme zu vergeben, um sie später im Speicher leichter wiederzufinden Die Bezeichnung kann erst nach Abschluss der Aufzeichnung wieder geändert werden.

Beenden der Aufzeichnung:

- Um die Aufzeichnung zu stoppen, drücken Sie die **START**  Taste und bestätigen Sie den Aufnahmestopp im anschließend erscheinenden Fenster. Das Stoppen der Aufnahme wird durch Töne bestätigt (ein langer und drei kurze Pieptöne) und das Aufnahmesymbol wird grün . Die rote LED blinkt nicht mehr. Ist die Aufnahme durch einen PIN Code gesichert, muss dieser vorab zum Entsperren eingegeben werden.
- Die Aufnahme endet automatische nach Zeitplan (wenn eine Endzeit definiert wurde). Andernfalls kann die Aufnahme durch die Taste **START**  beendet werden oder die Aufzeichnung endet, wenn die Speicherkapazität der SD-Karte verbraucht ist.

2.7.11 Ungefähre Aufnahmezeiten

Die Maximale Aufnahmezeit hängt von vielen Faktoren, wie der Größe der Speicherkarte, der Mittelungszeit, der Anzahl der Parameter, der Netzform, der Wellenformaufzeichnung, der Ereignisregistrierung oder der Schwellenwerte ab. Ein paar ausgewählte Konfigurationen sind in Tab. 3 dargestellt. Die letzte Spalte gibt die ungefähre Aufnahmezeit an, wenn die Speicherkarte leer ist und einen Speicher von ca. 3,6 GB aufweist. Die typischen Konfigurationen, wie unten aufgezeigt, gehen von einer Messung N-PE Spannung und In Strom aus. Unterscheidet sich die Mittelungszeit zu der Konfiguration im Beispiel von 1 Sekunde, so verlängert sich die Aufnahmezeit proportional dazu, z.B. bei 10-Sekunden Mittelungszeit, verlängert sich die Aufnahmezeit um das 10-fache zu 1-Sekunde Mittelungszeit.

Tab. 3. Ungefähre Aufnahmezeiten für einige typische Konfigurationen.

Konfiguration/ Aufgezeichnete Parameter	Mittelungs- zeitraum	Netzform (aktuelles Netz)	Ereignis (mit Wellenform)	Strom- messung	Ungefähre Aufnahmezeit mit 3,6GB freiem Speicher
Gem. EN 50160	10 Minuten	3-Phasen 4-Leiter	• (1000 Ereignisse)	•	> 10 Jahre
Gem. EN 50160	10 Minuten	1-Phase	• (1000 Ereignisse)	•	> 10 Jahre
Benutzerdefiniert, alle Parameter aktiviert	1 Sekunde	3-Phasen 4-Leiter	• (1000 Ereignisse)	•	17 Tage
Benutzerdefiniert, alle Parameter aktiviert	1 Sekunde	3-Phasen 4-Leiter	• (1000 Ereignisse)	•	39 Tage
Benutzerdefiniert, alle Parameter aktiviert	1 Sekunde	1- Phase	• (1000 Ereignisse)	•	37 Tage
Benutzerdefiniert, alle Parameter aktiviert	1 Sekunde	1- Phase	• (1000 Ereignisse)	•	77 Tage
Benutzerdefiniert, alle Parameter aktiviert	1 Sekunde	3-Phasen 3-Leiter	• (1000 Ereignisse)	•	25 Tage
Benutzerdefiniert,	1 Sekunde	3-Phasen	•	•	51 Tage

alle Parameter aktiviert		3-Leiter	(1000 Ereignisse)		
--------------------------	--	----------	-------------------	--	--

2.8 Analysator Einstellungen

Nach der Auswahl **ANALYZER SETTINGS (ANALYSATOR EINSTELLUNGEN)** im Hauptmenü, wird die Ansicht in Abb. 14 angezeigt.

In dieser Ansicht können Sie weitere Einstellungen vornehmen, welche in drei Sektionen unterteilt sind.

- **HARDWARE SETTINGS (GERÄTEEINSTELLUNGEN)**
- **SETTINGS (BENUTZEREINSTELLUNGEN)**
- **MANAGERS (VERWALTEN)**



Abb. 14. Analysator Einstellungen

2.8.1 Analysator Einstellungen – Geräteeinstellungen

Im Bereich **HARDWARE SETTINGS (GERÄTEEINSTELLUNGEN)** sind folgende Einstellungen möglich:

- **DATE AND TIME (DATUM UND ZEIT)** – Einstellen von Uhrzeit und Datums des Analysators. Alle gemessenen Daten beziehen sich auf diese Einstellungen. Es kann zwischen zwei Datumsformaten gewählt werden.
- **CLAMPS (ZANGEN)** – Hier können die Phasen der angeschlossenen Zangen in der Software umgekehrt werden. Dies ist besonders hilfreich in Situationen, in denen ein physikalisches Umsetzen der Zangen an den Leitungen nicht möglich oder schwierig ist. Um die Phasen umzukehren, wählen Sie das entsprechende Symbol. Standardmäßig ist dies auf **DEFAULT (STANDARD)** gesetzt. Ist die Umkehrung in der Software aktiviert, wird dies mit **REVERSED (VERTAUSCHT)** angezeigt. Dies kann nicht während des Aufzeichnungsprozesses durchgeführt werden.
- **MEMORY (SPEICHER)** – Gibt Auskunft über den Speicherplatz der SD Karte, dem internen Speicher des Analysators und über den Speicher eines externen Speichermediums, wenn dies angeschlossen ist. (Abb. 15). Jeder dieser aufgezeigten Speichermedien kann

2 Funktion des Analysators

durch **FORMAT (FORMATIEREN)** formatiert werden. Nach Bestätigung der Warnmeldung, dass alle auf dem ausgewählten Medium befindlichen Daten gelöscht werden, wird die Formatierung ausgeführt. Alle Daten werden somit unwiderruflich gelöscht.



Abb. 15. Analysator Einstellungen - Speicher

2.8.2 Analysator Einstellungen – Benutzereinstellungen

Abschnitt **SETTINGS (BENUTZEREINSTELLUNGEN)** ist wie folgt unterteilt:

- **REGIONAL SETTINGS (REGIONALE EINSTELLUNGEN)** – in dieser Ansicht (Abb. 16) kann ausgewählt werden:
 - Sprache
 - Kennzeichnung der Phasenfolge (L1, L2, L3, oder A, B, C)
 - Farbzuordnung zu den Spannungs- und Stromkanälen. Für die Regionen (EU, Australia, India, China, USA) wurden bereits Profile erstellt, zwei Profile sind mit U1 und U2 gekennzeichnet. Nach der Profilauswahl aus der Liste, erscheint ein Pop-up Fenster, um die Farben für jeden Kanal auszuwählen. Wählen Sie zuerst den Kanal, um ihm dann die Farbe zuzuweisen.

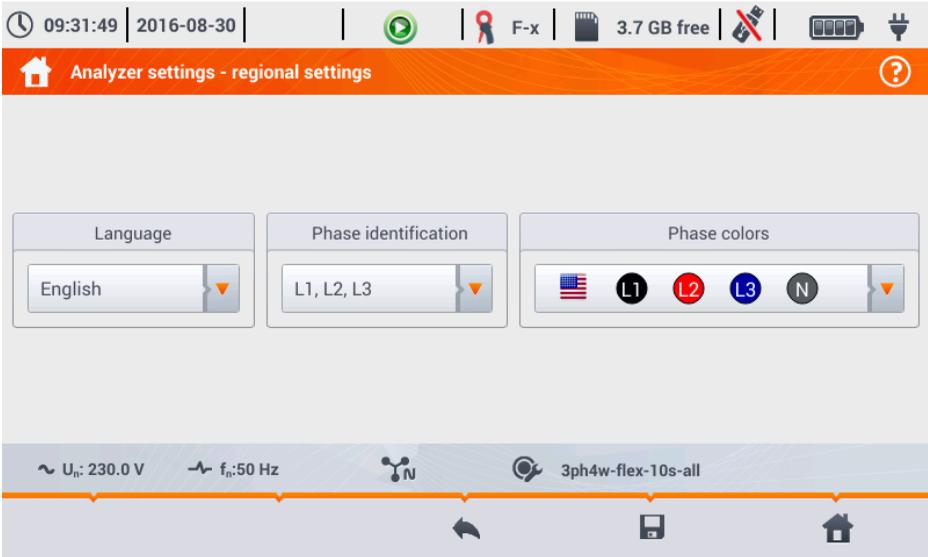


Abb. 16. Analysator Einstellungen – Regionale Einstellungen

- **POWER SAVING (ENERGIE SPAREN)** – Der Benutzer kann den Auto-off Modus des PQM-707 nach eingestellter Zeit aktivieren (solange keine Aufnahme läuft). Er kann festlegen, ob der Analysator komplett abgeschaltet werden oder in den Sperrmodus wechseln soll.
 - **AUTO-OFF MODE (AUTO-OFF MODUS)**: Auswahl für auto-off: komplette Abschaltung oder Sperren.
 - **AUTO-OFF TIME (AUTO-OFF ZEIT)** – Diese Funktion kann durch die Auswahl **Never (Nie)** deaktiviert werden, oder eine Zeit der Inaktivität festgelegt werden, nach der der Analysator sich abschaltet (**After 10 minutes (Nach 10 Minuten)** oder **After 30 minutes (Nach 30 Minuten)**).
- **SECURITY (SICHERHEIT)** – Der Analysator kann gegen unerlaubten Zugriff durch einen 4-stelligen PIN Code gesichert werden. Die Eingabe des PIN Codes ist nach jedem Einschalten des Gerätes erforderlich, wenn die Option **LOCK ANALYZER BY PIN CODE (SPERREN DES ANALYSATORS DURCH PIN CODE)** ausgewählt ist. Der Standard PIN ist "0000" und kann durch klicken in das PIN Feld geändert werden. Weiter kann ein Blockieren des Analysators 30 Sekunden nach Aufnahmestart aktiviert werden. Der Analysator wird nach 30 Sekunden gesperrt, wenn inzwischen keine Aktion am Display durchgeführt wurde, und kann dann erst durch PIN Eingabe wieder entsperrt werden. Nach dreimalig falscher PIN-Code-Eingabe wird der Analysator für 30 Minuten gesperrt. Erst nach dieser Zeit ist eine erneute PIN-Eingabe möglich.
- Um im Notfall den PIN-Code im Notfallmodus auf den Standard-Code zurückzusetzen, halten Sie für 5 Sekunden die Tasten  und  gleichzeitig gedrückt. Erscheint das Fenster mit dem PIN-Code, drücken Sie die Box mit dem blinkenden Cursor. Jetzt erscheint das Displaykeyboard, geben Sie "0000" ein und bestätigen Sie die Eingabe.
- **USER DATA (BENUTZERDATEN)** – Hier können Sie Ihre Kontaktinformationen eingeben. Diese Daten werden dann auf den Normberichten mit angedrückt.
- **STARTUP SCREEN (STARTBILDSCHIRM)** – Sie können diesen individuell aus folgenden Auswählen:
 - **WAVEFORM (WELLENFORM)**

2 Funktion des Analysators

- **TIMEPLOT (ZEITDIAGRAMM)**
- **PHASOR (PHASOR)**
- **HARMONICS (ÜBERSCHWINGUNGEN)**
- **MAIN MENU (HAUPTMENÜ)** (Standard)
- **DISPLAY** – Hier können Sie die LCD Helligkeit einstellen. Je nach Helligkeitsstufe hat dies Einfluss auf die Laufzeit im Akkubetrieb. Das automatische Abschalten des Displays erhöht die Laufzeit des Gerätes im Akkubetrieb. Es kann ein Abschalten nach 2 oder 5 Minuten eingestellt werden.

2.8.3 Analysator Einstellungen – Managers

Abschnitt **MANAGERS (VERWALTEN)** beinhaltet:

- **STANDARDS (NORMEN)** – Mit dieser gelangen Sie in folgende Ansicht, wie in Abb. 17 dargestellt. Es wird eine bereits vorab im Speicher hinterlegte Liste von Normprofilen aufgelistet, um entsprechende Normberichte im Anschluss zu erstellen.

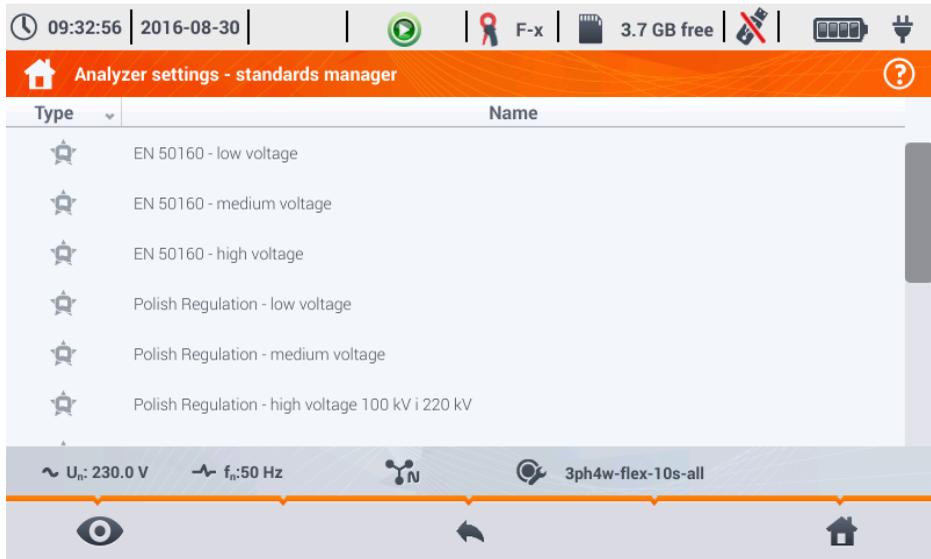


Abb. 17. Analysator Einstellungen - Normenverwaltung

Nach Anwählen einer Normzeile und anschließendem Vorschau Symbol  in der unteren Menüleiste, erscheint die erste Konfigurationsansicht der entsprechenden Norm.

Mit  und  in der unteren Menüleiste kann zwischen den einzelnen Ansichten gewechselt werden.

Mit  gelangen Sie zur Vorschau der Normkriterien, welche für den entsprechend konformen Bericht notwendig sind. Mit  und  in der unteren Menüleiste kann auch hier zwischen den einzelnen Ansichten gewechselt werden. Die Parameter der

einzelnen Normen sind permanent im Speicher hinterlegt und können nicht verändert werden. Sie entsprechen den aktuellen Anforderungen der Netzqualität.

- **FILES (DATEIEN)** – In dieser Ansicht kann der Benutzer die abgespeicherten Daten im Speicher zur Ansicht aufrufen oder bearbeiten. Die Darstellung der Ansicht ist in Abb. 18 abgebildet.

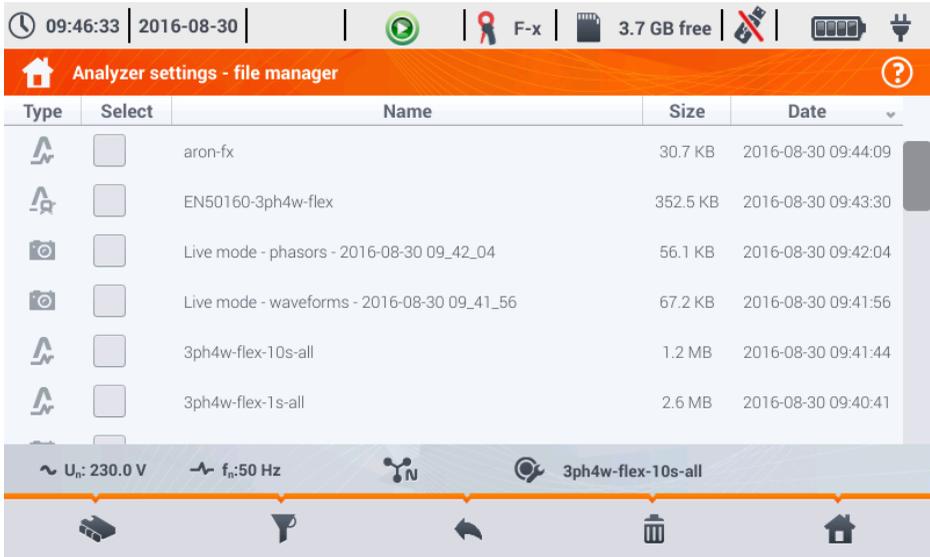


Abb. 18. Analysator Einstellungen - Dateimanager

Die folgenden Elemente werden in der nächsten Spalte aufgeführt:

- **TYPE (ART)** – Das Symbol gibt den entsprechenden Dateityp wie folgt an:
 - - Aufnahme einer bestimmten Norm
 - - Benutzerdefinierte Aufnahme
 - - Screenshot
 - - Konfigurationsdatei einer bestimmten Norm
 - - Benutzerdefinierte Konfigurationsdatei
 - - Normkonformer Bericht
- **SELECT (AUSWAHL)** – Auswahlboxen einer entsprechenden Datei (Kopieren oder Löschen).
- **NAME (BEZEICHNUNG)** – Vergebene Bezeichnung der Datei
- **SIZE (GRÖßE)** – Dateigröße
- **DATE (DATUM)** – Datum und Zeit der letzten Dateiänderung

Funktionen der Menüleiste

- - Zeigt eine weitere Menüleiste im Dateimanager an.

2 Funktion des Analysators



- Ansicht der gesamten Dateien, welche auf der microSD Karte hinterlegt sind.



- Ansicht der gesamten Dateien, welche im internen Speicher hinterlegt sind.



- Kopieren der ausgewählten Dateien auf ein externes Speichermedium (USB-Stick); Dieses Symbol ist nur aktiv, nachdem ein Speichermedium angeschlossen ist.



- Alle Dateien auswählen



- Weiteres Menü zum Filtern wird angezeigt. Auswahl des Dateityps zur Auflistung. Die ausgewählten Dateitypen werden orange hervorgehoben.



- Löschen der ausgewählten Dateien

- **UPGRADES** – Ansicht dargestellt in Abb. 19. In diesem Modus kann ein Speicher-Stick mit der neuen Firmware-Version verbunden werden. Wird diese Datei erkannt und der Updatevorgang vom Benutzer bestätigt, führt der Analysator automatisch das Update aus. Folgen Sie dazu den Anweisungen am Display. Die zweite Option, ein Upgrade durchzuführen, ist die Verwendung der *Sonel Analysis* Software.

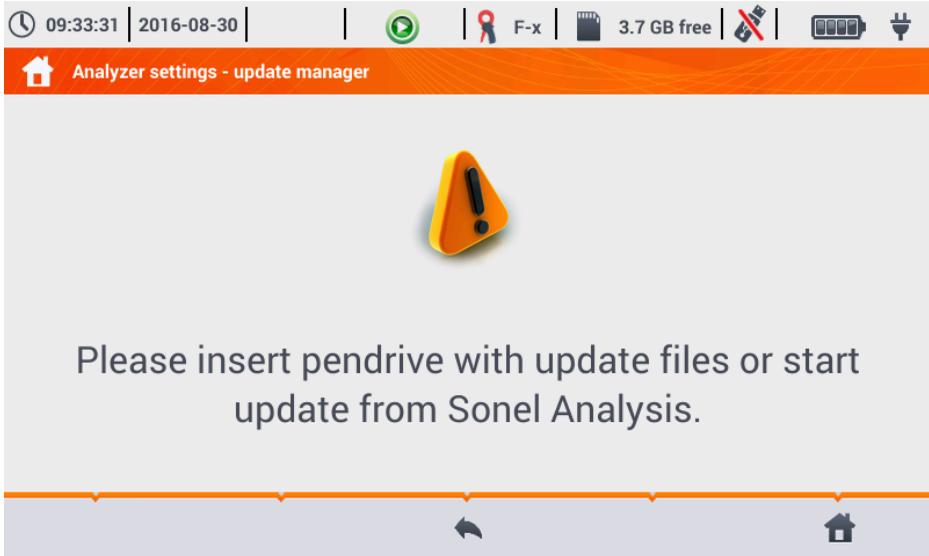


Abb. 19. Analysator Einstellungen - Update Manager.

Achtung!

Vor dem Start eines Updates, schließen Sie das Gerät am externen 12V DC Netzteil an, um eine kontinuierliche Spannungsversorgung zu gewährleisten. Entfernen Sie den USB-Stick nicht während des Updatevorgangs.

2.9 Analyse der Aufzeichnungen

Der PQM-707 ermöglicht dem Benutzer eine vereinfachte Form der Analyse der aufgezeichneten Daten ohne zusätzliche Software. Der Umfang der Analyse beinhaltet:

- Gesamtübersicht der Aufzeichnung - Start und Endzeit, Anzahl der aufgenommenen Ereignisse inkl. Typ und Mittelwerte von Spannungen und Strömen
- Eine Detailübersicht aller Ereignisse mit Vorschau von Wellenform und Graphen von $RMS_{1/2}$.
- Vorschau der Mittelwerte der Spannung(en) über den gesamten Aufnahmeverlauf in graphischer Darstellung.
- Erstellen von Zeitdiagrammen aus jedem der aufgezeichneten Parameter (begrenzt auf 1100 Punkte und 4 Parameter pro Graph) mit Zoom-in-Funktion und Zeit-Punkt-Marker.
- Balkendiagramm Vorschau der Oberschwingungen (Mittelwert des gesamten Aufnahmeverlaufs).

Es ist möglich die Analysen an abgeschlossenen und auf der Speicherkarte abgespeicherten Aufnahmen durchzuführen oder während einer laufenden Aufnahme.

2.9.1 Liste der Aufzeichnungen

Um eine Analyse durchzuführen wählen Sie **RECORDING ANALYSIS (ANALYSE DER AUFZEICHNUNGEN)** im Hauptmenü (Hauptmenü dargestellt in Abb. 2).

In diesem Menü wird eine Liste der gesamten auf der Speicherkarte hinterlegten Aufnahmen angezeigt. Abb. 20.

Type	Name	Size	Date
	EN50160-MV-3ph3w-c6	3.9 MB	2016-09-22 14:34:58
	EN50160-1ph-c6	2.2 MB	2016-09-12 12:03:00
	1ph-1s	6.1 MB	2016-08-25 16:53:18
	1ph-1s	5.7 MB	2016-08-24 18:27:06
	EN50160-1ph-c6	2.2 MB	2016-08-19 17:33:42
	1-phase-voltage-10s	44.7 MB	2016-08-10 12:03:56

~ U_n: 230.0 V ~ f_n: 50 Hz EN50160-1ph-c6

Abb. 20. Analyse der Aufzeichnungen – Liste der Aufzeichnungen

2 Funktion des Analysators

Folgende Spalten werden aufgezzeigt:

- **TYPE (ART)** der Aufzeichnung – Das Symbol zeigt an, ob eine benutzerdefinierte Aufnahme  oder Aufnahme nach Norm  durchgeführt wurde.
- **NAME (BEZEICHNUNG)** der Aufzeichnung, welcher identisch zur Konfiguration ist
- **SIZE (GRÖÖE)** der Aufzeichnung
- **DATE (DATUM)** – wann die Aufnahme beendet wurde

Im Falle einer laufenden Aufzeichnung, steht diese immer an erster Stelle der Liste, unabhängig vom gesetzten Filter. Anstatt des Symbol der entsprechenden Art der Aufnahme, wird hier das Aufnahmesymbol  angezeigt.

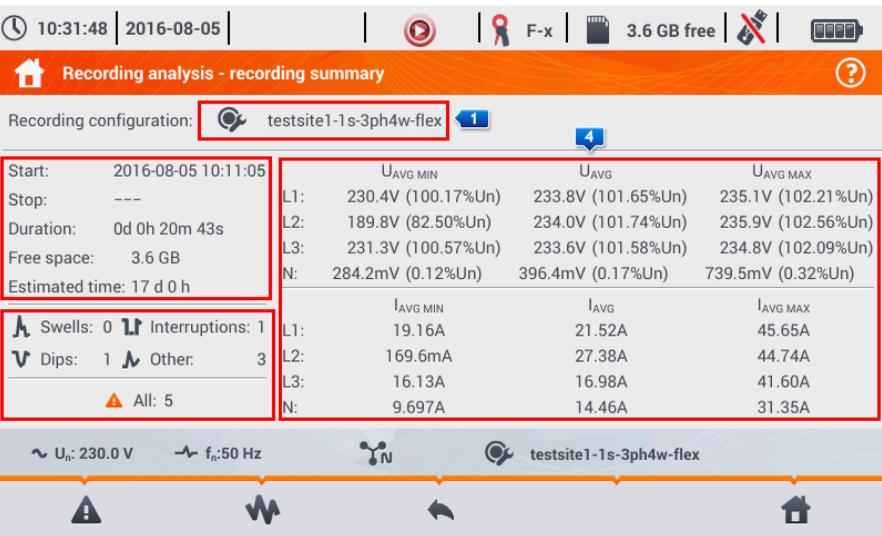
Funktionen der Menüleiste

 - Menü zur Analyse der ausgewählten Aufnahme (auch Doppelklick auf Bezeichnung möglich).

 - Anzeige des Filtermenüs. Entsprechend den Filtereigenschaften werden die Dateien aufgelistet. Die ausgewählten Dateitypen werden orange hervorgehoben.

2.9.2 Zusammenfassung einer Aufzeichnung

Nach Auswahl einer Aufzeichnung aus der Liste und Anklicken des Vorschausymbols  (oder Doppelklick auf Bezeichnung) wird eine Zusammenfassung der Aufzeichnung in einem neuen Fenster angezeigt, siehe Abb. 21.



Recording configuration:  testsite1-1s-3ph4w-flex

Start:	2016-08-05 10:11:05
Stop:	---
Duration:	0d 0h 20m 43s
Free space:	3.6 GB
Estimated time:	17 d 0 h

	U _{AVG} MIN	U _{AVG}	U _{AVG} MAX
L1:	230.4V (100.17%Un)	233.8V (101.65%Un)	235.1V (102.21%Un)
L2:	189.8V (82.50%Un)	234.0V (101.74%Un)	235.9V (102.56%Un)
L3:	231.3V (100.57%Un)	233.6V (101.58%Un)	234.8V (102.09%Un)
N:	284.2mV (0.12%Un)	396.4mV (0.17%Un)	739.5mV (0.32%Un)

	I _{AVG} MIN	I _{AVG}	I _{AVG} MAX
L1:	19.16A	21.52A	45.65A
L2:	169.6mA	27.38A	44.74A
L3:	16.13A	16.98A	41.60A
N:	9.697A	14.46A	31.35A

Swells: 0 Interruptions: 1
Dips: 1 Other: 3
All: 5

U_r: 230.0 V f_r: 50 Hz testsite1-1s-3ph4w-flex

Abb. 21. Analyse der Aufzeichnungen – Zusammenfassung einer Aufzeichnung

Das Fenster (Abb. 21) zeigt:

- Bezeichnung der Konfiguration 

- Start, Endzeit, Dauer der Aufnahme (läuft die Aufnahme noch, wird keine Endzeit angezeigt) und der freie Speicher auf der SD-Karte mit der noch verbleibenden Aufnahmezeit bis zur vollen Speicherbelegung **2**
- Die Anzahl der registrierten Ereignisse, aufgeteilt in die verschiedenen Arten **3**
- Mittelungs-, Minimal- und Maximalwerte der Spannungen über die gesamte Aufnahmezeit **4**. Minimal- und Maximalwerte werden aus dem Mittelwert der aufgezeichneten Spannung ermittelt (dies sind keine Minimal- und Maximalwerte $RMS_{1/2}$). Zusätzlich wird bei den Spannungen noch in Klammern der prozentuale Wert in Bezug zur Nennspannung angezeigt. Wurden in einem Messkanal einer Konfiguration keine Messdaten ermittelt, so wird dies mit "---" angezeigt.
- Mittelungs-, Minimal- und Maximalwerte der Ströme über die gesamte Aufnahmezeit **5**. Gleich wie bei den Spannungen werden Minimal- und Maximalwerte aus dem Mittelwert der Ströme ermittelt. Wurden in einem Messkanal einer Konfiguration keine Messdaten ermittelt, so wird dies mit "---" angezeigt.

Funktionen der Menüleiste



- Zeigt die Liste aller Ereignisse an



- Diagramme. Hier öffnet sich eine neue Menüleiste mit folgenden Optionen:



- Zeitdiagramm. Beschreibung siehe Abschnitt. 2.9.3.



- Balkendiagramm mit Mittelwerten der Oberschwingungen. Beschreibung siehe Abschnitt 2.9.8.



- Generieren des Normberichts (nur bei Aufnahme nach Norm). Beschreibung siehe Abschnitt 2.9.6.

2.9.3 Zeitdiagramm – Auswahl des Zeitbereichs

Durch das Symbol  gelangen Sie in das Menü zum Erstellen von Zeitdiagrammen aus den aufgezeichneten Parametern. Ein Zeitdiagramm kann maximal vier verschiedene Parameter enthalten.

Im Display wird der Graph der Mittelwerte von RMS oder DC Spannung (abhängig von der Netzform) der gesamten Aufnahme angezeigt.

In diesem Fenster (Abb. 22) werden folgende Elemente dargestellt:

- Aufnahmestartzeit **1**
- Aufnahmedauer **2**
- Aufnahmeendzeit **3**
- Regler für Zeitbereich (links und rechts) **4**
- Diagramm der Mittelwertsspannung RMS/DC **5**
- Tasten zur Anzeige der Zeitbereichsregler rechts/links **6**
- Startzeit des ausgewählten Zeitbereiches **7**
- Ausgewählter Zeitbereich **8**
- Endzeit des ausgewählten Zeitbereiches **9**

Der Zeitbereich, welcher für die Erstellung des Zeitdiagramms definiert werden muss, kann auf zwei Arten festgelegt werden:

- Durch die Zeitbereichsregler **4**. Erfassen Sie den Zeitbereich mit den Reglern durch Setzen der Start- und Endzeit des Intervalls.
- Eingabe der gewünschten Start- und Endzeit oder Laufzeit. Bei der Eingabe der Laufzeit muss durch den Benutzer festgelegt werden, ob sich die Zeit auf den Beginn oder das

2 Funktion des Analysators

Ende des Bereiches bezieht. Der gesetzte Bereich wird auf die maximal möglichen 1100 Punkte überprüft und gegebenenfalls automatisch auf den Bereich angepasst. Dies wird dann durch eine entsprechende Meldung im Display angezeigt.

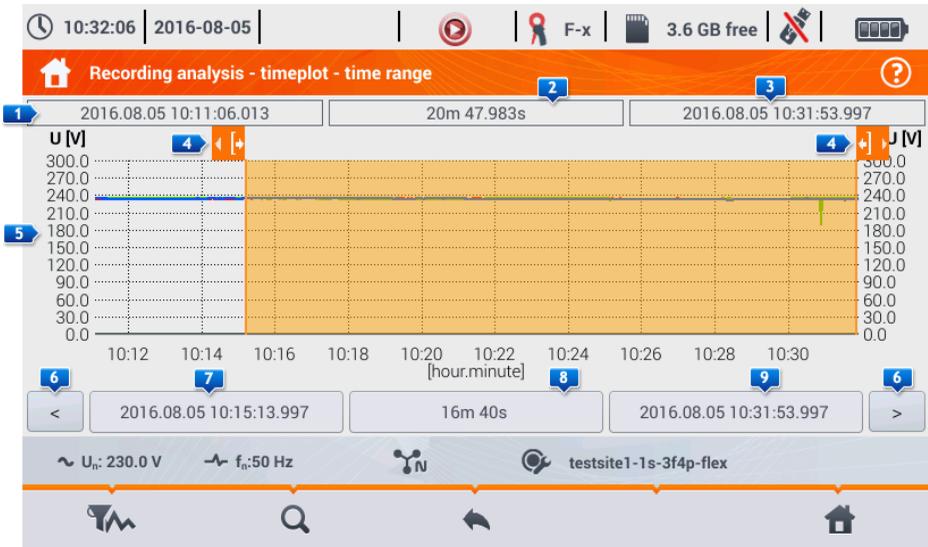


Abb. 22. Analyse der Aufzeichnungen – Auswahl des Zeitbereiches für ein Diagramm

Funktionen der Menüleiste

-  - Auswahl der Parameter für ein Zeitdiagramm
-  - Zoom-Menü des Graphen

2.9.4 Zeitdiagramm - Datenauswahl

Nach dem Festlegen des Zeitbereiches und Anwählen des Symbols zur Parameterauswahl  öffnet sich folgendes Menüfenster, dargestellt in Abb. 23.



Abb. 23. Analyse der Aufzeichnungen – Parameterauswahl für das Zeitdiagramm

3 Bereiche legen die Auswahl der Parameter fest:

- Die **Category (Kategorie)** der Parameter
- Die **Type (Art)** des Parameters der gewählten Kategorie **Category**
- Zuletzt wählen sie den jeweiligen Parameter der verfügbaren Kanäle: Minimal-, Mittel-, und Momentanwert

CATEGORY (KATEGORIE) und **TYPES (ARTEN)** sind folgendermaßen gruppiert:

- **VOLTAGE (SPANNUNG):**
 - **U RMS** (RMS Spannung)
 - **CF U** (Crestfaktor der Spannung)
 - **f** (Frequenz)
 - **PST** (Kurzzeit-Flickerstärke)
 - **PLT** (Langzeit-Flickerstärke)
- **CURRENT (STROM):**
 - **I RMS** (RMS Strom)
 - **CF I** (Crestfaktor des Stromes)
- **POWER (LEISTUNG):**
 - **P** (Wirkleistung)
 - **Q1/Qb** (Blindleistung)
 - **Sn/D** (Verzerrungsleistung)
 - **S** (Scheinleistung)
 - **cosφ** (Verschiebungsleistungsfaktor)
 - **PF** (Leistungsfaktor)
 - **tanφ**
- **ENERGY (ENERGIE):**

2 Funktion des Analysators

- **EP+** (Wirkenergie aufgenommen)
- **EP-** (Wirkenergie abgegeben)
- **EQ+** (Blindenergie aufgenommen)
- **EQ-** (Blindenergie abgegeben)
- **ES** (Scheinenergie)
- **HARMONICS U (ÜBERSCHWINGUNGEN U):**
 - **THD U** (Gesamtklirrfaktor der Spannung)
 - **UH1...UH40** (Überschwingungen der Spannung von 1...40.)
- **HARMONICS I (ÜBERSCHWINGUNGEN I):**
 - **THD I** (Gesamtklirrfaktor des Stromes)
 - **Ih1...Ih40** (Überschwingungen des Stromes von 1...40.)

Nach Auswahl der Kategorie und Art wählen Sie die Box, um die individuellen Parameter des entsprechenden Messkanales (oder einen Gesamtwert) festzulegen. Im Menüfenster der einzelnen Parameter werden nur die angezeigt, welche aufgezeichnet worden sind.

Zur besseren Orientierung sind die ausgewählten Parameter und die Felder Kategorie und Art für das Diagramm orange umrandet.

Sind bereits vier Parameter angewählt, wird bei jedem Versuch einer zusätzlichen Auswahl eine Meldung angezeigt, dass die maximale Anzahl der ausgewählten Parameter für das Diagramm bereits erreicht wurde.

Funktionen der Menüleiste



- Anzeige des Zeitdiagramms für die ausgewählten Parameter



- Entfernt die Auswahl aller Parameter

2.9.5 Zeitdiagramm der Parameter - Zeitdiagrammfenster

Nach Auswahl des Symbol  im Datenauswahlfenster wird ein Zeitdiagramm generiert, welches Veränderungen der gewählten Parameter zu einer bestimmten Zeit anzeigt. (Abb. 24).



Abb. 24. Analyse der Aufzeichnungen - Zeitdiagramm

Auf der rechten Seite des Diagramms werden die folgenden Felder dargestellt:

-  1 - Startzeit des Zeitdiagramms
-  2 - Endzeit des gesamten Diagramms
-  3 - Zeitbereich des gesamten Zeitdiagramms
-  4 - Datum- und Zeitmarker
-  5 - Auswahl für individuelle Wellenformen mit dem Wert des gesetzten Markers.

Der Bereich des Diagramms kann frei durch die Zoom-in-Funktion durch das Touchdisplay vergrößert werden. Ein Zoomen des Graphs beeinflusst nicht die angezeigten Zeiten von Start, Ende und Dauer. Diese sind für das gesamte Diagramm immer fix – nicht nur für den vergrößerten Bereich.

Jede der beiden vertikalen Achsen ist einem oder mehreren mit gleicher Einheit dargestellten Parametern zugewiesen.

Funktionen der Menüleiste

      - Zeigt eine weitere Menüleiste zur Auswahl dargestellter Zeitdiagramme an

 - Zoom-Menü des Graphen

 - Zeigt ein weiteres Menü zum Einstellen der Skalen an. (Abb. 25). In diesem Menü können die Beschreibungen der Skalen rechts und links des Diagramms festgelegt werden. Um dies durchzuführen, klicken Sie auf das Feld mit der Beschreibung der Parameter. Das Symbol mit Angabe der Einheit wird angezeigt, wenn der Graph mindestens zwei Parameter mit gleicher Einheit darstellt. Wählen Sie dieses Symbol, um den Maßstab gleicher Plots in einen Maßstab

2 Funktion des Analysators

entsprechend den Parametern zu ändern. Bedenken Sie, bei nicht einheitlicher Skalierung wird nur eine Wellenform mit Einheit einer zugewiesenen Achse skaliert und deren Aufzeichnung an die Fenstergröße angepasst. Andere Wellenformen, wenn auch mit gleicher Einheit, wurden nicht mit skaliert.

 - Screenshot des aktuellen Fensters zu einer Bilddatei

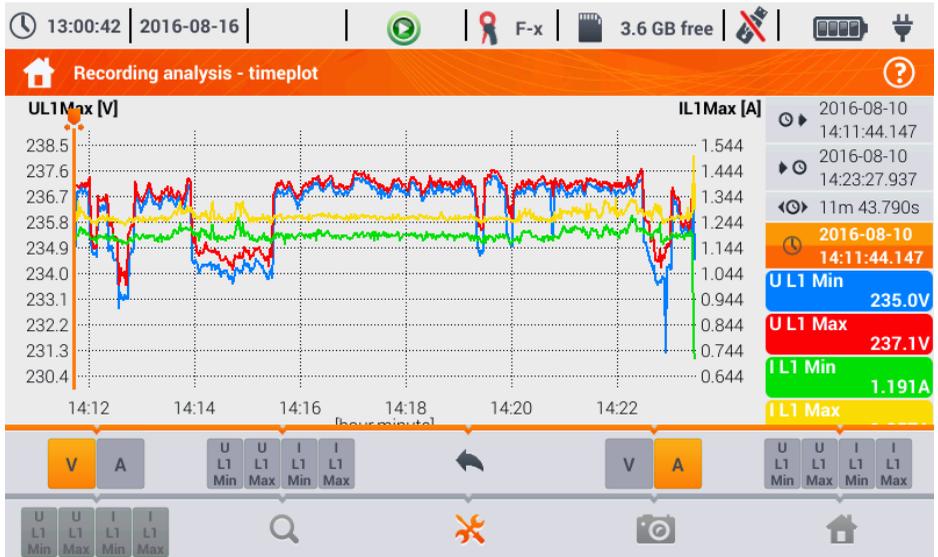


Abb. 25. Analyse der Aufzeichnungen – Zeitdiagramm – Auswahl der Skalen

2.9.6 Erstellen eines normkonformen Berichtes

Die Auswahl des Symbols  in der Gesamtübersicht der Aufzeichnungen öffnet eine neue Ansicht zur Generierung von konformen Normberichten. Wurde eine Aufzeichnung nach entsprechender Profilauswahl einer Norm (z.B. EN50160) durchgeführt, ist es möglich, zu überprüfen, ob die Parameter des getesteten Netzes den Anforderungen der Norm entsprechen und einen Bericht zu erstellen. Gleichzeitig wird dazu eine Datei des erstellten Berichtes generiert. (Abb. 26).

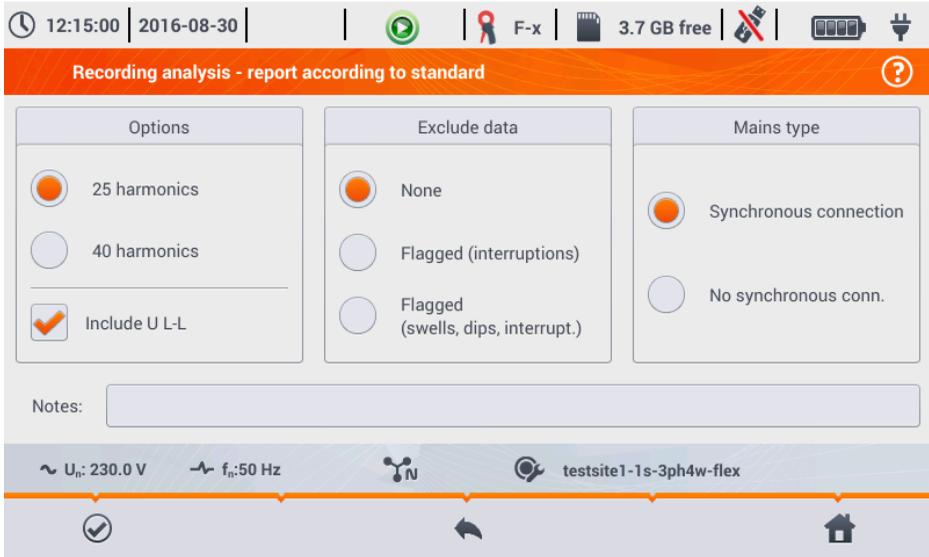


Abb. 26. Analyse der Aufzeichnungen – Optionen des Normberichtes

- **OPTIONS (OPTIONEN) – 25 HARMONICS / 40 HARMONICS (ÜBERSCHWINGUNGEN):** Der Benutzer kann hier die Anzahl der Oberschwingungen auswählen, welche im Bericht angegeben werden sollen. Es kann zwischen 25 oder 40 Oberschwingungen gewählt werden. Die Kriterien zur Erfüllung der Normen entsprechen den Normrichtlinien und sind unabhängig von der Anzahl der Oberschwingungen. Diese Einstellung hat nur Einfluss auf die Anzahl der Oberschwingungen in der dargestellten Übersichtstabelle des Berichtes.
- **OPTIONS – INCLUDE U L-L (INKL. U L-L):** Das Anwählen dieser Option fügt dem Bericht die Statistik der Phase-Phase Spannung (wenn aufgezeichnet) hinzu. Dies trifft nur auf 1-Phasen 3-Leiter Netze und 3-Phasen 4-Leiter Netze zu.
- **EXCLUDED DATA (DATENAUSSCHLUSS):** Diese Daten werden nicht mit in den Statistiken des Normberichtes aufgenommen. Es gibt hierzu drei Optionen:
 - **NONE (KEINE):** Es werden alle aufgezeichneten Daten mit in den Bericht übernommen, auch diese, welche während der Spannungsereignisse auftraten.
 - **MARKIERT (INTERRUPTIONS) (UNTERBRECHUNGEN):** Statistiken der Berichte, werden hier durch den Ausschluss von Unterbrechungen erstellt. Diese Einstellung ist typisch für die Richtlinien einer Berichterstellung nach EN 50160. Stromausfälle werden als außergewöhnliche Situationen des Netzbetriebes angesehen und tauchen hier nicht in den Qualitätsstatistiken auf. Eine Unterbrechung in mehrphasigen Netzen wird in der Norm IEC 61000-4-30 definiert. Eine Versorgungsunterbrechung ist nur dann eingetreten, wenn

2 Funktion des Analysators

diese in allen drei Phasen zur gleichen Zeit aufgetreten ist.

- **MARKIERT (INTERRUPTIONS, DIPS, SWELLS)**: Statistiken der Berichte werden hier durch den Ausschluss von Unterbrechungen, Spannungseinbrüchen und Spannungsspitzen erstellt.
- **CONNECTION (VERBINDUNG) – SYNCHRONOUS (SYNCHRON)/NO SYNCHRONOUS (ASYNCHRON)**: Option **ASYNCHRON** muss ausgewählt werden in Netzen auf Inseln, isoliert von anderen Netzen; andernfalls wählen die **SYNCHRON**. Die Normen unterscheiden die Qualitätskriterien der Frequenzen dieser beiden Verbindungen.
- **NOTES (BEMERKUNGEN)**: Hier kann dem Normbericht ein zusätzlicher Text hinzugefügt werden, welcher später im Bereich "Bemerkung" mit angedrückt wird.

Nach dem Einstellen sämtlicher Parameter kann durch Anwählen des Symbol  in der unteren Menüleiste der Bericht erstellt werden. Der nach kurzer Zeit am Display dargestellte Bericht kann mit dem Finger am Display oder durch die Symbole  und  durchgescrollt werden.

Der Bericht kann als Datei (im *.pdf* Format) auf der Speicherkarte gespeichert werden (Wählen Sie aus der unteren Menüleiste das Symbol , danach das Symbol ) oder nach Verbinden mit einem USB-Speichermedium (Wählen Sie aus der unteren Menüleiste das Symbol , danach das Symbol ).

Ein Teil eines typischen Berichtes ist in Abb. 27 dargestellt.

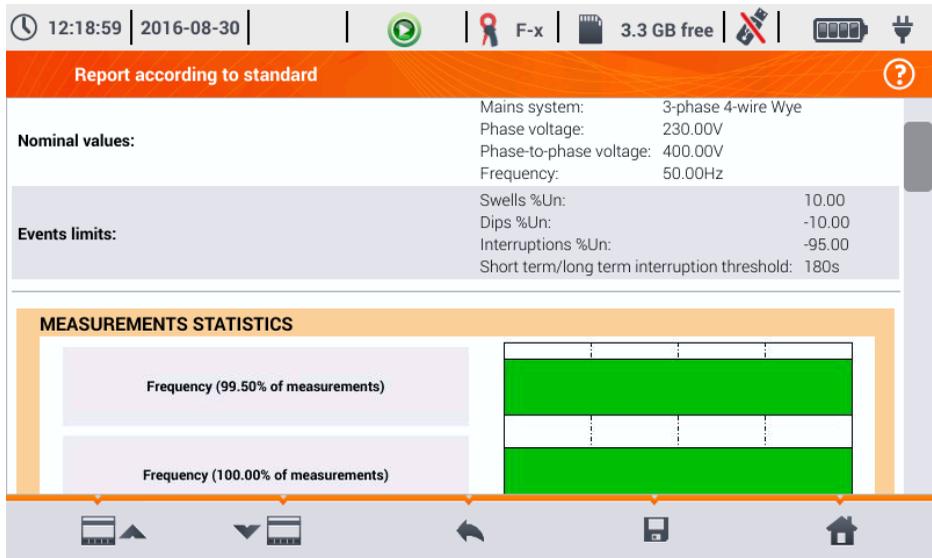


Abb. 27. Analyse der Aufzeichnungen - Normbericht

2.9.7 Normbericht - Beschreibung

Die europäische Norm, EN 50160 spezifiziert die Charakteristika und Qualitätskriterien, welche die Verteilernetze im Mittelspannungs- und Niederspannungsbereich zu erfüllen haben. Viele Länder haben diese Bestimmungen so übernommen, manchmal leicht abgewandelt oder eigene lokale Reglementierungen der Parameter für die Versorgungsnetze eingetragen.

Die EN 50160 teilt die Verteilernetze abhängig von ihrer Nennspannung in drei Gruppen:

- Niederspannungsnetze (LV) mit Spannungen $U_{nom} \leq 1 \text{ kV}$ (im PQM-707 ist das Profil für diese Art des Netzes "EN 50160 (Niederspannung)")
- Mittelspannungsnetze (MV): $1 \text{ kV} < U_{nom} \leq 36 \text{ kV}$ (Profil "EN 50160 (Mittelspannungsnetz)")
- Hochspannungsnetze (HV): $36 \text{ kV} < U_{nom} \leq 150 \text{ kV}$ (Profil "EN 50160 (Hochspannungsnetz)")

Die Tab. 4 listet alle Qualitätsparameter der Norm EN 50160 und deren Kriterien der Beurteilung von Nieder- und Mittelspannung (gemessene Parameter des PQM-707). Beachten Sie, dass sich diese Kriterien auf den normalen Betrieb der Netze und Anomalien wie Netzunterbrechungen oder ähnlichem, ausgelöst durch atmosphärische Phänomene beziehen.

2.9.7.1 Bereich ALLGEMEINE INFORMATIONEN

Der Abschnitt ALLGEMEINE INFORMATIONEN enthält allgemeine Informationen über Messparameter und zusätzliche Felder, welche durch den Benutzer beim Erstellen eines Berichtes ausgefüllt werden können:

- Messung durchgeführt von
- Bemerkungen
- Analysator Typ und Seriennummer
- Software (Analysator-Softwareversion)
- Start-, Endzeit und Dauer der Messung (bezogen auf die Ortszeit des Analysators)
- Die Anzahl der gemittelten Parameteraufzeichnungen bezogen auf verschiedene Zeiten – Dieser Teil gibt die Zeitperioden an, in der die Parameter gemessen werden:
 - 10 s – Periodenanzahl von Frequenzmessungen
 - 10 min – Periodenanzahl der Messperioden für die meisten anderen Parameter, wie RMS Spannung, Oberschwingungen, THD, symmetrische Komponenten
 - 15 min – wird in Berichten nach *polnischer Vorschrift*, wo zusätzlich 15-Minuten Parameter gemessen werden, z.B. Wirkleistung, Blindleistung, und $\tan\phi$ verlangt
 - 2 h – Periodenanzahl in der der Flickerfaktor P_{LT} berechnet wird.
- Anzahl der ausgegrenzten Aufzeichnungen – Die Gesamtanzahl der nicht berücksichtigten Perioden auf Grund der Abwahl (Siehe Abb. 26) (auf Grund von Unterbrechungen alleine oder Ereignissen aus Spannungsspitzen, Spannungseinbrüchen oder Unterbrechungen).
- Nennwerte der Netze:
 - Netzform
 - Nennspannung Phase und Phase-Phase
 - Nennfrequenz
- Ereignisgrenzwerte für Spannungsspitzen, Spannungseinbrüchen oder Unterbrechungen.

2.9.7.2 Bereich MESSSTATISTIKEN

Der Abschnitt Messstatistiken ist eine graphische Übersicht des getesteten Netzes gemäß den entsprechenden Normen. Die Parameterarten sind an der linken Seite aufgeführt, während rechts die horizontalen Balken den perzentilen Wert der Messdaten anzeigen, welche die Qualitätskriterien erfüllen.

Die Perzentile eines prozentualen Schwellenwertes, ist der Wert unterhalb dessen, der den prozentualen Wert aller Aufzeichnungen angibt. Perzentile 50% wird auch als Median bezeichnet; er gibt

2 Funktion des Analysators

den halben Wert der Aufzeichnung an, welcher unterhalb des Median liegt und die zweite Hälfte gleich oder größer als dieser ist. Im Bereich der Netzqualitätsmessungen werden die folgenden Perzentilen üblicherweise verwendet: 95%, 99% oder 99,5%.

Tab. 4. Netzqualitätskriterien gemäß EN 50160 für Niederspannungsnetze (bis zu 1kV) und Mittelspannungsnetze (36 kV).

Parameter	Grund Parametermesszeit	Kriterium																																																								
Langsame RMS Spannungsänderungen	10 Minuten	Für Niederspannungsnetze: bei 95% der Messungen soll die Abweichung zur Nennspannung im Bereich von $\pm 10\% U_{nom}$ liegen. bei 100% der Messungen: $-15\% \dots +10\% U_{nom}$ Für Mittelspannungsnetze: bei 99% der Messungen soll die Abweichung zur Nennspannung im Bereich von $\pm 10\% U_{nom}$ liegen. bei 100% der Messungen: $\pm 15\% U_{nom}$																																																								
Frequenz	10 Sekunden	Für synchron verbundene Netze: bei 99.5% der Messungen soll die Abweichung zur Nennfrequenz im Bereich von $\pm 1\% f_{nom}$ liegen. (z.B. bei 50 Hz ist dies 49.5...50.5 Hz) bei 100% der Messungen: $-6\% \dots +4\% f_{nom}$ (47...52 Hz) Für asynchron verbundene Netze (z.B. Inselnetze): bei 95% der Messungen soll die Abweichung zur Nennfrequenz im Bereich von $\pm 2\% f_{nom}$ liegen. (z.B. bei 50Hz ist dies 49...51 Hz) bei 100% der Messungen: $\pm 15\% f_{nom}$ (42.5...57.5 Hz)																																																								
Rapide Spannungsänderungen (Flicker)	2 Stunden	bei 95% der Messungen ist die Langzeitflickerstärke: $P_{LT} \leq 1$																																																								
Spannungsunsymmetrie	10 Minuten	bei 95% der Messungen der negativen Sequenz sollte der Unsymmetriefaktor $\leq 2\%$ sein.																																																								
Gesamtklirrfaktor (THD-F)	10 Minuten	bei 95% der Messungen, THD-F sollte $\leq 8\%$ sein																																																								
Oberschwingungen der Spannung	10 Minuten	bei 95% der Messungen, sollte die Höhe Spannungsharmonischen bezogen zur Grundkomponente kleiner sein als: <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Ungerade Oberschwingungen</th> <th colspan="2">Gerade Oberschwingungen</th> </tr> <tr> <th>Ordnung</th> <th>Relative Höhe</th> <th>Ordnung</th> <th>Relative Höhe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>5.0%</td> <td>2</td> <td>2.0%</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>6.0%</td> <td>4</td> <td>1.0%</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>5.0%</td> <td>6 ... 24</td> <td>0.5%</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>1.5%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>3.5%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>13</td> <td>3.0%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.5%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>17</td> <td>2.0%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>1.5%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>0.5%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>23</td> <td>1.5%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>1.5%</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Ungerade Oberschwingungen		Gerade Oberschwingungen		Ordnung	Relative Höhe	Ordnung	Relative Höhe	3	5.0%	2	2.0%	5	6.0%	4	1.0%	7	5.0%	6 ... 24	0.5%	9	1.5%			11	3.5%			13	3.0%			15	0.5%			17	2.0%			19	1.5%			21	0.5%			23	1.5%			25	1.5%		
Ungerade Oberschwingungen		Gerade Oberschwingungen																																																								
Ordnung	Relative Höhe	Ordnung	Relative Höhe																																																							
3	5.0%	2	2.0%																																																							
5	6.0%	4	1.0%																																																							
7	5.0%	6 ... 24	0.5%																																																							
9	1.5%																																																									
11	3.5%																																																									
13	3.0%																																																									
15	0.5%																																																									
17	2.0%																																																									
19	1.5%																																																									
21	0.5%																																																									
23	1.5%																																																									
25	1.5%																																																									

Perzentile 0% ist gleich dem Minimalwert der gesamten Aufzeichnungen, wohingegen Perzentile 100% gleich dem Maximalwert der gesamten Aufzeichnungen entspricht. (Es gibt keinen höheren Wert).

Beispiel: Die Norm EN 50160 besagt für die RMS Spannungswerte, dass 100% der Messungen im Bereich von $-15\% \dots +10\% U_{\text{nom}}$ und 95% der Messungen im Bereich von $\pm 10\% U_{\text{nom}}$ liegen müssen. Diese beiden Anforderungen können wie folgt beschrieben werden:

- Perzentile 100% muss zwischen $-15\% \dots +10\% U_{\text{nom}}$ liegen.
- Perzentile 95% muss zwischen $-10\% \dots +10\% U_{\text{nom}}$ liegen.

Um zu überprüfen, ob die RMS Spannung den Anforderungen entspricht, gehen Sie folgendermaßen vor:

1. Alle gemessenen Spannungsaufzeichnungen sind sortiert von der niedrigsten [1] bis zur höchsten [N].
2. Es wurde überprüft, ob der Maximalwert (z.B. Perzentile 100%, Aufzeichnung [N]) im Bereich von -15% bis $+10\% U_{\text{nom}}$ liegt, wenn ja, ob dieses Kriterium dann erfüllt ist.
3. Es wurde überprüft, ob der Wert der sortierten Tabelle mit Index $[N * 0,95]$ (erste integer Anzahl ist größer oder gleich zu $N * 0,95$) z.B. Perzentile 95%, im Bereich von $-10\% \dots +10\% U_{\text{nom}}$ liegt. Wenn ja, ist dieses Kriterium erfüllt.

Im Fall einer Protokollierung nach Norm geben die Länge der Balken die Perzentile der Aufzeichnung an (die horizontale Achse im Bericht definieren den Bereich von 80% bis 100%) was das Erfüllen der Kriterien bedeutet. Für die RMS Spannung gibt es im Statistikbereich zwei separate Parameter. Für diese zwei Bewertungsparameter sind gesetzt:

- Spannung (95,00% der Messungen)
- Spannung (100,00% der Messungen)

Die Balken an der rechten Seite zeigen prozentual die Erfüllung des entsprechenden Kriteriums an. Zum Beispiel: für 95% der Spannungsmessungen - wenn der Balken einen Wert von 97% anzeigt, bedeutet dies, dass 97% der Aufzeichnungen den Anforderungen entsprechen. Entsprechen nur 90% der Aufzeichnungen den Kriterien, wird der Balken rot, da das Kriterium nicht erfüllt wurde. Ist die Prozentzahl der Aufzeichnungen welche die Kriterien erfüllen kleiner als 80%, wird in dem Balken ein Text "**< 80%**" angezeigt. Dies bedeute, dass das Kriterium nach Norm nicht erfüllt wurde und die Perzentile kleiner als 80% ist.

Das getestete Netz erfüllt die Qualitätskriterien, wenn alle perzentilen Balken im Abschnitt MESSTATISTIKEN grün sind.

2.9.7.3 Bereich FREQUENZ

Der Abschnitt FREQUENZ enthält detaillierte statistische Informationen über die Netzfrequenz der getesteten Periode.

Der erste Teil der Tabelle, zeigt die prozentualen Werte der Aufzeichnungen (Perzentile), welche den Kriterien für beide definierten Toleranzbereiche entsprechen (**Values within tolerance / Werte in Toleranz**). Die Werte welche den Kriterien entsprechen sind in schwarz dargestellt. Wir das Kriterium nicht erfüllt, wird der Wert in rot mit einem Asterisk (*) angezeigt. Die Spalte **Tolerance (Toleranz)** gibt den Bereich der Frequenzen an, welche im Fall aller Aufzeichnungen betrachtet werden muss und auf Basis der Normbestimmungen kalkuliert wird.

Der zweite Teil dieses Abschnitts, enthält zusätzliche Informationen über die Aufteilung der Aufzeichnungen. Die individuellen Zeilen der Tabelle zeigen:

- **Maximum** (z.B. Perzentile von 100%) – Die maximal aufgezeichnete Frequenz
- **99,50% Wert** - Perzentile 99,5% (99,5% der Frequenzaufzeichnungen ist niedriger oder gleich einer angegebenen Spannung in Volt); Die Perzentile hängt von der angegebenen Norm ab und kann zu der hier aufgezeigten abweichen.
- **0,50% Wert** - Perzentile 0,5% (0,5% der Spannungsaufzeichnungen ist niedriger oder gleich einer angegebenen Frequenz); Diese Perzentile ist immer symmetrisch zu vorherigen Perzentile ausgewählt – um den Abstand zwischen zwei Perzentilen vom Minimum oder Maximum anzugleichen.
- **Minimum** (z.B. Perzentile von 0%) – die niedrigste Frequenz der gesamten Aufnahme.

2 Funktion des Analysators

Wie im ersten Teil, sollten die Werte dem festgelegten Frequenzbereich entsprechen um die Qualitätskriterien zu erfüllen; Ist dies bei einem Wert nicht der Fall, wird dieser in rot mit einem Asterisk angezeigt (*).

2.9.7.4 Bereich SPANNUNG

Der Abschnitt SPANNUNG enthält detaillierte statistische Informationen über die Kriterien zur RMS Spannung (Phasenspannung in Netzen mit Neutralleiter und Phase-Phase Spannung in 3-Phasen 3-Leiter Netzen).

Der erste Teil der Tabelle, zeigt die prozentualen Werte der Aufzeichnungen (Perzentile), welche den Kriterien für beide definierten Toleranzbereiche entsprechen (**Values within tolerance / Werte in Toleranz**). Die Werte welche den Kriterien entsprechen sind in schwarz dargestellt. Wird das Kriterium nicht erfüllt, wird der Wert in rot mit einem Asterisk (*) angezeigt. Die Spalte **Tolerance (Toleranz)** gibt den Spannungsbereich an, welcher im Falle eines definierten Prozentsatzes betrachtet werden muss.

Der zweite Teil dieses Abschnitts, enthält zusätzliche Informationen über die Aufteilung der Aufzeichnungen. Die individuellen Zeilen der Tabelle zeigen:

- **Maximum** (z.B. Perzentile von 100%) – maximaler Spannungswert unter allen Aufzeichnungen im entsprechenden Kanal
- **Wert 95,00%** - Perzentile 99,5% (95% der Spannungsaufzeichnungen haben Werte, niedriger oder gleich einer festgelegten Spannung in Volt)
- **Wert 5,00%** - Perzentile von 5% (5% der Spannungsaufzeichnungen haben Werte, niedriger oder gleich einer festgelegten Spannung)
- **Minimum** (z.B. Perzentile von 0%) – der niedrigste Spannungswert der gesamten Aufzeichnungen

Wie im ersten Teil, wird der Spannungsbereich festgelegt, welchem die Werte entsprechen sollten um die Qualitätskriterien zu erfüllen; Ist dies nicht der Fall, wird dies in rot mit einem Asterisk angezeigt (*).

2.9.7.5 Bereich PHASE-PHASE SPANNUNG

Der Abschnitt PHASE-PHASE SPANNUNG taucht nur im Bericht auf, wenn während der Erstellung des Berichtes die Option **INCLUDE U L-L (INKL. U L-L)** angewählt wurde und es sich bei dem zu testenden Netz um ein Einphasen-Dreileiternetz oder 3-Phasen 4-Leiter Netz handelt. Phase-Phase Spannung wird auch in die Statistiken mit einbezogen und beeinflusst auch das Gesamtergebnis der Netzanalyse. Der Wert der Phase-Phase Spannung wird folgendermaßen festgelegt:

- In 1-Phasen 3-Leiter Netzen: zweifache Phasenspannung (zweite Spannung (z.B. Phase-Phase) aus der Liste der verfügbaren Nennspannungen der Messkonfiguration oder exakt der doppelten Phasenspannung im Fall einer Verwendung von Spannungswandlern)
- 3-Phasen 4-Leiter Netzen: zweite Spannung (z.B. Phase-Phase) aus der Liste der verfügbaren Nennspannungen der Messkonfiguration oder die Phasenspannung multipliziert mit $\sqrt{3}$ im Fall einer Verwendung von Spannungswandlern)

Das prozentuale Kriterium der Phasen-Phasen Spannung ist gleich der Phasenspannung.

2.9.7.6 Bereich FLICKER

Dieser Abschnitt gibt Auskunft über die Flickerstärke P_{LT} . Der erste Abschnitt gibt den Prozentsatz der P_{LT} Aufzeichnungen innerhalb des Bereiches erforderlich nach Norm (z.B. 0...1).

Der Zweite gibt den perzentilen Wert von 95% an. Vergleicht man diesen Wert mit dem Grenzwert festgesetzt durch die Norm, so ist hier ein gewisser Bemessungsspielraum der P_{LT} Parameter des Netzes.

Wird ein Wert der P_{LT} markiert nachdem die Option Datenausschluss aktiviert wurde, so wird dieser nicht mit in den Statistiken berücksichtigt.

2.9.7.7 Bereich UNSYMMETRIE

Ist das zu testende Netzwerk ein 3-Phasen Netz, gibt der Bericht im Abschnitt UNSYMMETRIE Details des Unsymmetriefaktors der negativen Sequenz an:

- Der Prozentsatz der Aufzeichnung, welcher das Kriterium von 95% Perzentile (oder einer anderen Normspezifikation) erfüllt
- Der aktuelle Wert der 95% Perzentile des Unsymmetriefaktors

2.9.7.8 Bereich OBERSCHWINGUNGEN HÖHERER ORDNUNG

Der Bereich OBERSCHWINGUNGEN HÖHERER ORDNUNG enthält Statistiken und Messungen für individuelle Oberwellen, für welche die Norm Pegelgrenzwerte (gewöhnlich für Oberschwingungen von 2...25) und den Gesamtklirrfaktor THD-F festlegt. Liegt ein Wert nicht innerhalb der Grenzwerte, wird dieser in rot mit einem zusätzlichen Asterisk (*) angezeigt.

2.9.7.9 Bereich OBERSCHWINGUNGEN HÖHERER ORDNUNG – ZUSÄTZLICHE INFORMATION

Der Bereich OBERSCHWINGUNGEN HÖHERER ORDNUNG – ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN wird angezeigt, sobald die Auswahl im Bericht für 40 Oberschwingungen getätigt wurde. Es wird hier Auskunft über perzentile Werte für 95% für 26...40 Oberschwingungen gegeben, z.B. für solche, für die die Norm keine Grenzwerte festlegt.

2.9.7.10 Bereich ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN - EREIGNISSE

Im Bereich ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN – EREIGNISSE sind Informationen zu registrierten Spannungsereignissen, wie Spannungsspitzen, -einbrüche und -unterbrechungen zu finden. Für jeden dieser Arten gibt es die folgenden Informationen:

- Anzahl der Ereignisse unterteilt in die einzelnen Phasen
- Extremwert (Maximum für Spannungsspitzen und Minimum für Spannungseinbrüche und -unterbrechungen)
- Maximale Dauer des Ereignisses

2.9.7.11 Bereich ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN - STATISTIKEN MEHRPHASIGER EREIGNISSE

Dieser Abschnitt gibt statistische Auskünfte über mehrphasige Ereignisse gemäß den Richtlinien der EN 50160 (Spannungsspitzen, -einbrüche und -unterbrechungen). Die Ereignisse sind klassifiziert nach ihrer Dauer, Minimal- und Maximalwerte. Die Tabelle zeigt die Anzahl der Ereignisse entsprechend der Kriterien.

Tab. 5. Statistische Aufteilung von Spannungsspitzen gemäß EN 50160

Spannung Crest U [%U _{nom}]	Dauer, Zeit t [s]		
	0.01 ≤ t ≤ 0.5	0.5 < t ≤ 5	5 < t ≤ 60
U ≥ 120	S1	S2	S3
110 > U > 120	T1	T2	T3

Tab. 6. Statistische Aufteilung von Spannungseinbrüchen, gemäß EN 50160

Restspannung U [%U _{nom}]	Dauer, Zeit t [s]				
	0.01 ≤ t ≤ 0.2	0.2 < t ≤ 0.5	0.5 < t ≤ 1	1 < t ≤ 5	5 < t ≤ 60
90 > U ≥ 80	A1	A2	A3	A4	A5
80 > U ≥ 70	B1	B2	B3	B4	B5

2 Funktion des Analysators

$70 > U \geq 40$	C1	C2	C3	C4	C5
$40 > U \geq 5$	D1	D2	D3	D4	D5
$U < 5$	X1	X2	X3	X4	X5

Tab. 7. Statistische Aufteilung von Spannungunterbrechungen

Restspannung U [%U _{nom}]	Dauer, Zeit t	
	t ≤ 3min	t > 3min
U < 5	kurze Unterbrechungen	lange Unterbrechungen

2.9.7.12 Bereich ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN

Der Bereich ZUSÄTZLICHE INFORMATIONEN in den Normberichten für *Polish Regulation of the Minister of Economy*, bei gemessenen Strom- und 15-Minuten Leistungswerten. In diesen Fällen werden folgende zusätzliche Parameter mit aufgezeichnet:

- 15-Minuten Wirkleistung
- 15- Minuten Blindleistung
- 15- Minuten Scheinleistung
- Gesamt 15- Minuten tanφ Faktor

Dieser Abschnitt des Berichtes zeigt die Maximum-15-Minuten-Werte der vier aufgezeichneten Parameter.

2.9.8 Graph der Oberschwingungen

Wählt der Benutzer diese Option  in der Aufnahmeübersicht, wird ein Balkengraph aus den Mittelungswerten der Oberschwingungen erstellt. Die Oberschwingungen sind durch die RMS-Methode gemittelt. Die Struktur des Diagramms und die Verwendung der Elemente wird im Abschnitt 2.12.5 erklärt.

Achtung



Im Fall der Erstellung von graphischen Diagrammen aus einer großen Anzahl von Messdaten muss ein erhöhter Zeitaufwand berücksichtigt werden. Dies wird durch einen Statusbalken auf dem Bildschirm angezeigt. Die Generierung von Oberschwingungsgraphen aus gleichen Daten wird umgehend auf Grund der Datenpufferung durchgeführt.

2.9.9 Ereignisliste

Durch die Auswahl des Symbols in der unteren Menüleiste  in der Übersicht, wird ein weiteres Fenster mit einer Übersichtsliste aller Ereignisse angezeigt. Folgende Ereignisse können durch den Analysator erkannt werden:

In 50/60Hz Netzen:

- Spannungsspitzen
- Spannungseinbrüche

- Spannungsunterbrechungen
- Überschreitung des max. Stromschwellenwertes ($I > \max.$), einzelner Schwellenwerte für $I_{1,2,3}$ und I_N
- Abfall unter den minimalen Schwellenwert des Stromes ($I < \min.$), separieren Sie die Schwellenwerte für $I_{1,2,3}$ und I_N

In DC Netzen:

- Überschreiten des absoluten Maximums des DC Spannungsschwellenwertes ($|U_{DC}| > \max.$)
- Überschreiten des absoluten Maximums des DC Stromschwellenwertes ($|I_{DC}| > \max.$)

Wurde durch den Benutzer in der Messkonfiguration die Registrierung einer dieser o.g. Ereignisse ausgewählt und wurden diese auch aufgezeichnet, so enthält die Liste alle diese Ereignisse. Ein Beispiel der Ereignisansicht ist in Abb. 28 dargestellt.



Abb. 28. Analyse der Aufzeichnungen – Ereignisliste

Die Tabelle enthält folgende Spalten:

- **TYPE (ART)** des Ereignisses: Spannungsspitzen, -einbrüche und -unterbrechungen $I > \max.$, $I < \min.$, $U_{DC} > \max.$, $I_{DC} > \max.$
- **SOURCE (QUELLE)** des Ereignisses: Kanal, in dem das Ereignis aufgetreten ist
- **START**: Datum und Startzeit des Ereignisses
- **DURATION (DAUER)** des Ereignisses (ist ein Ereignis noch aktiv, während die Aufnahme bereits beendet wurde, so wird ein zusätzliches Symbol ">" angezeigt, was darauf hinweist, dass das Ereignis noch nicht beendet wurde.)
- **THRESHOLD (SCHWELLENWERT)**: Der Schwellenwert wurde in der Aufnahmekonfiguration festgelegt.
- **EXTREMUM (EXTREMWERTE)**: Parametergrenzwert (Maximum oder Minimum, abhängig von der Art des Ereignisses), dass während eines Events aufgezeichnet wurde. Beispiel: Im Fall einer Spannungsspitze, ist es die Restspannung, welche als niedrigste $U_{RMS1/2}$ Wert während der Spannungsspitze aufgezeichnet wurde.

2 Funktion des Analysators

- **WAG. (WELLENFORM)** (Wellenform): Werden Wellenformen und $RMS_{1/2}$ Werte aufgezeichnet, ist diese in der Konfiguration aktiviert. In dieser Spalte ist dann ein Sinuswellensymbol zu sehen, welches die Verfügbarkeit der Wellenform und $RMS_{1/2}$ Werte anzeigt. Diese Wellenformen werden zu Beginn und am Ende eines Ereignisses aufgezeichnet.

Die Tabelle kann durch die Auswahl der Überschrift einer Spalte sortiert werden. Neben der Spalte befindet sich ein kleiner Pfeil, welcher die Richtung der Sortierung angibt.

Funktionen der Menüleiste

Nach Auswahl eines Ereignisses aus der Tabelle (Anwählen der Reihe), können weitere Operationen durch die Auswahl folgender Optionen aus der Menüleiste durchgeführt werden:

 - öffnet ein weiteres Menü der Wellenformen:

 - Wellenform. Nach der Auswahl eines bestimmten Ereignisses aus der Tabelle und die Verfügbarkeit dieser Option wird angezeigt, kann die Wellenform der momentanen Spannungs- und Stromwerte für den Anfang und Ende des Ereignisses dargestellt werden. Für gewöhnlich (falls in der Konfiguration aktiviert) werden 6 Zyklen (120 ms bei 50 Hz) für den Anfang und 6 Zyklen für das Ende des Ereignisses gespeichert (2 Zyklen vor dem Auslösen und 4 danach). Im Falle von fehlenden Daten (z.B. wenn ein Ereignis am Ende der Aufzeichnung noch aktiv ist und wenn die Daten am Ende fehlen) werden nur die verfügbaren Daten angezeigt (Diagramm stellt nur den Ereignisstart dar). Ein Beispiel für die Darstellung der Wellenform einer Spannungsspitze ist in Abb. 29 dargestellt. Im rechten Teil werden die Daten zu dem Ereignis dargestellt: Startzeit, Endzeit, Dauer und die Werte der Cursors. Gleich wie bei den anderen Diagrammen, kann das Diagramm gezoomt und zwischen den angezeigten Kanälen gewechselt werden etc.

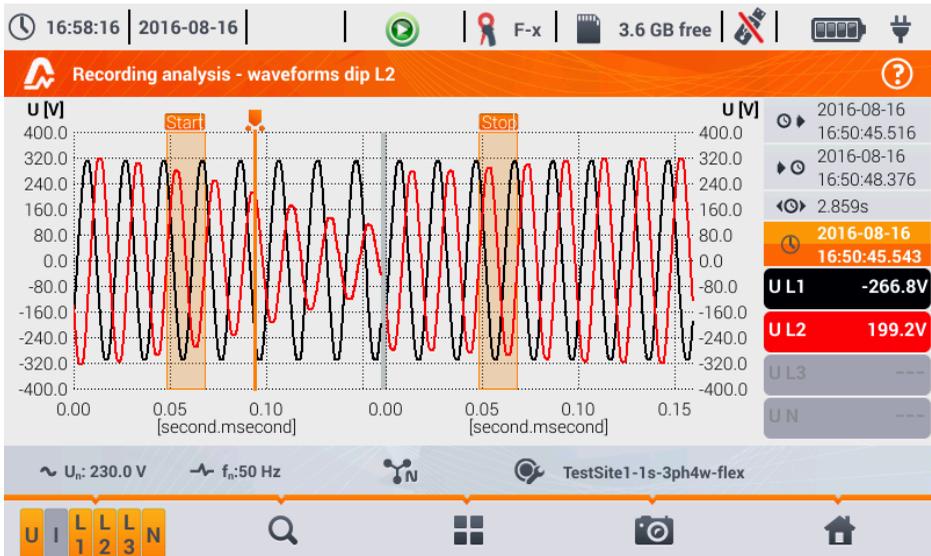


Abb. 29. Analyse der Aufzeichnungen – Wellenform von Spannungsspitze

 - $RMS_{1/2}$ Darstellung. Nach der Auswahl eines bestimmten Ereignisses aus der Tabelle und eine Verfügbarkeit dieser Option wird angezeigt, wird die Wellenform der $RMS_{1/2}$ angezeigt. Für gewöhnlich werden 15 Netzzyklen (300 ms bei 50 Hz) für Anfang und Ende des Ereignisses gespeichert (5 Zyklen vor dem Auslösen und 10 danach). Im Falle von

fehlenden Daten, (z.B. wenn ein Ereignis am Ende der Aufzeichnung noch aktiv ist und die Daten am Ende fehlen), werden nur die verfügbaren Daten angezeigt. Die Funktionen des Diagrammfensters sind gleich dem einer Wellenformdarstellung.



- ANSI Diagramm. Dieses zeigt, den Spannungsereignissen gemäß, den ANSI Kriterien an. Die Punkte zeigen das individuelle Ereignis an, ihre Positionen geben die Dauer an (horizontale Achse). Der Spitzenwert wird angezeigt (*Extremwert* in der Ereignistabelle) in Bezug zur Nennspannung auf der vertikalen Achse. Pfeilsymbole rechts des Graphen können verwendet werden, um individuelle Ereignisse auszuwählen. Durch Berühren des Displays im Graphenbereich können die Marker zur entsprechenden Position gebracht werden. Informationen über das bestimmte Ereignis (Art, Dauer, Extremwert) werden an der rechten Seite des Displays dargestellt. Ein ähnliches Diagramm ist in Abb. 30 dargestellt. Weitere Information über ANSI Diagramme finden Sie in Abschnitt 5.7.



Abb. 30. Analyse der Aufzeichnungen – ANSI Graph



- CBEMA Graph. Dieser zeigt den Graphen von Spannungsereignissen gemäß der CBEMA Kriterien. Die Beschreibung und Eigenschaften des Graphen sind gleich dem ANSI Diagramm (siehe oben). Ein Beispiel der Ansicht ist in Abb. 31 dargestellt. Weitere Information über CBEMA Diagramme sind finden Sie in Abschnitt 5.7.

2 Funktion des Analysators



Abb. 31. Analyse der Aufzeichnungen - CBEMA Graph

2.9.10 Energiekosten Rechner

Enthalten die aufgenommenen Parameter eine Wirkenergie E_P (siehe Aufnahmeparameter der Energie in Abschnitt **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** und **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**), besteht die Möglichkeit nach den Berechnungseinstellungen des Benutzers eine Energiekostenberechnung durchzuführen. Um in das Menü zur Kostenberechnung zu

gelangen, wählen Sie das Symbol  in der Gesamtaufnahmeübersicht (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**). Das Menü der Energiekosten wie in Abb. 1 wird mit folgenden Abschnitten angezeigt:

- **Recording time (Aufnahmezeit)** – Start, Ende und Dauer der Aufzeichnung. Die letzte Linie zeigt die Aufnahmedauer, welche durch einen bestimmten Algorithmus des Kostenrechners zur Analyse verwendet wird (volle zusammengerechnete Periode). Der Algorithmus ermöglicht eine Kalkulierung der Energiekosten für die gesamte Aufnahmezeit. Es gibt keine Möglichkeit ein anderes Zeitintervall auszuwählen.
- **Energy (Energie)** – Dieses Feld zeigt die gesamte Wirkenergie in Kilowattstunden, gemessen im entsprechenden Zeitintervall.
- **Single zone tariff (Einzelzonen-Tarif)** – In diesem Abschnitt werden die Gesamtkosten in der ausgewählten Währung der Einzelzonen Variante angezeigt. Dieser Tarif hat eine Einzelpauschale pro kWh, unabhängig von Tages-, Nachtzeit und Tag der Woche. Die Bezeichnung des Tarifes (kann durch den Benutzer geändert werden) und wird im oberen Bereich angezeigt.
- **Multi-zone tariff (Multizonen-Tarif)** – In diesem Abschnitt werden die Gesamtkosten in der ausgewählten Währung der Multizonen Variante angezeigt. Dieser Tarif ermöglicht zwei durchgängige Zeitintervalle in 24 Stunden, mit zwei unterschiedlichen Kostensätzen und einem dritten für andere Zeiten, des Tages festzulegen. Die Konfiguration der Kostensätze und Zonen wird in den Einstellungen des Energiekostenrechners durchgeführt.

Wurde die Einstellung des Energiekostenrechners nicht geändert, werden die Standardeinstellungen angewandt. Die Einstellungen können in der Menüleiste über das Einstellungssymbol geändert werden .

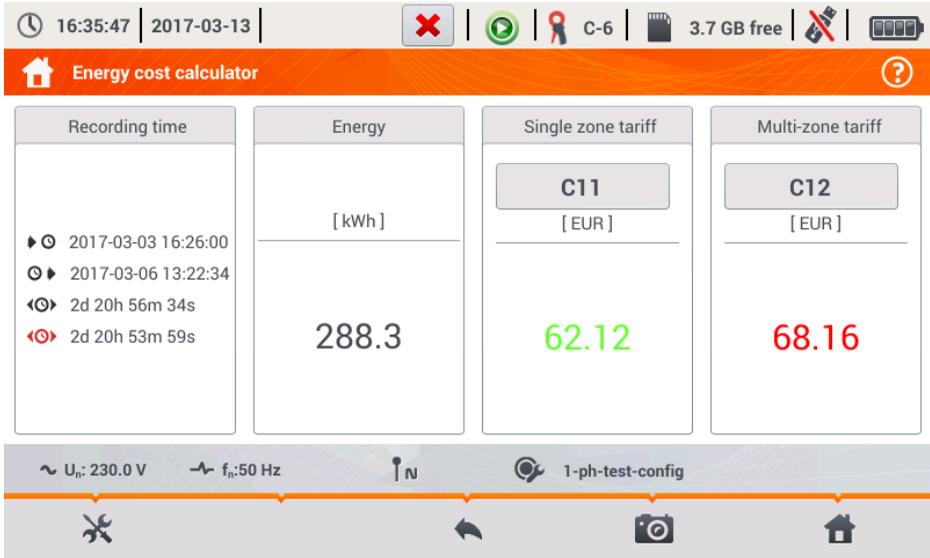


Abb. 1. Ansicht des Energiekostenrechners

Funktionen der Menüleiste

 - Einstellung des Energiekostenrechners

2.9.10.1 Einstellungen des Energiekostenrechners

Die Einstellungen des Energiekostenrechners können leicht an die individuellen Anforderungen angepasst werden. Es besteht die Möglichkeit eine Berechnung in zwei Tarifen durchzuführen:

- Einzelzonen Tarif – die einfachste Tariform – ein Kostensatz wird durchgehend für das analysierte Intervall pro Kilowattstunde verrechnet, unabhängig von Tages-, Nachtzeit und Tag der Woche.
- Multizonen Tarif – eine umfangreichere Tariform, welche es ermöglicht, drei verschiedene Kostensätze in verschiedenen Zeitintervallen anzuwenden:
 - Intervall (z.B. Tageszeit)
 - Zone B Verrechnungssatz – Eingabe der Kosten von 1 kWh für das zweite Zeitintervall (z.B. Nachtzeit)
 - Zone C Verrechnungssatz (nicht enthaltene in Zonen A und B)

Die Einstellungen sind in zwei Ansichten geteilt, dargestellt in Abb. 2 und Abb. 3.

In der ersten Ansicht können folgende Einstellungen vorgenommen werden:

- Währung – Es kann entweder aus einer Liste mehrerer vordefinierter Währungen ausgewählt (PLN, EUR, USD, RUB, INR) oder eine eigene definiert werden (bis zu vier Zeichen),

2 Funktion des Analysators

welche dann auch in der Liste als letzte Position entsprechend mit einem (*) angezeigt werden.

- Einzelzonen-Tarif:
 - Bezeichnung des Tarifs (C11 ist Standard) – wird die Bezeichnung ausgewählt, öffnet sich ein Feld zum Bearbeiten.
 - Berechnungssatz – die Kosten für 1 kWh im einzelzonen-Tarif – wir das Feld des Betrages ausgewählt, öffnet sich ein neues Fenster zum Bearbeiten. Eine Genauigkeit bis zu vier Dezimalstellen kann hierzu eingetragen werden.

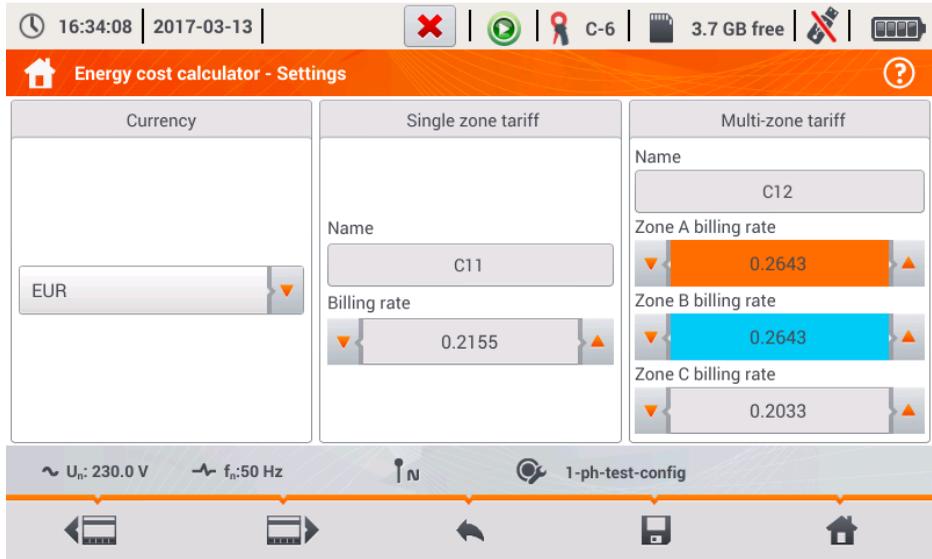


Abb. 2. Energiekostenrechner – Einstellungen

- Multizonen-Tarif:
 - Bezeichnung des Tarifs (C12 ist Standard)
 - Zone A Berechnungsrate für 1 kWh
 - Zone B Berechnungsrate für 1 kWh
 - Zone C Berechnungsrate für 1 kWh (für andere Tageszeiten)

Die Tagesintervalle bezogen auf die Zonen A, B und C können in der zweiten Ansicht eingestellt werden (Abb. 3). Die Farben der Zeitintervalle entsprechen den Farben der Berechnungssätze aus der ersten Ansicht. Vereinfacht ausgedrückt, gleiche Zoneneinstellungen gelten für alle Wochentage (gilt für die Reihe, markiert mit Symbol **1**³). Müssen andere Zeitintervalle für entsprechend ausgewählte Tage konfiguriert werden (z.B. für Samstag und Sonntag), dann wählen Sie die Auswahlbox unten links im Menüfenster. Die zweite Reihe von Zeitintervallen wird angezeigt. Markiert ist diese Reihe mit dann dem Symbol **2**³. Wählen Sie die gewünschten Wochentage nun für diese Reihe über die Auswahlboxen aus. Beide Leisten angezeigt in dieser Ansicht entsprechen einem vollen Tag [24 Stunden], unterteilt in 15-Minuten Blöcke.

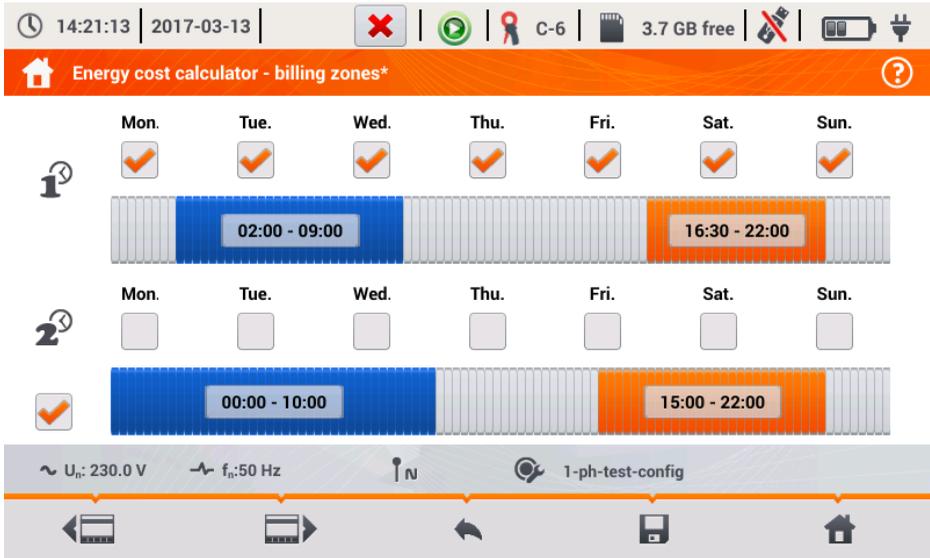


Abb. 3. Energiekostenrechner – Berechnungszonen

Zeitintervalle für Zonen A und B werden wie folgt bearbeitet:

- Berühren Sie das Zeitintervall und bewegen es nach rechts oder links.
- Durch Berühren des rechten oder linken Endes ändern Sie den Anfang und das Ende der Tarifzone.

Start und Endzeit wird in der Mitte des Intervalls angezeigt. Die Auflösung des Intervalls ist 15 Minuten. Die Minimale Dauer eines Intervalls beträgt 2 Stunden.

Um die Änderungen zu speichern, wählen Sie  aus der Menüleiste und bestätigen Sie die anschließende Meldung. Die Einstellungen gelten für den gesamten Analysator (nicht bezogen auf eine bestimmte Aufzeichnung).

Funktionen der Menüleiste



- Wechseln zwischen den zwei Einstellungsmenüs des Kostenrechners



- Speichern der Einstellungen im Gerätespeicher



- Zurück zu den Ergebnissen des Kostenrechners. Sind die Einstellungen verändert worden, kalkuliert und zeigt der Kostenrechner automatisch die Energiekosten an.

2.10 Einschaltstrom

Der Modus, zur Messung des Einschaltstromes, kann über die Option **INRUSH CURRENT (EINSCHALTSTROM)** in der Hauptansicht aktiviert werden. Der Einschaltstrom kann hier von verschiedenen Maschinen, Werkzeugen oder Einrichtungen mit großem Anstieg der Stromaufnahme gemessen werden. Während des Anlaufens von z.B. Maschinen, tritt normalerweise eine kurzfristige und wesentlich höhere Stromaufnahme auf als im Normalbetrieb auf. Ursachen hierfür sind z.B. Kondensatoren die sich aufladen oder durch Magnetisierungsvorgänge von Eisenkernen (Motoren, Transformatoren). Sind die Werte dieser Einschaltströme bekannt, so kann der Benutzer bereits vorab die richtige Wahl der Überstromschutzvorrichtungen für die Versorgung dieser Einrichtungen

2 Funktion des Analysators

treffen. Dies ist einerseits wichtig um die Netzte und den Benutzer im Fehlerfall zu schützen, sowie ein versehentliches Auslösen der Sicherungen während des Starten der Maschinen zu verhindern.

Mit dem PQM-707 ist eine schnelle und einfache Messung des Einschaltstromes möglich. Folgende Informationen werden hier durch den Analysator bereitgestellt:

- Zeitdiagramme von momentan auftretenden Strömen (Wellenformen)
- Zeitdiagramme von halb-periodischen RMS Wellenformen - $RMS_{1/2}$
- Maximalwert der aufgezeichneten halb-periodischen RMS Werte, Joule Integral Werte i^2t

Joule Integral ist eine Messung der Hitze, erzeugt während des Anlaufs von z.B. Maschinen. Um i^2t zu bestimmen – wird ein Zeitintervall ab dem Moment des Überschreitens des Schwellenwertes von $RMS_{1/2}$, bis zur Absenkung des $RMS_{1/2}$ Stromwertes unter den Schwellenwert, abzüglich der Hysterese (standardmäßig ist die Hysterese gleich 2% des Strom-Nominalwertes - I_{nom}) verwendet. Ist der Wert des Joule Integrals bekannt, ist dies sehr hilfreich bei der Wahl der Überstromschutzeinrichtungen. Hersteller von Schutzeinrichtungen geben diesen Charakteristikwert auch in den Spezifikationen ihrer Produkte mit an. Er gibt an, wann z.B. eine Sicherung auslöst und den Stromfluss damit unterbricht. Der Wert des Joule Integrals dieser Schutzeinrichtungen muss höher sein, als der, der gemessenen Einschaltenergie (Integral).

Die Aufnahmezeit der Wellenform kann zwischen 5 und 30 Sekunden eingestellt werden. Die Aufnahme startet automatisch, sobald der eingestellte Stromschwellenwert überschritten wird und endet nach der eingestellten Zeit. Außerdem, werden Wellenformen vor dem Aufnahmestart 1 Sekunde vorher aufgezeichnet, um dem Benutzer Informationen über das Stromverhalten vor der Aufnahme bereit zu stellen.

Es werden nur Strom-Wellenformen aufgezeichnet. Spannung wird nicht aufgezeichnet, daher ist es auch nicht nötig die Spannungseingänge mit dem Analysator zu verbinden.

Der Messalgorithmus des PQM-707 gewährleistet auch eine korrekte Messung von halb-periodischen RMS Werten in Umgebungen mit variable Netzfrequenz. Dies ist hilfreich bei Geräten, welche durch Inverter versorgt werden (Frequenzumrichter). Der zulässige Bereich der Frequenzänderung liegt bei 30 ... 100 Hz. Der Algorithmus basiert auf der digitalen Filterung der I1 Stromwellenform, welcher alle Komponenten höher als diese entfernt. Dies ermöglicht eine präzise Bestimmung von Punkten, wenn die Stromwellenform den Nullpunkt durchschreiten. Somit kann eine exakte Bestimmung der betroffenen Werte während Frequenzänderungen durchgeführt werden.

2.10.1 Konfiguration der Einschaltstrommessung

Wählen Sie die Option **INRUSH CURRENT (EINSCHALTSTROM)** in der Ansicht, dargestellt in **Biąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..**

Vor der Messung des Einschaltstromes muss der Benutzer die folgenden Messparameter festlegen:

- **MAINS SYSTEM (NETZFORM)** – Auswahl des Versorgungsnetzes, Angabe der Stromkanäle zum Anschluss der Zangen: 3-Phasen 4-Leiter, 3-Phasen 3-Leiter, 3-Phasen 3-Leiter mit Strommessung durch die Arons Methode, 2-Phasen, 1-Phase.
- **FREQUENCY (FREQUENZ)** – Nennfrequenz der Spannungsversorgung (diese Frequenz wird verwendet bei fehlendem Stromsignal; der Standardalgorithmus ist unempfindlich gegenüber der gemessene Frequenzwellenform)
- **CLAMPS TYPE (ZAGENTYP)** – Zeigt die verwendeten Zangen an
- **RECORDING TIME (AUFNAHMEZEIT)** – Dauer der Aufnahme nach dem Auslösen. Folgende Auswahlen sind möglich: 5s, 10s, 15s, 20s, 25s, 30s.



Abb. 4. Ansicht zur Konfiguration des Einschaltstromes

- **NOMINAL CURRENT [A] (NENNSTROM)** – Eingabe des Nennstromes I_{nom} (einer Phase) des Prüflings
- **TRIGGER THRESHOLD [A] (AUSLÖSESCHWELLENWERT)** – Für dieses Feld ist standardmäßig automatisch 150% des Nennstromes aus dem Feld **NOMINAL CURRENT [A] (NENNSTROMES)** eingestellt (wird nur in der ersten Ausgabe der Software aktualisiert, nicht mehr in den nachfolgenden Versionen). Hier kann der Benutzer andere Werte falls notwendig einstellen. Wird dieser Wert überschritten, wurde der Countdown der Aufnahme ausgelöst. Dieser Wert wird ebenfalls verwendet, um den thermischen Integral i^2t zu bestimmen. Er wird für das Zeitintervall berechnet, sobald der gemessene Strom über den Auslöseschwellenwert angestiegen ist. Der Schwellenwert wird im Graphen als Strich und in den Feldern mit den entsprechenden Werten rechts angegeben.

Die Titelleiste zeigt die Bezeichnung der bearbeiteten Konfiguration auf Basis des aktuellen Datums und Zeit, z.B. "2017-01-01 12_10_00_inrush (Einschalt)" an. Diese Bezeichnung kann geändert werden, wenn die Konfiguration gespeichert wird.

Funktionen der Menüleiste

✓ - Starten der Messung des Einschaltstromes mit entsprechender Konfiguration (ohne speichern)

📁 - Speichern der Konfiguration, mit der Möglichkeit die Messung sofort nach dem Speichern zu starten (Feld [Go to the measurement \(Weiter zur Messung\)](#) im pop-up Fenster)

📁 - Aufrufen der gesamten gespeicherten Konfigurationen für Einschaltströme und Erstellen einer neuen. Konfigurationen für Einschaltströme werden in gleicher Weise wie die Messkonfigurationen dargestellt (siehe **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**), mit eigenem Symbol 📁. Doppelklick auf die ausgewählte Konfiguration öffnet diese und die Konfigurationsansicht für den

2 Funktion des Analysators

Einschaltstrom automatisch (**Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**). Die Taste **+** in der Menüleiste dient dem Hinzufügen von neuen Konfigurationen für Einschaltströme (ein Fenster wie in **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.** wird mit den Standardeinstellungen angezeigt).

Mit dem Symbol  kann die ausgewählte Konfiguration bearbeitet werden.

2.10.2 Einschaltstrommessung und Analyse

Wählen Sie in der Ansicht der Einstellungen für Einschaltströme das Symbol  aus der Menüleiste um die Ansicht wie in Abb. 5. anzuzeigen. Betätigen Sie **START**  um die Messung zu starten.

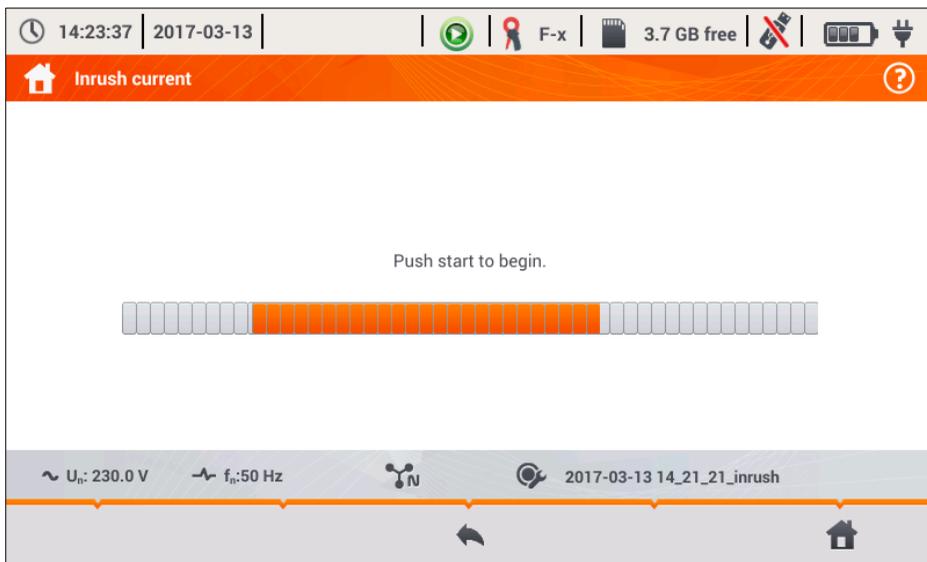


Abb. 5. Einschaltstrom – Anzeige vor dem Start der Messung

Der Analysator wechselt in den Modus zur Überwachung der Ströme und löst im Falle einer Überschreitung des gesetzten Stromschwellenwertes die Messung aus. Das Symbol für den Aufnahmezustand wechselt in .

Ab diesem Moment sollten Sie den Prüfling einschalten. Der Benutzer kann jedoch auch die Zeit bis zum Auslösen der Messung durch die Taste **START**  überbrücken. Die Überschreitung des Schwellenwertes und ein korrektes Auslösen der Messung wird durch ein akustisches Signal signalisiert (dreifach Ton) und der Countdown der Aufnahme startet.

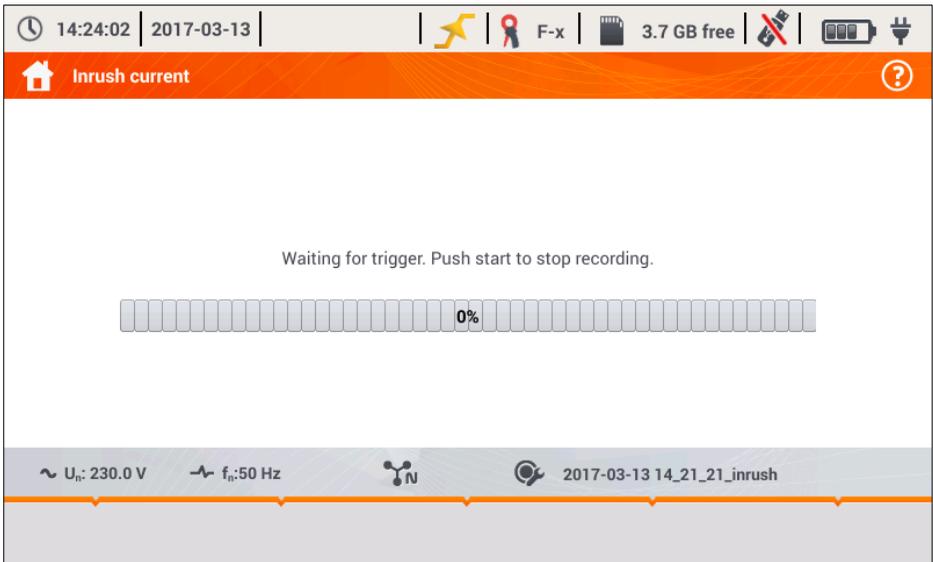


Abb. 6. Einschaltstrom – Anzeige vor dem Auslösen der Messung

Nach Ablauf der Zeit, endet die Aufzeichnung und der Analysator beginnt automatisch mit der Analyse der gemessenen Einschaltstromparameter. Angezeigt wird das Zeitdiagramm mit den Stromwellenformen für das gesamte Aufnahmeintervall.

Im Beispiel ist in Abb. 7 ein 3-Phasen Motor während des Anlaufens dargestellt.

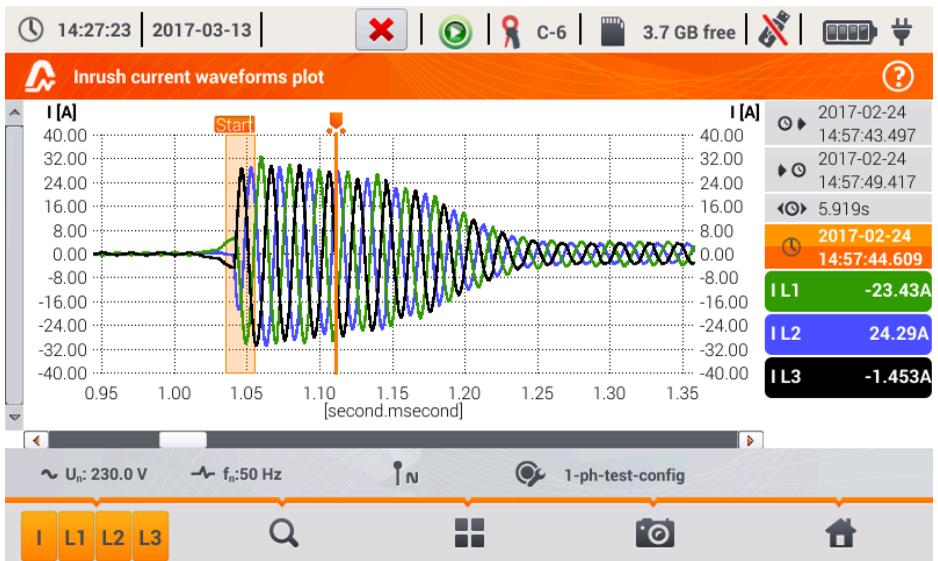


Abb. 7. Einschaltstromanalyse – Wellenformen

2 Funktion des Analysators

Das Fenster der dargestellten Wellenformen ist von der Ansicht gleich den anderen Zeitdiagrammen. Rechts ist Startzeit, Ende und Dauer, die Markerparameter und die Symbole der aktiven Stromkanäle eines Intervalls dargestellt. Diese geben den Stromwert an den Markerpositionen an. Der Benutzer kann hier die Stromkanäle beliebig aktivieren oder deaktivieren.

Funktionen der Menüleiste

 - Wechseln zwischen den Ansichten. Eine zusätzliche Menüleiste mit weiteren Optionen wird angezeigt (Verfügbarkeit abhängig von der aktuellen Ansicht):

 - Einschalt-RMS-Diagramm (Abb. 8; Option verfügbar in der Ansicht Wellenform u. Tabelle). Die Auswahl dieser Option zeigt einen Plot der $RMS_{1/2}$ Werte von den gemessenen Strömen.

 - Einschalt-Wellenformen-Diagramm (Abb. 7; Option verfügbar in der Ansicht für $RMS_{1/2}$ und Tabelle).

 - Tabellarische Ansicht der Einschaltstromcharakteristik Werte (Abb. 9). Die Tabelle zeigt die maximum $RMS_{1/2}$ und Joule Integral Werte, der gemessenen Stromkanäle.

Dateien der aufgezeichneten Einschaltstrommessungen werden automatisch auf der Speicherkarte gesichert. Diese stehen dann in der Hauptansicht, über **RECORDING ANALYSIS (AUFNAHME ANALYSE)** der Reanalyse zur Verfügung. Aufgezeichnete Sitzungen sind durch das Symbol  gekennzeichnet. Die Bezeichnung dieser ist identisch zur entsprechenden Konfiguration.

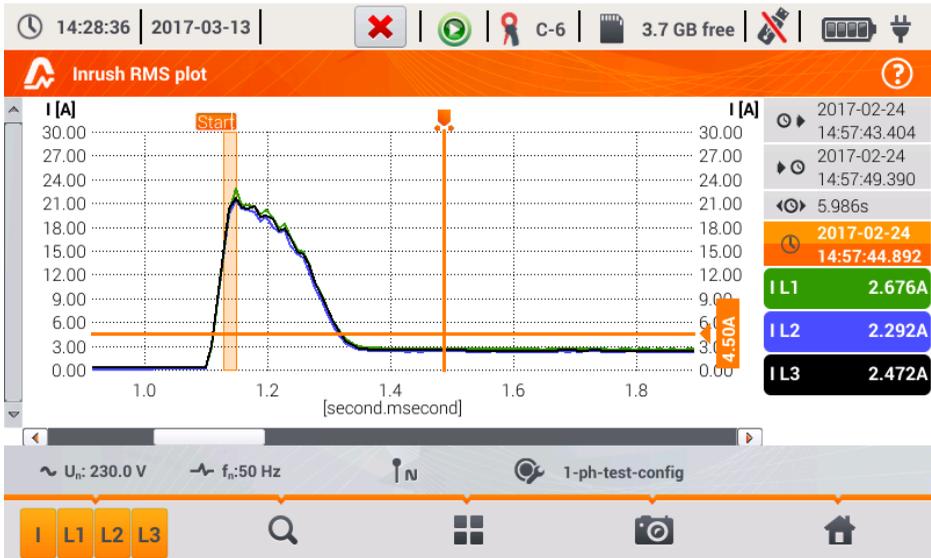


Abb. 8. Einschaltstrom Analyse – RMS Plot



Abb. 9. Einschaltstrom – Charakteristikparameter

2.11 Über PQM-707 Analysator

Nach Auswahl dieses Bereiches wird ein Fenster mit grundlegenden Informationen über Softwareversion und Hersteller des Gerätes geöffnet. Das Anwählen des Symbols ⓘ in der Menüleiste zeigt detaillierte Informationen über die Version des Analysators an. In der Ansicht der detaillierten Informationen wird nach dem Anschluss eines USB-Speichermediums und nach dem Anwählen

des Symbols ⓘ im unteren Menü eine System-Logdatei des Gerätes gespeichert. Diese Funktion dient zur Diagnose des Analysators. Diese Datei kann dann zum Beispiel im Falle eines Gerätefehlers zum Herstellerservice gesendet werden.

2.12 Netzqualitätsdiagnose im LIVE Modus

Mit dem Analysator ist es möglich, sich die Netzparameter in einer Vorschau in Echtzeit anzeigen zu lassen (LIVE Modus). Verfügbar zur Ansicht sind Spannungs- und Stromwellenformen, Zeitdiagramme von RMS Strom- und Spannungswerten, tabellarische Ansicht der Parameter, Phasor Diagramm und Oberschwingungen. Wenn als Standardstartbildschirm des Analysators das Hauptmenü eingestellt ist (Abb. 2), werden in der unteren Menüleiste die Symbole für individuelle Ansichten im LIVE Modus angezeigt:

 - Strom- und Spannungswellenformen

 - Zeitdiagramm

 - Tabellenübersicht der Messungen

 - Phasordiagramm

 - Oberschwingungen

2 Funktion des Analysators

2.12.1 Wellenformen von Strom und Spannung

Die Darstellungen von Wellenformen für die Momentanwerte von Strom und Spannung kann durch das Symbol  in der unteren Menüleiste ausgewählt werden. Es werden zwei Zyklen der Wellen (abhängig von der Messkonfiguration) angezeigt. Ein Beispiel der Ansicht wird in (Abb. 32) dargestellt. Mit den Feldern an der rechten Seite können die einzelnen Messkanäle an/aus geschaltet werden (eine Wellenform muss immer dargestellt werden). Die Felder beinhalten die Bezeichnung des Messkanales, z.B. "U L1" und den entsprechenden RMS-Wert. Wellenformen können horizontal und vertikal durch "Doppelklick" und "Scrollen" gezoomt werden. Die Wellenform kehrt zur Standardgröße zurück, sobald ein Kanal durch die Felder rechts an/aus geschaltet wurde.

Achtung: In DC Netzen (DC und DC+M) ist diese Ansicht nicht verfügbar.

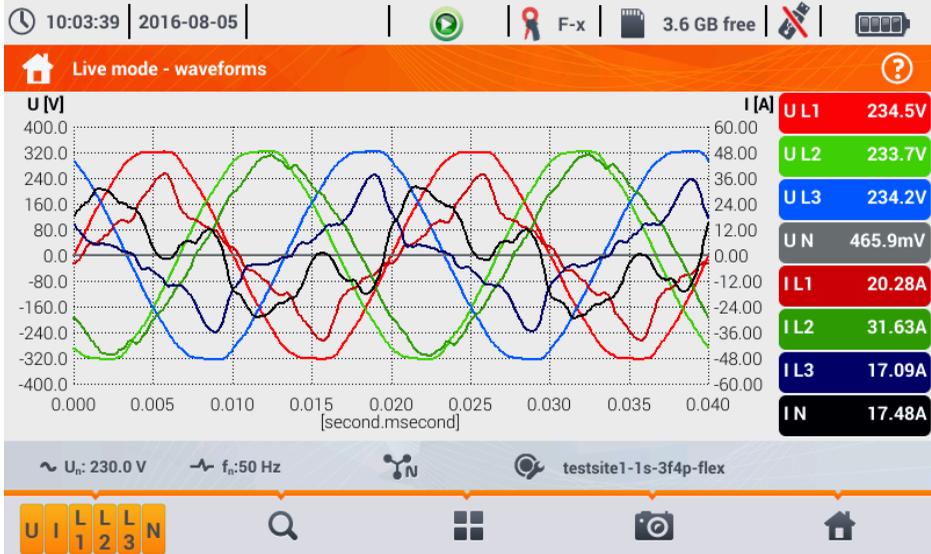


Abb. 32. Strommessdaten - Wellenformen

Funktionen der Menüleiste

 - Symbole der aktiven Messkanäle. Nach Auswahl eines dieser Symbole, öffnet sich eine weitere Menüleiste, um die Darstellung der Strom- oder Spannungskanäle zu aktivieren oder deaktivieren. Ein aktiver Kanal wird durch orange Farbhinterlegung angezeigt. Beachten Sie, dass mindestens eine Wellenform dargestellt werden muss (es können nicht alle Kanäle abgeschaltet werden). Im Menü werden nur die Auswahlen der Kanäle angezeigt, welche auch im Netz existieren.

 - Zoom-in Symbol. Nach Auswahl öffnet sich eine weitere Menüleiste, mit Symbolen zum horizontalen und vertikalen zoomen des Graphen. Wird das Zoomsymbol für 2 Sekunden gedrückt gehalten, wird der Graph maximal gezoomt.

 - vergrößern horizontal

 - verkleinern horizontal



- vergrößern vertikal



- verkleinern vertikal



- Symbol zur Auswahl der verschiedenen Ansichten. In diesem Menü kann die Art der Darstellung des LIVE Modus ausgewählt werden.



- Screenshot Symbol. Wird dieses Symbol angewählt, so wird die aktuelle Darstellung des Hauptfensters in einer Grafikdatei abgespeichert. Der Dateiname wird automatisch aus aktueller Ansicht im Menü und dem Datum generiert, z.B. "Live Modus - Wellenform – 2016-08-01 12_00_00". Die Dateien werden auf der microSD-Karte hinterlegt.

2.12.2 Zeitdiagramm von RMS Werten

Die Ansicht des Zeitdiagramms (Abb. 33) wird durch das Symbol  aus dem Hauptmenü aktiviert. In dieser Ansicht wird ein Graph der RMS Werte von Spannungen und Strömen abhängig von der Zeit dargestellt. In DC und DC+M Netzen werden im Diagramm die DC Werte von Spannungen und Strömen dargestellt. Im ganzen Fenster kann eine Zeitspanne von ca. 110 Sekunden dargestellt werden. Nach Ablauf des Fensters springt das Diagramm um 30 Sekunden nach links.

Funktionen der Menüleiste

Sind gleich der Wellenformansicht.



Abb. 33. Live Modus – Zeitdiagramm

2 Funktion des Analysators

2.12.3 Live Modus – Tabellenansicht

Um die Werte der Netzparameter in tabellarischer Ansicht darzustellen, wählen Sie das Symbol  im Hauptmenü. Nach der Auswahl wird eine zusammengefasste Tabelle mit Werten des getesteten Netzes, aktualisiert in Echtzeit angezeigt. Ein Beispiel dieser Ansicht ist in Abb. 34 dargestellt.



	E_q [varh]	E_s [kVAh]	PF []	$\cos\varphi$ []	$\tan\varphi$ []	THD _U [%]	THD _I [%]	C
L1	0.000	0.670	0.931	0.952	0.323	1.883	13.20	1
L2	0.000	0.866	0.993	0.998	0.068	1.902	6.181	1
L3	-3.124	0.485	0.963	0.986	0.169	1.804	19.29	1
N	0.000	2.264	0.934	0.978	0.178	92.38	82.55	2
L1-2	---	---	---	---	---	---	---	.
L2-3	---	---	---	---	---	---	---	.
L3-1	---	---	---	---	---	---	---	.
Σ	0.000	2.264	0.934	0.978	0.178	---	---	.

Abb. 34. Live Modus – Tabelle der Messergebnisse in tabellarischer Ansicht

Für diese Tabelle gilt folgende Erklärung:

L1 – Phasenwerte L1

L2 – Phasenwerte L2

L3 – Phasenwerte L3

N – Spannungswerte des Kanal U_{NPE} und Stromkanal I_N

L1-2 – Phasen-Phasen-Werte L1-2

L2-3 – Phasen-Phasen-Werte L2-3

L3-1 – Phasen-Phasen-Werte L3-1

Σ – Gesamtwert

Die nächste Spalte zeigt die Werte der einzelnen Parameter:

U [V] – RMS Spannung

U_{h01} [V] – RMS Grundkomponente der Spannung

U_{DC} [V] – DC Spannung

f [Hz] – Netzfrequenz

I [A] – RMS Strom

I_{h01} [A] – RMS der Grundkomponente des Stromes

I_{DC} [A] – DC Strom

P [W] – Wirkleistung

Q_1 oder Q_B [var] – Blindleistung der Grundkomponente oder Blindleistung nach Budeanu (abhängig von der Berechnungsmethode für die Blindleistung)
 S [VA] – Scheinleistung
 SN [VA] oder D [var] – Scheinverzerrungsleistung oder Budeanu Verzerrungsleistung (abhängig von der Berechnungsmethode für die Blindleistung)
 $EP+$ [Wh] – Wirkenergie aufgenommen
 $EP-$ [Wh] – Wirkenergie abgegeben
 $EQ1+$ oder $EQB+$ [varh] – Blindenergie aufgenommen
 $EQ1-$ oder $EQB-$ [varh] – Blindenergie abgegeben
 ES [VAh] – Scheinleistung
 PF – Leistungsfaktor
 $\cos\varphi$ – Verschiebungsleistungsfaktor
 $\tan\varphi$ – Tangent φ Faktor
 $THDU$ [%] – Gesamtklirrfaktor der Spannung (bezogen auf die Grundkomponente)
 $THDI$ [%] – Gesamtklirrfaktor des Stromes (bezogen auf die Grundkomponente)
 CFU – Crest Faktor der Spannung
 CFI – Crest Faktor des Stromes
 Pst – Kurzzeitflickerstärke
 PLT – Langzeitflickerstärke
 U_0 [V] – Nullsequenz der symmetrischen Spannungskomponente
 U_1 [V] – Positive Sequenz der symmetrischen Spannungskomponente
 U_2 [V] – Negative Sequenz der symmetrischen Spannungskomponente
 U_2/U_1 [%] – Negative Sequenz des Unsymmetriefaktors der Spannung
 U_0/U_1 [%] – Nullsequenz des Unsymmetriefaktors der Spannung
 I_0 [A] – Nullsequenz der symmetrischen Stromkomponente
 I_1 [A] – Positive Sequenz symmetrischen Stromkomponente
 I_2 [A] – Negative Sequenz symmetrischen Stromkomponente
 I_2/I_1 [%] – Negative Sequenz des Unsymmetriefaktors des Stromes
 I_0/I_1 [%] – Nullsequenz des Unsymmetriefaktors des Stromes

Funktionen der Menüleiste



- Weiter zur nächsten Ansicht mit Parametern



- Symbol zur Auswahl der verschiedenen Ansichten (LIVE Modus)



- Screenshot

2.12.4 Phasor Diagramm

Die Ansicht des Phasor Diagramms wird durch das Symbol  im Hauptmenü geöffnet. Phasor Graph (z.B. in Abb. 35) zeigt die Grundansicht der Vektorkomponenten für Spannung und Strom. Dies kann verwendet werden, um eine schnelle Überprüfung des korrekten Anschlusses des Analysators an das Netz durchzuführen. Zusätzlich zum Diagramm enthalten die Tabellen Informationen, Werte der Grundkomponente und deren Winkel, sowie zwei Unsymmetriefaktoren der negativen Komponente (Faktoren werden nur für 3-Phasen-Netze angezeigt). Die Art der Last wird entweder durch eine Spule (induktiver Last) wenn der Winkel zwischen der Grundspannungs- und Grundstromkomponente ($\varphi_{U_{h1}, I_{h1}}$) größer als null ist (Spannung vor Strom) oder durch ein Kondensatorsymbol (kapazitiver Last) wenn hier der Winkel negative ist (Strom vor Spannung) angezeigt.

Achtung: In DC Netzen (DC und DC+M) ist diese Ansicht nicht verfügbar.

2 Funktion des Analysators



Abb. 35. Live Modus – Phasordiagramm

Funktionen der Menüleiste

- Symbol zur Auswahl der verschiedenen Ansichten (LIVE Modus)
- Screenshot

2.12.5 Oberschwingungen Graph/Tabelle

Die letzte Ansicht des Live-Modus zeigt die Oberschwingungen an. Sie gelangen in diese Ansicht über das Symbol im Hauptmenü. In dieser Ansicht bekommen Sie Informationen über Oberwellen von Spannungen, Strömen, Winkel zwischen Spannungs- und Stromobererschwingungen, cosφ Faktoren dieser Ströme und THD Faktoren. Die Oberschwingungen werden graphisch als Balken oder in einer Tabelle dargestellt. Standardmäßig wird ein Balkendiagramm dargestellt. Ein Beispiel hierzu finden Sie in Abb. 36.

Achtung: In DC Netzen (DC und DC+M) ist diese Ansicht nicht verfügbar.

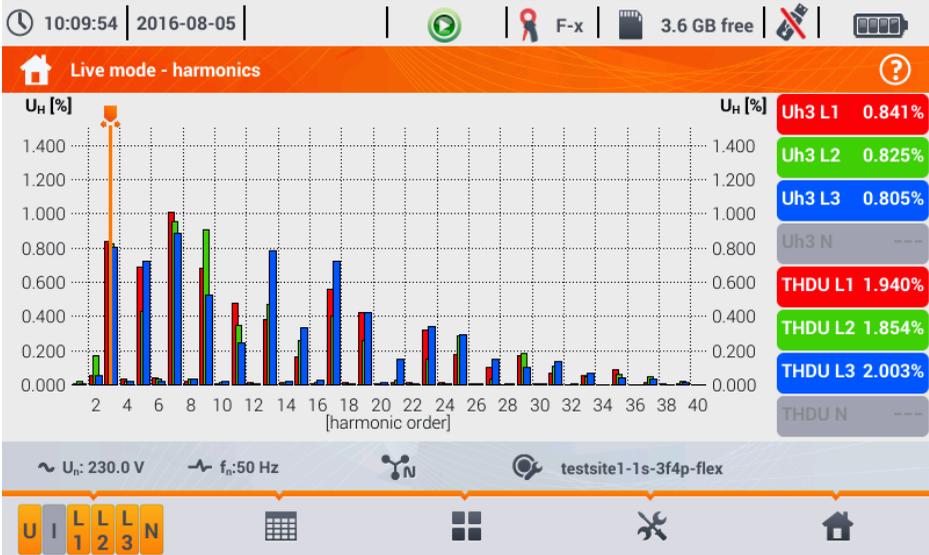


Abb. 36. Live Modus - Oberschwingungen - Balkendiagramm

Funktionen der Menüleiste

- Symbole der aktiven Messkanäle. Nach Auswahl eines dieser, öffnet sich eine weitere Menüleiste, um die Daten zu aktivieren oder deaktivieren und zwischen Oberschwingungen von Strom und Spannung zu wechseln. Das Symbol (verfügbar nur in der tabellarischen Ansicht) ermöglicht die Vorschau der Winkel zwischen den Oberschwingungen von Strom und Spannung, zusammen mit dem berechneten Werten der $\cos\phi$ Winkel. Ein aktiver Kanal wird mit oranger Farbhinterlegung gekennzeichnet.

- Wechselt zu Tabellenansicht der Oberschwingungen (Abb. 37). Es werden in jeder Reihe die Werte der Oberschwingungen angezeigt (von der DC Komponente bis zu 40. Ordnung) oder dem Winkel zwischen Spannung und Strom. Im Falle von Oberschwingungen werden die Werte in absoluten Einheiten (V/A) oder als Prozentwert bezogen zur Grundoberschwingung (siehe unten) angezeigt. Die Winkel werden in Grad angegeben.

In der tabellarischen Ansicht zeigen die Felder an der rechten Seite die RMS Werte der Spannungen und Ströme an.

- Wechselt in die Balkenansicht. Das Diagramm enthält einen Marker, welcher die Ordnung der Oberschwingung(en) angibt. Der Wert der angezeigten Oberschwingung(en), wird in den Felder (Tasten) im rechten Bereich der Ansicht angezeigt. Zusätzlich wird noch der THD Faktor in diesem Bereich angezeigt.

- Symbol zur Auswahl der verschiedenen Ansichten (LIVE Modus)

- Options Menü für ein Diagramm oder Tabelle. Folgende neue Optionen können über das neu erschienene Menü gewählt werden:

- Ausblenden der Grund-Oberschwingung

2 Funktion des Analysators

[V,A] - Zeigt Werte in absoluten Einheiten an. (Volt und Ampere)

[%] - Zeigt Werte in Prozent bezogen auf die Grundkomponente

 - Screenshot



Abb. 37. Live Modus - Oberschwingungen – Tabelle

2.13 Arbeiten mit PC

2.13.1 "Sonel Analysis" Software

Sonel Analysis ist eine Anwendung, welche üblicherweise zum Arbeiten mit Netzanalysatoren der PQM Serie verwendet wird. Folgende Funktionen stehen zur Verfügung:

- Datenauslesen durch das Gerät
- Echtzeit Vorschau des Netzes (live Ansicht)
- Darstellung der Daten in tabellarischer Form
- Darstellung der Daten in graphischer Form
- Datenanalyse gemäß EN 50160, Normberichten und anderen benutzerdefinierten Bedingungen
- Firmware Update des Analysators und der Anwendung selbst

Die Software arbeitet mit Windows XP, Windows Vista, Windows 7, Windows 8 und Windows 10. Eine detaillierte Bedienungsanleitung der Software "Sonel Analysis" ist in einem separaten Dokument oder als separater Download von der Herstellerseite www.sonel.pl erhältlich.

2.13.2 Verbindung zum PC und Datenübertragung

Durch die Verbindung eines USB-Kabels ist eine Kommunikation zwischen PQM-707 und PC möglich.

Die Verbindung zu einem Computer (PC Modus) ermöglicht:

- Datenübertragung von gespeicherten Daten aus dem Speicher:
 - Es ist möglich Daten von allen beendeten Aufzeichnungen auszulesen.
- Ansicht der Netzparameter am PC:
 - Momentanwerte von Strom, Spannung, Leistung und Energie, Gesamtwerte des ganzen Netzes
 - Oberschwingungen, THD
 - Unsymmetrie
 - Phasor Diagramme für Spannungen und Ströme
 - Strom- und Spannungswellenform aufgezeichnet in Echtzeit
 - Alle anderen gemessenen Parameter
- Wird ein Analysator am PC angeschlossen, erscheint am Display die Meldung "PC Verbindung"
- Wird ein Analysator am PC angeschlossen, sind alle Tasten außer  gesperrt. Wird jedoch der Analysator im Tastensperr-Modus betrieben, (z.B. während einer Aufnahme) sind alle Tasten gesperrt.
- Wird innerhalb von 10 Sekunden während einer PC-Verbindung kein Datenaustausch vollzogen, beendet der Analysator den Modus zum Datentransfer und unterbricht die Verbindung.

Die *Sonel Analysis* Software ermöglicht auch das Auslesen der Daten direkt von der microSD-Karte durch ein externes Speicherkartenlesegerät. Diese Methode ist die schnellste, um aufgezeichnete Daten auszulesen. Um dies durchzuführen, entnehmen Sie die Speicherkarte aus dem Gerät, und legen Sie diese in das Lesegerät, welches am PC angeschlossen ist. (Beim Entfernen der Karte folgen Sie bitte den Anweisungen in Abschnitt 2.4.)

2.14 Schaltbilder

Der Analysator kann direkt an die folgenden AC Netze angeschlossen werden:

- Einphasig (Abb. 38)
- 1-Phasen 3-Leiternetz mit aufgesplitteter Windung für den Wandler (Abb. 39)
- 3-Phasen 4-Leiter (Abb. 40)
- 3-Phasen 3-Leiter (Abb. 41, Abb. 42)

Indirekte Messungen an Mittelspannungs- und Hochspannungsnetzen:

- 3-Phasen 4-Leiter Netzen (Abb. 43)
- 3-Phasen 3-Leiter Netzen (Abb. 44)

Messungen in DC Netzen in 2 Konfigurationen möglich:

- DC – ein-Spannungs DC Netz (Abb. 45)
 - DC+M – zwei-Spannungs DC Netz mit Mittelpunkt (Abb. 46)
- In DC Netzen ist es möglich den Strom mit Zangen C-5(A) zu messen

In 3-Leiter AC Netzen kann der Strom durch die Aron Methode (Abb. 42) ermittelt werden. Es werden hierzu nur zwei Zangen für die Messung der Linearströme I_{L1} und I_{L3} benötigt. I_{L2} wird dann aus folgender Formel berechnet:

$$I_{L2} = -I_{L1} - I_{L3}$$

2 Funktion des Analysators

In Netzen mit Neutralleiter kann eine weitere Strommessung durch zusätzliche Zangen im I_N Kanal gemessen werden. Zuvor muss jedoch die Option "N-Leiter Strom" in der Konfiguration aktiviert werden.

Achtung

*Um eine korrekte Gesamtscheinleistung S_e und den Gesamtleistungsfaktor (PF) in einem 4-Leiter 3-Phasen Netz zu berechnen, muss der Strom im Neutralleiter gemessen werden. Es muss dann die Option **N Leiter Strom** aktiviert und 4 Zangen wie in Abb. 40 dargestellt angeschlossen werden. Weitere Informationen zur Gesamtscheinleistung S_e - siehe Abschnitt 5.3.5.*

Bei Netzen mit PE und N Leiter (Schutzerde und Neutral) ist es auch möglich eine N-PE Spannung zu messen. Um dies durchzuführen, verbinden Sie den PE Leiter mit dem PE Eingang am Gerät. Wählen Sie danach die Option **N-PE voltage (N-PE Spannung)** in den Messpunkteinstellungen.

Beachten Sie die Richtung der Stromzangen (flexibel und CT). Die Zangen müssen mit Pfeilrichtung in Lastrichtung angeschlossen werden. Dies kann durch eine Wirkleistungsmessung geprüft werden – in den meisten Fällen einer passiven Last ist die Wirkleistung positiv. Sollten die Zangen in entgegengesetzter Richtung angeschlossen sein, ist es möglich in der Software die Polarität der Zangen im Menü **ANALYZER SETTINGS → CLAMPS (ANALYSATOR EINSTELLUNGEN → ZANGEN)** zu ändern.

Die folgenden Schaltbilder zeigen schematisch, wie Sie den PQM-707 am entsprechenden Netz anschließen müssen.

Die Symbole in den Darstellungen hinsichtlich optionaler Anschlussmöglichkeiten haben folgende Bedeutung:

 Wird die Spannungsmessung U_{N-PE} benötigt, verwenden Sie dieses Symbol, um den Analysator wie im Diagramm anzuschließen (verbinden Sie den PE Eingang mit dem Schutzleiter).

 Wird die Strommessung I_N benötigt, verwenden Sie dieses Symbol, um den Analysator wie im Diagramm anzuschließen (schließen Sie die Zangen am Kanal I_N an).

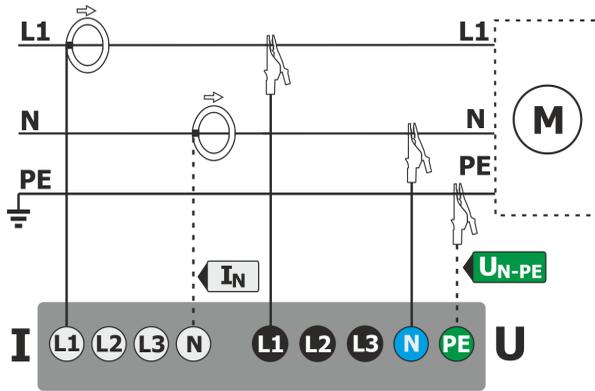


Abb. 38. Schaltbild – Einphasig

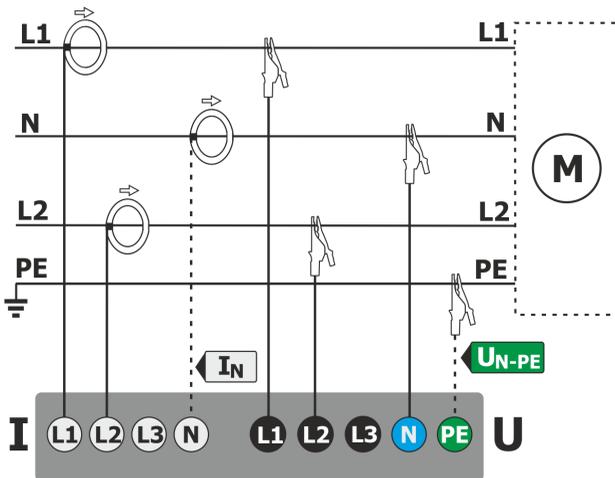


Abb. 39. Schaltbild – Zweiphasen Netz

2 Funktion des Analysators

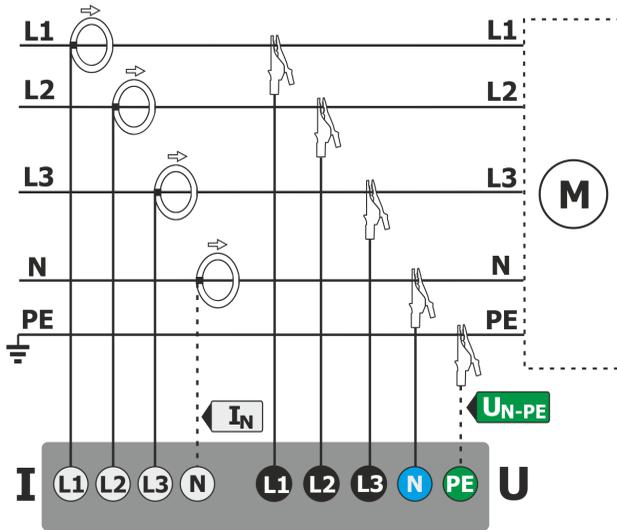


Abb. 40. Schaltbild – 3-Phasen 4-Leiter Netz

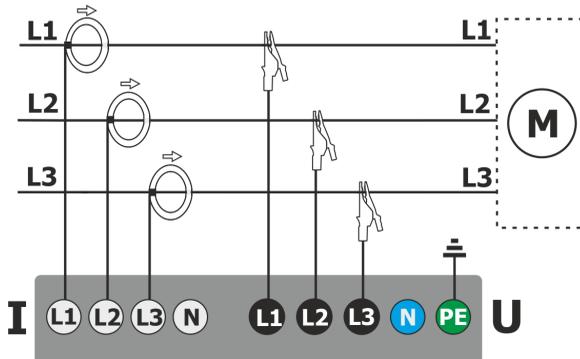


Abb. 41. Schaltbild – 3-Phasen 3-Leiter Netz

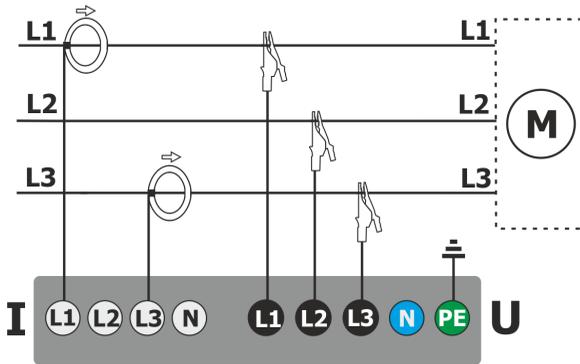


Abb. 42. Schaltbild – 3-Phasen 3-Leiter Netz (Strommessung durch die Aron Methode)

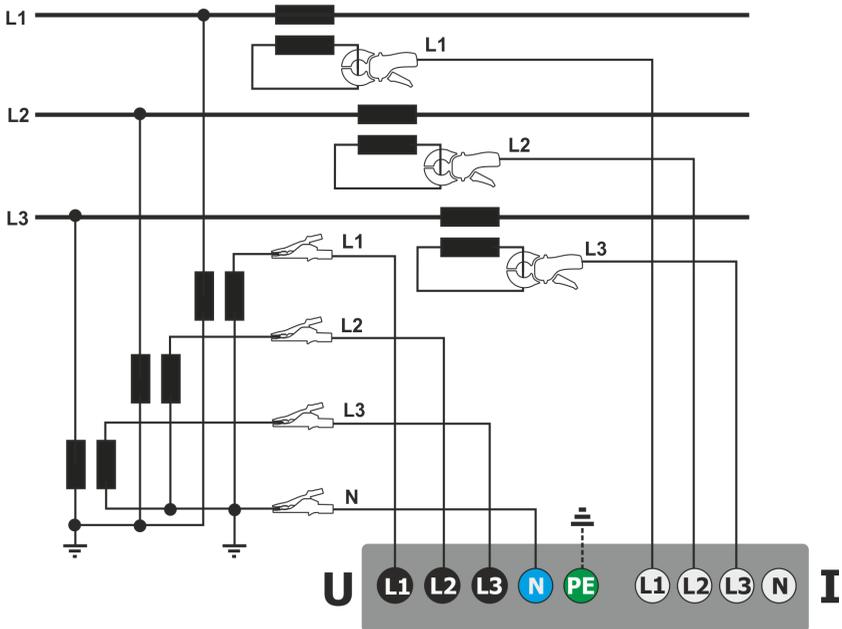


Abb. 43. Schaltbild – indirekte Messung am Mittelspannungs 3-Phasen 4-Leiter Netz

2 Funktion des Analysators

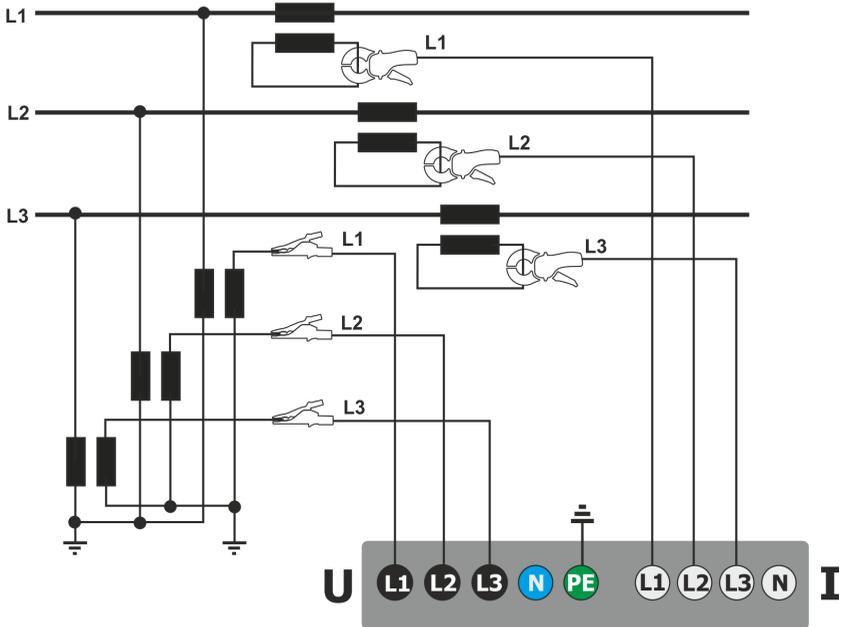


Abb. 44. Schaltbild – indirekte Messung am Mittelspannungs 3-Phasen 3-Leiter Netz

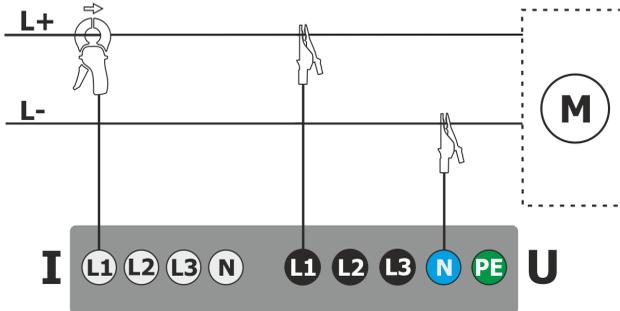


Abb. 45. Schaltbild – DC Netz

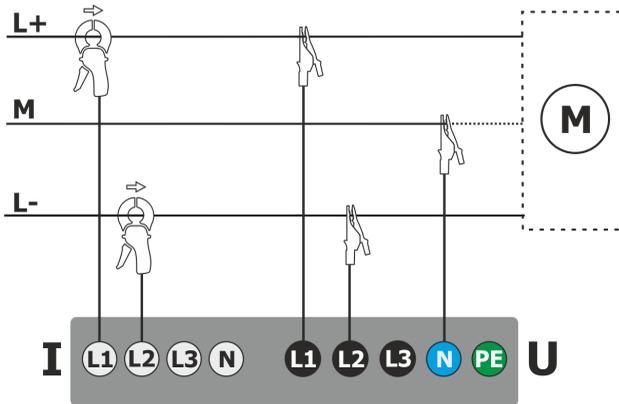


Abb. 46. Schaltbild – DC+M Netz (bipolar)

2.14.1 Überprüfung der Anschlüsse

Nach dem Betätigen der Taste zur Überprüfung des korrekten Anschlusses des Analysators (siehe **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.**), wird ein Fenster mit einigen wichtigen Informationen zum Anschluss des PQM-707 am Netz angezeigt. Diese Informationen helfen dem Benutzer die Übereinstimmung zwischen Stromkonfiguration mit den Parametern des Netzes zu überprüfen. Es werden folgende Informationen dargestellt:

- Spannungswerte – zwei mögliche Symbole:
 - - RMS Spannungen OK, sie sind im Toleranzbereich von $\pm 15\%$ der Nennspannung
 - - RMS Werte liegen außerhalb des Bereiches $U_{nom} \pm 15\%$
- Stromwerte – vier Optionen:
 - - RMS Ströme sind im Bereich von $0.3\% I_{nom} \dots 115\% I_{nom}$
 - - RMS Ströme sind niedriger als $0.3\% I_{nom}$
 - - RMS Ströme sind höher als $115\% I_{nom}$
 - --- - Striche werden angezeigt, wenn die Strommessung in dieser Konfiguration deaktiviert ist
- Spannungsvektoren – der Analysator überprüft den korrekten Anschluss über die Grundwinkel und zeigt dazu die entsprechenden Symbole an:
 - - Die Vektoren haben korrekte Winkel im Bereich von $\pm 30^\circ$ des theoretischen Wertes einer ohmschen Last und symmetrischen ohmschen Netzbelastung (in 3-Phasen Netzen)
 - - Die Genauigkeit der Winkel kann nicht überprüft werden, da der RMS Spannungswert zu niedrig ist (kleiner als 1% von U_{nom})
 - - Falsche Winkel der Vektoren. In 3-Phasen Netzen wird dieses Symbol unter anderem angezeigt, wenn die Phasenfolge umgekehrt ist.
- Stromvektoren – Die Richtigkeit der Vektorenwinkel wird für die Komponenten der Netzströme in Relation zu den Spannungsvektoren überprüft. Es werden folgende Symbole angezeigt:

2 Funktion des Analysators

-  - Vektoren liegen innerhalb von $\pm 55^\circ$ in Relation zu den Winkeln der Spannungsvektoren
-  - Die Genauigkeit der Stromvektoren Winkel kann nicht überprüft werden, da die RMS Stromwerte zu niedrig sind (unter 0.3% von I_{nom})
-  - Vektoren liegen außerhalb des akzeptablen Bereiches ($\pm 55^\circ$)
- --- - Striche werden angezeigt, wenn die Strommessung in dieser Konfiguration deaktiviert ist.
- Frequenz:
 -  - Die gemessene Stromfrequenz liegt im Bereich von $f_{nom} \pm 10\%$
 -  - Der RMS Wert der Phasenreferenzspannung ist kleiner als 10V oder es liegt keine PLL Synchronisation vor
 -  - Die gemessene Frequenz liegt außerhalb des Bereiches von $f_{nom} \pm 10\%$

Diese Symbole werden in oberen Kontrolleiste wie folgt angezeigt:

-  - Ist in der Tabelle mindestens ein  enthalten
-  - Ist in der Tabelle mindestens ein  enthalten, aber kein Fehler vorliegt (kein )
-  - Wenn alle gemessenen Parameter korrekt sind

2.15 Anwendungsbeispiel

Die folgende Schritt-für-Schritt-Anleitung beschreibt eine Messung mit dem Analysator: Vom Anschluss des Gerätes bis zur Generierung des Messprotokolls. Es enthält Leitfäden, wie einfach Analysator und Software *Sonel Analysis* in Betrieb genommen werden können. Es wird dabei vorausgesetzt, dass die Software bereits installiert ist.

Szenario: 1-Phasen Messung gemäß EN 50160

Das Messszenario ist wie folgt: Der Nutzer will Spannungsparameter eines Einphasennetzes 230 V 50 Hz messen. Das Ziel ist es einen konformen Normbericht nach der Norm EN 50160 zu erstellen. Gemäß den Anforderungen dieser Norm müssen folgende Parameter gemessen werden:

- 10-Minuten-Mittelungswert der Spannung, THD und Oberschwingungen
- Frequenz von 10 Sekunden
- Langzeitflickerstärke P_{LT}
- Spannungsereignisse: 110% U_{nom} für Spannungsspitze, 90% U_{nom} für Spannungseinbruch, 5% U_{nom} für Unterbrechung. Wird ein Ereignis erkannt, müssen die Wellenform und der $RMS_{1/2}$ Graph aufgezeichnet werden.

Nach der Messung werden Zeitachsen der gemessenen Parameter und ein Beispielbericht nach Norm erstellt. Die Daten werden zur weiteren Analyse gespeichert.

Diese oben genannten Punkte werden nur mit dem Analysator durchgeführt.

Es werden dann die gespeicherten Daten mit der Software *Sonel Analysis* ausgelesen und ein Normbericht mit deren Hilfe erstellt.

Wie werden die Messungen durchgeführt?

Schritt 1: Schalten Sie den Analysator ein. Schalten Sie das Gerät durch Drücken der Taste  ein. Nach dem Hochfahren sollte das Display wie in Abb. 2 oder einer der LIVE Modus Ansichten, wenn die Standardansicht in der Konfiguration geändert wurde angezeigt werden.

Schritt 2: Anschluss an das Netz. Schließen Sie den Analysator wie in Abb. 38 ans Netz an. Verbinden Sie die Spannungseingänge L1, N. Zangen müssen nicht angeschlossen werden, da keine Strommessung benötigt wird. Versorgen Sie den Analysator extern mit Spannung, um eine kontinuierliche Spannungsversorgung zu gewährleisten und keine Unterbrechung durch entladene Batterien zu riskieren.

Schritt 3: Erstellen einer neuen Messkonfiguration. Wählen Sie **RECORDING CONFIGURATION (AUFNAHMEKONFIGURATION)** im Hauptmenü. In den nächsten Schritten erstellen wir die Messkonfiguration gemäß den Anforderungen der Norm. Wählen Sie aus der unteren Menüleiste das Symbol  (Hinzufügen einer neuen Konfiguration), dann die Option **ACCORDING TO STANDARD (NORMKONFORM)** und aus der Auswahlliste die Norm **EN 50160 – LOW VOLTAGE (EN 50160 – NIEDERSpannung)** aus. Bestätigen Sie Ihre Auswahl durch das  Symbol aus der Menüleiste. Es wird jetzt das erste Feld der detaillierten Konfiguration angezeigt. Die Auswahl des Netzes führen Sie über die Auswahlliste **MAINS SYSTEM (NETZFORM)** durch, **1-phase (1-Phase)**, Spannung U_n 230/400 V, Frequenz 50 Hz und **CLAMPS TYPE (ZAGENTYP)** **None (Keine)**. In den anderen Ansichten müssen Sie keine weiteren Änderungen vornehmen, speichern Sie daher die Konfiguration mit dem Symbol  ab. Im folgenden Fenster geben Sie den Speichernamen der neu erstellten Konfiguration ein. Nach der Eingabe wählen Sie die Box **Set as active (aktivieren)** und **OK**, um diese Konfiguration im Analysator zu aktivieren. Ein neues Fenster zur Speicherbestätigung wird im Anschluss angezeigt. Im unteren Informationsbalken sollten nun

2 Funktion des Analysators

folgende Daten enthalten sein: U_n : 230 V, f_n : 50 Hz, 1-Phase Netzsymbol  und die Bezeichnung der Konfiguration.

Schritt 4: Überprüfung des korrekten Anschlusses. Gehen Sie ins Hauptmenü (Symbol ) und lassen Sie sich durch das Wellenformensymbol  die momentane Wellenform (Sinuswelle) des Netzes anzeigen. Im Feld rechts sollte der RMS-Spannungswert von ca. 230V, entsprechend dem eingestellten nominal Wert, in der Konfiguration anzeigen. Es können auch die momentanen Parameter tabellarisch  und die Oberschwingungen angezeigt  werden.

Schritt 5: Überprüfen der Bereitschaft der Aufzeichnung. Stellen Sie vor dem Aufnahmestart sicher, dass Datum und Zeit korrekt eingestellt und eine microSD-Speicherkarte mit ausreichend freiem Speicher eingelegt ist. Sollte das Datum nicht stimmen, können Sie dies über **ANALYZER SETTINGS (ANALYSATOR EINSTELLUNGEN)** und **DATE AND TIME (DATUM UND ZEIT)** entsprechend korrigieren. Ist eine passende Speicherkarte im Gerät, wird dies in der oberen Menüleiste durch ein Speicherkartensymbol und den noch freien Speicherplatz angezeigt.

Schritt 6: Datenaufzeichnung. Die Aufnahme kann durch die Taste  gestartet werden. Bestätigen Sie das anschließende Fenster mit **YES (JA)**. Im Anschluss ertönt ein dreifacher Piepton und das Speichersymbol in der oberen Menüleiste wechselt in ein rotes Aufnahmesymbol  zusätzlich blinkt die LED rot. Das Gerät sollte nun für einen entsprechenden Zeitraum in diesem Zustand bleiben, um genügend Daten aufzeichnen zu können. (Bei einer Aufnahme gemäß EN 50160, werden Aufzeichnungen alle 10 Minuten gespeichert, die Zuweisung der P_{LT} benötigt synchronisiert mindestens volle 2 Stunden, was die Aufnahmeperiode um 2 Stunden erhöht. Während der Aufnahme wird ein Spannungseinbruch durch kurzzeitiges Trennen der Messleitung L1 oder N vom Analysator hervorgerufen. Um den Anforderungen zu entsprechen, sollte der Aufnahmeprozess für ca. 1 Woche durchgeführt werden.

Schritt 7: Aufnahmestop. Nach entsprechender Zeit können Sie die Aufzeichnung mit der Taste  und der anschließenden Bestätigung stoppen.

Schritt 8: Aufnahmeanalyse. Wählen Sie aus dem Hauptmenü **RECORDING ANALYSIS (ANALYSE DER AUFZEICHNUNGEN)**. Suchen Sie aus der Liste Ihre benötigte Aufnahme. Sortieren Sie dazu nach Datum und Zeit, um die aktuellste Aufnahme zu finden. Lassen Sie sich die Übersicht der Aufzeichnung durch Doppelklick auf den Namen oder durch einmaliges Auswählen des Vorschausymbol  anzeigen.

Schritt 9: Erstellen eines Zeitdiagramms. Um ein Beispiel eines Zeitdiagrammes mit drei Wellenformen - Mittelungsspannung UL1, 10-Sekunden Frequenz (ist für gewöhnlich eine Standardeinstellung bei normkonformer Aufnahme) und Flicker P_{LT} - zu erstellen, führen Sie folgende Schritte aus. Wählen Sie aus der Aufnahmeübersicht Wellenform  aus der unteren Menüleiste und dann das Symbol  aus dem nächsten Menü. Ein Graph wird mit einem Mittelwert der Spannung für den gesamten Aufnahmezeitraum erstellt. Diese Ansicht wird zur Zeitbereichsdarstellung verwendet, um ein Zeitdiagramm aus den entsprechenden benutzerdefinierten Parametern zu erstellen. Orangene Dreiecke markieren den aktiven Zeitbereich, welcher entsprechend vergrößert oder verkleinert werden kann (bis zu max. 1100 Aufzeichnungen). Nach Anpassung wählen Sie  aus der unteren Menüleiste. Wählen Sie die Beispielparаметer (maximal vier), z.B. Mittelungsspannung UL1, Frequenz und THD. Nach

entsprechender Auswahl wählen sie aus der unteren Menüleiste das Symbol , um das Diagramm zu generieren und anzuzeigen. In der Ansicht erscheint nun das Zeitdiagramm der ausgewählten Parameter. Mit dem Marker kann eine beliebige Zeit im Diagramm angewählt werden, sodass die Parameter zu diesem Zeitpunkt im rechten Bereich in den Feldern angezeigt werden.

Schritt 10. Erstellen eines normkonformen Berichts. Aus der Graphenansicht gehen Sie zurück in die Gesamtübersicht der Aufzeichnungen. (Wählen Sie in der unteren Menüleiste , dann  und dann zweimal ) . Um jetzt den normkonformen Bericht nach EN 50160 zu generieren, wählen Sie das Symbol  aus der unteren Menüleiste. Ein weiteres Fenster mit den Berichtsoptionen wird angezeigt (siehe Abb. 26). Nach Auswahl der Optionen wird durch das Symbol  der Bericht erstellt (siehe Abschnitt. 2.9.7).

Schritt 11. Speichern des Berichtes auf einem USB-Stick. Um den Bericht zu speichern, verbinden Sie ein externes USB-Speichermedium mit dem Analysator und warten Sie bis dieses initialisiert wurde (USB-Symbol in der Menüleiste). Wählen Sie dann das Symbol  und danach aus dem nächsten dargestellten Menü das Symbol , um den Bericht zu speichern. Nach korrekter Durchführung erscheint im Display eine Bestätigungsmeldung. Der Bericht (in .pdf Format) wurde nun in dem Ordner "PQM-707_DATA" hinterlegt.

Schritt 12: Verbinden des PQM-707 mit der Sonel Analysis Software. Installieren Sie zuerst die Software von der DVD oder nach dem Herunterladen von der Herstellerseite. Starten Sie nach der Installation die Software und verbinden Sie den Analysator per USB-Kabel mit dem PC. Ist dies die erste Verbindung zwischen Analysator und PC, warten sie bitte die automatische Treiberinstallation des Analysators ab. Wählen Sie **Analyzer (Analysator) → Analysis (Analyse)** im Menü oder über die Symbolleiste die Option **Analyse (Analyse)**. Im folgenden Fenster wird eine Liste der verfügbaren Analysatoren angezeigt, in welcher auch der aktuelle PQM-707 zu finden sein sollte. Führen Sie einen Doppelklick auf den Namen aus. Nach dem Herstellen der Verbindung erscheint am Analysator die Ansicht **PC connection (PC Verbindung)**.

Eine alternative Methode um die Daten in die Software *Sonel Analysis* einzulesen ist, die Speicherkarte in einen am PC angeschlossenen Kartenleser einzulegen (schalten Sie zur Sicherheit den Analysator aus, um vorher alle Daten auf der Karte zu speichern). Wählen Sie nun genau wie in Schritt 12 **Analyzer (Analysator) → Analysis (Analyse)** im Menü oder über die Symbolleiste die Option **Analyse (Analyse)** aus. Im folgenden Fenster werden nun die erkannten Speicherkarten aufgelistet, u.a. auch die eingelegte: "PQM-707 [Seriennummer], zusammen mit der Speicherkarte. Führen Sie einen Doppelklick aus, um die Verbindung zu bestätigen.

Schritt 13: Einlesen der Aufnahmedaten des Analysators. Nach der Auswahl der Option **Analysis (Analyse)** wird in der Software ein neues Fenster angezeigt, aus welchem die Daten zum Download vom Analysator ausgewählt werden können. Es ist möglich, aufgezeichnete Daten (Messungen) und Screenshots auszuwählen. Wählen sie die Option **Measurements (Messungen)** an, um die Liste der aufgezeichneten Messungen herunterzuladen. In der Liste sind alle aufgezeichneten und gespeicherten Daten der microSD-Karte des Analysators vorhanden. Wählen Sie eine Aufzeichnung zum Download aus und wählen Sie **Load data (Daten laden)**. Im folgenden Fenster wird der Ladefortschritt angezeigt und darauf ein weiteres Fenster, um die heruntergeladenen Daten auf der Festplatte des PCs zu speichern. Es wird empfohlen die Daten lokal abzuspeichern, um sie für spätere Analysen wieder zur Verfügung zu haben. Wählen Sie den Speicherort und Speichernamen und wählen Sie **Save (Speichern)**. Im angezeigten Fenster wählen Sie den horizontalen Balken, welcher die Aufnahmezeit anzeigt - zu finden unter dem Text

2 Funktion des Analysators

Measurement point (Standard) (Messpunkt (Norm)) (nach Anwählen wird dieser orange). Wählen Sie dann **Data Analysis (Datenanalyse)**.

Schritt 14: Datenanalyse. Im Hauptmenü der Datenanalyse stehen vier Hauptpunkte zur Verfügung: **General (Allgemein)** (Standartansicht nach Laden der Daten), **Measurement (Messung)**, **Events (Ereignisse)**, **Configuration (Konfiguration)**. In der **Allgemeinen** Ansicht, sind an der rechten Seite die Symbole der individuellen Messungen wie Ereignis und aufgezeichnete Wellenform der Zeitleiste zu finden.

Wählen Sie **Messungen**, um sich die Tabelle mit den Werten aller gemessenen Parameter gemäß der ausgewählten Mittelungszeit anzeigen zu lassen. Bei dieser Aufzeichnung nach Norm wurde eine Mittelungszeit immer gleich 10 Minuten verwendet, deshalb zeichnet der Analysator alle 10 Minuten Spannung, THD und Oberschwingungen (Frequenz wird immer alle 10 Sekunden gemessen) auf. Jede Reihe enthält aufgezeichnete Daten der darauffolgenden 10- Minuten-Intervalle. Jede Spalte enthält die individuellen Parameter (alle 10 Sekunden können die Frequenzwerte angezeigt werden, nach dem '10s' von der **Display data (Daten anzeigen)** Liste). Nach Auswahl von **Events (Ereignissen)** können alle aufgezeichneten Ereignisse dargestellt werden. Es wurden in diesem Fall die folgenden Spannungswerte aufgezeichnet: Spannungsspitzen, Spannungseinbrüche und Unterbrechungen. Jede Reihe in der Tabelle entspricht einem erkannten Ereignis. Sind für entsprechende Ereignisse Graphen verfügbar (z.B. Wellenformen und $RMS_{1/2}$ Graphen), wie in unserem Fall, ist in der letzten Spalte das Symbol des gespeicherten Graphen zu finden. Nach Auswahl dieses Symbols kann der Graph angezeigt werden.

Schritt 15: Anzeige des Zeitdiagramms für Spannung und THD. Um den Graphen zu erzeugen, gehen Sie zu **Messungen**, wählen Sie die Spaltenüberschrift für Spannung L1, THD L1 und wählen Sie **Diagramme**, dann **Plots** und dann **Zeitdiagramme**. Es erscheint nun eine Anzeige mit einem Graphen und zwei Zeitdiagrammen: L1 Spannung und THD U L1. Dieser kann frei vergrößert werden. Durch die drei Marker können beliebige Punkte ausgewählt werden und deren Parameter angezeigt werden. Der Graph kann im ausgewählten Dateiformat durch Anwählen von **Speichern** in der oberen Menüleiste gesichert werden.

Schritt 16: Darstellen von Graphen mit Oberwellen. Es können zwei verschiedenen Arten von Graphen für Oberschwingungen dargestellt werden. Der erste ist der Graph der Oberschwingungen bezogen auf die Zeit. Um diesen darzustellen, wählen Sie die Spalten der ausgewählten Oberschwingungen (z.B. 3. und 5. Ordnung) und wählen Sie **Plots**→**Zeitdiagramme**.

Die zweite Variante des Graphen ist die Darstellung der Oberschwingungen in Balkenform. Dieser zeigt alle Oberschwingungen im 10-Minuten-Intervall in einer Linie. Zu Erstellung wählen Sie die gewünschte Zelle der Zeitspalte und wählen Sie die Spalte einer beliebigen L1 Oberschwingung der Spannung. Wählen Sie **Plots** und wählen Sie aus der Liste der **Oberschwingungen** die entsprechende aus. In gleicher Weise kann auch hier das Zeitintervall durch Ziehen der Zellen in der Zeitspalte angepasst werden. Es wird dann ein Graph mit Mittelungswerten der Oberschwingungen in einer bestimmten Zeitperiode dargestellt.

Schritt 17: Ereignisse. Erkennt der Analysator während der Aufzeichnung ein Ereignis, wird dies in der Tabelle **Ereignisse** angezeigt. Die Zeile des entsprechenden Ereignisses zeigt die Start- und Endzeit des Ereignisses, sowie den Extremwert (z.B. Minimalspannung während eines Spannungseinbruchs), die Wellenform und den $RMS_{1/2}$ Graphen, wenn das Ereignis spannungs- oder stromabhängig war. In unserem Beispiel wurden die Ereignisgraphen bereits in den Einstellungen automatisch aktiviert (Normkonfiguration). Deshalb sollte, sobald ein Ereignis erkannt wurde, in der letzten Spalte der Tabelle das Graphen-Symbol angezeigt werden.

Schritt 18: Erstellen eines normkonformen Berichtes. Um einen zusammenfassenden Bericht aller nach Norm geforderten getesteten Parameter zu erstellen, wählen Sie in der Ansicht **Measurements (Messungen)**, dann **Berichte** und wählen Sie dann **Normbericht**. In der darauffolgenden Ansicht haben Sie die Möglichkeit die entsprechenden Parameter für Ihren Bericht

zu aktivieren. Mit **Generate (Erstellen)** wird der Bericht erstellt. Der letzte Schritt besteht darin, eventuelle zusätzliche Daten dem Bericht hinzuzufügen (optional), (z.B. Berichtsnummer, Beschreibung der Messung, Benutzerdetails, Logo). Um sich den Bericht anzeigen zu lassen, wählen Sie das Symbol **Vorschau**. Mit **Speichern** wird der Bericht im entsprechenden Format (*.pdf*, *.html*, *.txt*, *.csv*) gespeichert.

3 Ausführung und Messmethoden

3.1 Spannungseingänge

Die Spannungseingänge sind dargestellt in Abb. 47. Die Phaseneingänge L1, L2, L3 können sich entweder auf den Neutraleingang beziehen, es werden dann die Spannungen L1-N, L2-N, L3-N) gemessen oder auf den PE Eingang worauf die Spannungen L1-PE, L2-PE, L3-PE) gemessen werden. Der jeweilige Spannungsbezugspunkt wird auf Grund der Netzform ausgewählt. PE wird verwendet in 3-Phasen 3-Leiter Netzen, während N in den üblichen restlichen Netzen verwendet wird.

Der Analysator verfügt über einen Spannungsbereich, mit einer Spitzenspannung von 1150V_{pp} (ohne Clipping).

3.2 Stromeingänge

Der Analysator hat vier voneinander unabhängige Stromeingänge mit gleichen Parametereigenschaften. Stromwandlerzangen (CT) mit einem Standardspannungsausgang von 1V, sowie flexible Zangen F-1(A), F-2(A) und F-3(A) können an jedem Eingang angeschlossen werden. Normalerweise werden flexible Zangen mit einem internen elektronischen Integrator verwendet. Es ist jedoch auch möglich nur ein Rogowski Spule am PQM-707 anzuschließen.

3.3 Digitaler integrator

Im Analysator PQM-707 wurde eine Lösung mit digitaler Integration des Signals der Rogowski-Spule verwendet. Eine solche Vorgehensweise ermöglichte die Probleme von analogen Integratoren, die mit der Notwendigkeit der Gewährleistung der angegebenen Genauigkeit in langen Zeitabschnitten und unter schwierigen Messbedingungen, auszuschalten. Analoge Integratoren müssen auch Sicherungssysteme beinhalten, die vor der Sättigung des Eingang im Fall Gleichspannung am Eingang schützen.

Der Perfekte Integrator hat eine unendliche Verstärkung für konstante Signale, die mit einer Geschwindigkeit von 20 dB/Frequenzdekade fallen. Die Phasenverschiebung ist konstant über den gesamten Frequenzbereich und beträgt -90° .

Theoretisch bewirkt eine unendliche Verstärkung für ein konstantes Signal, wenn es am Eingang des Integrators erscheint, die Sättigung des Ausgangs nahe der Versorgungsspannung und verhindert somit die weitere Arbeit des Geräts. In der Praxis wird eine Lösung, die die DC-Verstärkung auf einen bestimmten Wert einschränkt, und zusätzlich eine periodisch Zurücksetzung des Ausgangs bewirkt. Es gibt auch Techniken der aktiven Zurücksetzung der Gleichspannung, die auf der Messung und Rückgabe zum Eingang beruht, aber mit umgekehrten Zeichen, wodurch es effektiv gelöscht wird. Im Englischen wurde der Begriff „leaky integrator“ angenommen, was einen Integrator mit Auslauf bedeutet. Ein analoger „leaky integrator“ ist einfach ein Integrator mit Kondensator mit überbrücktem Widerstand mit hohem Wert. Ein solches System wird dann gleichbedeutend mit Tiefpassfilter mit einer sehr niedrigen Filterfrequenz.

Die digitale Integratorimplementierung gewährleistet hervorragende Langzeitparameter – die gesamte Prozedur wird über eine Berechnung durchgeführt, eine Alterung der Elemente, Drift usw. ist hier unmöglich. Jedoch so wie bei der analogen Version kann es hier zur Sättigung kommen und ohne entsprechende Gegenwirkung kann die digitale Integration nutzlos sein. Zu beachten ist, dass

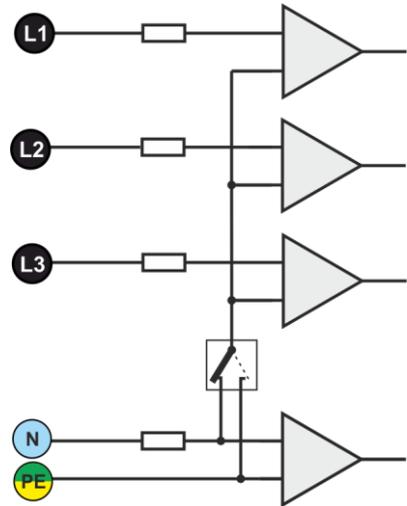


Abb. 47. Spannungseingänge und Netzteil

sowohl Eingangsverstärker, als auch Analog-Digital-Wandler eine bestimmten endliche und unerwünschte Vorspannung besitzen, die vor der Integrierung entfernt werden muss. In der Software des Analysators PQM-707 wurde ein digitaler Filter integriert, deren Aufgabe es ist die konstante Komponente der Spannung zu eliminieren. Das gefilterte Signal wird der digitalen Integration unterzogen. Die resultierende Phasencharakteristik hat hervorragende Eigenschaften und die Phasenverschiebung für die kritischen Frequenzen von 50 und 60Hz ist minimal.

Die Gewährleistung einer geringen Phasenverschiebung zwischen den Signalen des Stromes und der Spannung ist für das Erhalten von geringen Leistungsfehlern wichtig. Es kann vorgeführt werden, dass der geschätzte Messfehler mit folgender Abhängigkeit ausgedrückt werden kann¹:

$$\text{Leistungsmessfehler} \approx \text{Phasenfehler (in Radianen)} \times \tan(\varphi) \times 100 \%$$

wobei $\tan(\varphi)$ den Tangens des Winkels zwischen dem Strom und der Spannung ihrer Grundkomponenten bezeichnen. Aus der obigen Formel kann geschlussfolgert werden, dass die Messfehler zusammen mit dem sinkenden Phasenverschiebungsfaktor steigen; beispielsweise bei einem Phasenfehler von $0,1^\circ$ und $\cos\varphi=0,5$ blärd beträgt der Fehler 0,3%. Wie auch immer, damit die Leistungsmessungen genau sind, muss die Übereinstimmung der Phasen der Strom und Spannungs-kreise bestmöglich sein.

3.4 Signalabtastung

Das Signal wird abgetastet in allen sieben Kanälen gleichzeitig abgetastet mit der Versorgungsspannungsfrequenz des Referenzkanals. Diese Frequenz beträgt 10,24 kHz für die Netzwerke Frequenzen 50Hz und 60Hz.

Jede Periode enthält ca. 205 Proben für 50 Hz und ca. 170 für 60 Hz. Es wurde ein 16-Bit-Analog-Digital-Wandler, der ein 64-faches Oversampling gewährleistet.

Die analoge 3-dB-Dämpfung der Wege wurde für eine Frequenz von 12 kHz bestimmt, der Amplitudenfehler für die maximale brauchbare Frequenz 2,4 kHz (also die Frequenz der 40. Oberwellen für ein 60 Hz-Netzwerk) hingegen beträgt ca. 0,3 dB. Die Phasenverschiebung für dieselbe Frequenz ist geringer als 15° . Die Sperrdämpfung beträgt mehr als 75 dB.

Beachten Sie, dass für eine korrekte Messung der Phasenverschiebung zwischen den Oberwellen der Spannung in Bezug auf die Oberwellen des Stromes und der Leistung dieser Oberwellen ist die absolute Phasenverschiebung in Bezug auf die Bildfrequenz nicht wichtig, sondern die Übereinstimmung der Phasencharakteristiken der Spannungswege mit den Stromwegen. Der größte Fehler der Phasendifferenz beträgt für $f = 2,4$ kHz max. 15° . Der Fehler wird geringer, wenn die für uns interessante Frequenz sinkt. Bei der Fehlereinschätzung der Messung der Leistung der Oberwellen, muss der zusätzliche Fehler, den die Verwendeten Stromzangen und Wandler einführen.

3.5 PLL-Synchronisation

Die Synchronisation der Abtastungsfrequenz wurde über die Hardware realisiert. Das Spannungssignal wird nach Durchlaufen der Eingangskreise auf den Bandpassfilter gerichtet, deren Aufgabe es ist die Stufe der Oberwellen zu verringern und nur die Grundkomponente der Spannung durchzulassen. Danach wird das Signal in die Kreise der Phasenschleife als Referenzsignal eingeführt. Das PLL-System generiert eine Frequenz, die ein Vielfaches der Referenzfrequenz, die zur Taktierung der Analog-Digital-Wandlers notwendig ist.

Die Notwendigkeit der Verwendung einer Phasenschleife ergibt sich aus den Anforderungen der Norm EN 61000-4-7, die die Prüf- und Messverfahren und die zulässigen Fehler bei der Messung der Komponenten der Oberwellen beschreibt. Diese Norm verlangt, dass das Messfenster, das die Grundlage einer Messung und Bewertung des Inhalts der Oberwellen ist, entsprach der Laufzeit von 10 Perioden des energetischen Netzwerks in 50 Hz-Installationen, und 12 Perioden für 60 Hz. In beiden Fällen entspricht dies einer Zeit von ca. 200 ms. Da die Frequenz des Stromnetzes regelmäßigen Änderungen und Schwankungen unterliegen kann, kann die Laufzeit des

¹Current sensing for energy metering, William Koon, Analog Devices, Inc.

3 Ausführung und Messmethoden

Fensters von 200 ms abweichen und z.B. für eine Netzfrequenz von 51 Hz, wird sie ca. 196 ms betragen.

Die Norm empfiehlt auch, dass bevor die Fourier-Transformation eingeführt wird (um die spektralen Komponenten auszusondern), keine Windowing-Vorgänge vorgenommen werden. Eine Mangelnde Synchronisation der Frequenz und das Zulassen einer Situation, in der Proben einer unvollständigen Periodenzahl FFT-Transformationen unterzogen würden, können zur Leckage des Spektrums führen. Dieses Phänomen hat zur Folge, dass das Band der Oberwellen durch mehrere benachbarte Bänder der Interharmonischen verwischt wird, was zu Datenverlust über die tatsächliche Höhe und Leistung des geprüften Bandes. Es wurde die Möglichkeit der Verwendung eines Fensters (Hann-Fenster) zugelassen, das die negativen Auswirkungen der spektralen Leckage reduziert, aber dies ist auf die Situationen beschränkt, in denen die PLL-Schleife die Synchronisierung verloren hat.

Die Norm EN 61000-4-7 spezifiziert die angeforderte Genauigkeit des Synchronisations-blocks. Dies ist wie folgt ausgedrückt: die Zeit zwischen der steigenden ersten Abtastimpuls und (M+1)-dieses Impulses (wobei M die Anzahl der Proben innerhalb des Messfensters ist) sollte der Laufzeit der angegebenen Anzahl der Perioden innerhalb des Fensters (10 oder 12) mit einer maximalen Fehlergrenze von $\pm 0,03\%$ entsprechen. Um dies auf einfache Weise zu erklären, betrachten wir das folgende Beispiel. Indem 256 Proben pro Periode und für eine Frequenz von 50Hz angenommen werden, beträgt das Messfenster 200 ms. Wenn der erste Abtastimpuls im Moment $t = 0$ erscheint, wird der erste Abtastimpuls des nächsten Messfensters im Moment $t = 200 \pm 0,06$ ms erscheinen. Diese $\pm 60 \mu\text{s}$ sind die zulässige Abweichung von der Abtastflanke. Die Norm definiert auch den minimalen Frequenzbereich, bei denen die obige Genauigkeit des Synchronisierungssystems eingehalten werden sollte und als $\pm 5\%$ der Nennfrequenz bestimmt wird, also 47,5...52,5 Hz und 57...63 Hz entsprechend für 50 Hz- und 60 Hz-Netze.

Ein weiteres Problem ist der Bereich der Werte der Eingangsspannung, unter der der PLL-Kreis korrekt funktionieren wird. Die Norm 61000-4-7 gibt hier keine spezifische Anleitung oder Anforderungen an. Hingegen die Norm 61000-4-30 bestimmt den Wertebereich der Versorgungsspannung, in der die metrologischen Parameter nicht verschlechtert werden und die Klasse A bestimmt sie auf 10%...150% U_{din} . Der Analysator PQM-707 erfüllt die obigen Anforderungen, bezüglich der Funktionsweise des PLL-Systems auch für die niedrigste unterstützte Nennspannung $U_{\text{nom}}=110\text{V}$, also bis ca. 10 V.

3.6 Frequenzmessung

Das Signal zur 10-sekündigen Messung der Frequenz wird aus dem Spannungskanal L1 entnommen. Dies ist das gleiche Signal, mit dem die PLL-Schleife synchronisiert wird. Das Signal L1 passiert den Bandpassfilter des 2-ten Grades, dessen Durchlaßbereich auf eine Frequenz von 40..70 Hz bestimmt wurde. Die Aufgabe dieses Filters ist es, die Oberwellen zu reduzieren. Dann wird aus dem gefilterten Verlauf ein Rechtecksignal gebildet. Während des 10-sekündigen Messintervalls wird die Anzahl der Perioden des Signals und deren Laufzeit zusammengezählt. Die 10-sekündigen Zeitabstände werden durch die Echtzeituhr bestimmt (jede Multiplizität von 10 Sekunden). Die Frequenz wird als Verhältnis der Anzahl der Perioden und der Laufzeit berechnet.

3.7 Methode der Messung der Komponenten der Oberwellen

Die Messung der Oberwellen wird gemäß den Empfehlungen der Norm EN 61000-4-7 durchgeführt.

Sie gibt die Methode der Berechnung der jeweiligen Komponenten der Oberwellen an.

Der gesamte Prozess besteht aus mehreren Phasen:

- Synchroner Abtastung (10/12 Perioden),
- FFT-Analyse (Fast Fourier Transform)
- Gruppierung.

Der FFT-Analyse wurde das 10/12-Perioden-Messfenster (ca. 200ms) unterzogen. Als Ergebnis erhalten wir eine Reihe von Spektralbändern mit einer Frequenz von 0Hz (DC) bis zur 40. Oberwellen (ca. 2,0 kHz für 50 Hz oder 2,4 kHz für 60 Hz). Der Abstand zwischen den Spektralbändern

resultiert aus der angenommenen Zeit des Messfensters und beträgt ca. 5 Hz.

Der Analysator PQM-707 sammelt 2048 Proben pro Messfenster (für 50 Hz und 60 Hz), somit werden die FFT-Anforderungen erfüllt, die besagen, dass die Anzahl der Proben, die transformiert wird, eine Potenz von 2 ist.

Es ist äußerst wichtig, eine konstante Synchronisation der Abtastfrequenz mit dem Netzrecht zu erhalten. FFT kann nur auf Daten angewendet werden, die eine gesamte Multiplizität der Netzperiode haben. Die Einhaltung dieser Bedingung ist notwendig, um die sog. spektrale Leckagen zu verringern, die die Informationen über die tatsächliche Stufe der Spektralbänder verzerrt. Der Analysator PQM-707 erfüllt diese Anforderungen, weil die Abtastfrequenz durch das System der Phasenschleife PLL stabilisiert wird.

Da die Frequenz des Netzes vorübergehenden Schwankungen unterliegen kann, sieht Norm vor, dass die Hauptbänder der Oberwellen zusammen mit den Bändern die in unmittelbarer Nähe liegen gruppiert werden. Der Grund dafür ist, dass die Energie der Komponenten sich teilweise zu den benachbarten zwischenharmonischen Komponenten bewegen kann.

Es wurden zwei Gruppierungsmethoden vorgesehen:

- harmonische Gruppe (es wird das Hauptband mit fünf oder sechs benachbarten zwischenharmonischen Komponenten gruppiert),
- Subharmonische (es wird das Hauptband und jeweils ein benachbartes Frequenzband gruppiert).

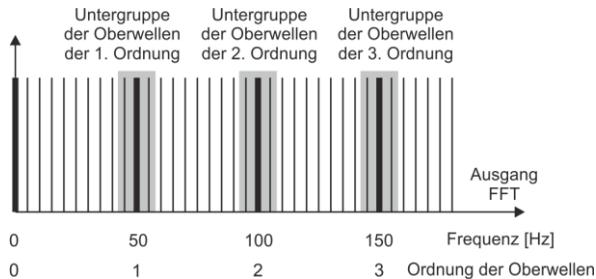


Abb. 48. Bestimmung von Subharmonischen (50 Hz-Netz).

EN 61000-4-30 empfiehlt, dass in Netzwerk-Analysatoren die Methode der Subharmonischen verwendet wird.

Beispiel

Um die Komponente der 3-ten Oberwellen in einem 50 Hz-Netz zu berechnen, müssen das Hauptfrequenzband 150 Hz und die benachbarten Bänder 145 Hz und 155 Hz unter Betracht gezogen werden. Die resultierende Amplitude wird über die RMS-Methode berechnet.

3.8 Erkennung von Ereignissen

Mit dem PQM-707 stehen eine Vielzahl von Optionen zur Ereigniserkennung in den Netzen zur Verfügung. Ein Ereignis tritt auf, sobald ein Parameterwert einen durch den Benutzer festgelegten Schwellenwert überschreitet.

Das aufgetretene Ereignis wird auf der Speicherkarte mit folgenden Einträgen aufgezeichnet:

- Parameterart
- Eingang des aufgetretenen Ereignisses
- Anfangs- u. Endzeit des Ereignisses
- Benutzerdefinierter Schwellenwert
- Parameter Extremwert, gemessen während des Ereignisses
- Parameter Durchschnittswert, gemessen während des Ereignisses

Abhängig von der Art des Parameters, können ein, zwei oder drei Schwellenwerte gesetzt werden, welche vom Analysator berücksichtigt werden. Die Tabelle unten zeigt alle zur Ereignisermittlung möglichen Parameter, inklusive der Art der Schwellenwerte.

Tab. 8. Schwellenwerte für Ereignisse

Parameter		Unterbrechung	Dip	Swell	Minimum	Maximum
U	RMS Spannung	•	•	•		
U _{DC}	DC Spannung					• ⁽¹⁾
I	RMS Spannung				•	•
I _{DC}	DC Spannung					• ⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾ nur in DC und DC+M Netzen

⁽²⁾ nur bei Verwendung von C-5(A) Zangen

Einige Parameter können positive und negative Werte haben. Beispiele hierfür sind DC Spannungen und Ströme.

Beispiel

Ereignisschwellenwert für DC Spannung wurde bei 100V festgelegt. Fällt die gemessene DC Spannung unter -100V wird auch ein Ereignis einer DC Spannungsüberschreitung erkannt.

Zwei Arten von Parametern, RMS Spannung und RMS Strom können Ereignisse erzeugen, welche es dem Benutzer erlauben auch Wellenformen aufzuzeichnen.

Der Analysator zeichnet die Wellenformen der aktiven Eingänge (Spannung und Strom) am Anfang und Ende des Ereignisses auf. In beiden Fällen werden sechs Perioden aufgezeichnet: zwei vor dem Start (Ende) des Ereignisses und vier nach Start (Ende). Die Wellenformen werden im 8-bit Format mit 10,24 kHz Aufnahme Frequenz aufgenommen.

In manchen Fällen kann es vorkommen, dass ein Ereignis noch aktiv ist, wenn die Aufnahme bereits gestoppt wurde. (z.B. Spannungseinbruch). Informationen dieser Art von Ereignissen, werden auch aufgezeichnet, jedoch mit folgenden Änderungen:

- Keine Ereignisendzeit
- Extremwert wird nur bis zum Aufnahmestop ermittelt
- Kein Durchschnittswert
- Nur Wellenform für Anfang des Ereignisses verfügbar

Um wiederholte Ereigniserkennungen zu verhindern, wenn der Parameterwert um den Schwellenwert schwingt, gibt es die benutzerdefinierte Funktion der Ereigniserkennungshysteresis. Diese wird in Prozent auf folgende Weise definiert:

- Bei RMS Spannungseignissen, ist dies der Prozentsatz des Nennspannungsbereiches (z.B. 2% von 230 V, ist 4,6 V)
- Bei RMS Stromereignissen, ist dies der Prozentsatz des Nennstrombereiches (z.B. bei C-4 Zangen und keinen Wandlern, ist die 2% Hysterese gleich $0,02 \times 1000 \text{ A} = 20 \text{ A}$)
- Für die restlichen Parameter, ist die Hysterese prozentual dem maximalen Schwellenwert spezifiziert (z.B. wurde der maximale Schwellenwert für DC Spannungen auf 100 V festgelegt, so liegt die Hysterese bei $0,02 \times 100 \text{ V} = 2 \text{ V}$).

3.9 Mittelungsmethoden der Parameter

Mittelungsmethoden der Parameter	
Parameter	Mittelungsmethode
Effektive Spannung	RMS
Gleichspannung, Gleichstrom	arithmetischer Mittelwert
Frequenz	arithmetischer Mittelwert
Scheitelfaktor U, I	arithmetischer Mittelwert
Symmetrische Komponenten U, I	RMS
Asymmetrie-Koeffizienten U, I	berechnet aus Durchschnittswerten der symmetrischen Komponenten
Effektiver Strom	RMS
Wirk-, Blind-, Scheinleistung, Leistung der Verzerrung	arithmetischer Mittelwert
Leistungsfaktor PF	errechnet aus den Mittelwerten der Leistung
$\cos\phi$	arithmetischer Mittelwert
$\tan\phi$	errechnet aus den Mittelwerten der Leistung
THD-F U, I	berechnet als das Verhältnis des mittleren Effektivwerts (RMS) der höheren Harmonischen zum mittleren Effektivwert (RMS) der Grundschwingung (für THD-F), oder das Verhältnis des durchschnittlichen RMS-Werts der höheren Harmonischen der Wirkspannung zum durchschnittlichen Wert der effektiven Spannung (für THD-R)
Amplituden der Oberwellen U, I	RMS

Achtung:

RMS Durchschnittswert wird nach folgender Formel berechnet:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2}$$

Der arithmetische Durchschnittswert (AVG) wird nach folgender Formel berechnet:

$$AVG = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

wobei:

- X_i ist der anschließende zu mittelnde Parameterwert
- N ist Anzahl der zu mittelnden Werte.

4 Berechnungsformeln

4.1 Einphasen-Netz

Einphasen-Netz			
Parameter			Berechnungsmethode
Bezeichnung	Kennzeichnung	Einheit	
Effektive Spannung (True RMS)	U_A	V	$U_A = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i^2}$ wo U_i die folgende Spannungsprobe ist U_{A-N} $M = 2048$
Konstante Komponente der Spannung	U_{ADC}	V	$U_{ADC} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i$ wo U_i die folgende Spannungsprobe ist U_{A-N} $M = 2048$
Frequenz	f	Hz	die Gesamtzahl der Perioden der Spannung U_{A-N} Während des 10-sekündigen Intervalls der Echtzeituhr, geteilt durch die Gesamtzeit der Laufzeit der vollen Perioden
Effektiver Strom (True RMS)	I_A	A	$I_A = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_i^2}$ wo I_i die folgende Stromprobe ist I_A $M = 2048$
Konstante Komponente des Stromes	I_{ADC}	A	$I_{ADC} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M I_i$ wo I_i die folgende Stromprobe ist I_A $M = 2048$
Wirkleistung	P	W	$P = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i I_i$ wo U_i die folgende Spannungsprobe ist U_{A-N} I_i die folgende Stromprobe ist I_A $M = 2048$
Blindleistung nach Budeanu	Q_B	var	$Q_B = \sum_{h=1}^{40} U_h I_h \sin \varphi_h$ wo U_h die h -te Oberwelle der Spannung U_{A-N} ist I_h ist die h -te Oberwelle des Stroms I_A φ_h ist der h -te Winkel zwischen den Oberwellen U_h und I_h
Blindleistung der Grundkomponente	Q_1	var	$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1$ wo U_1 die Grundkomponente der Spannung U_{A-N} ist I_1 ist die Grundkomponente der Spannung I_A φ_1 ist der Winkel zwischen den Grundkomponenten U_1 und I_1
Scheinleistung	S	VA	$S = U_{ARMS} I_{ARMS}$
Scheinleistung der Verzerrung	S_N	VA	$S_N = \sqrt{S^2 - (U_1 I_1)^2}$
Leistungen der Verzerrung nach Budeanu	D_B	var	$D_B = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_B^2}$

Leistungsfaktor	PF	-	$PF = \frac{P}{S}$ <p>Wenn $PF < 0$ hat die Belastung den Charakter eines Generators Wenn $PF > 0$ hat die Belastung den Charakter eines Empfängers</p>
Phasenverschiebungsfaktor	$\cos\varphi$ DPF	-	$\cos\varphi = DPF = \cos(\varphi_{U_1} - \varphi_{I_1})$ <p>wo φ_{U_1} der absolute Winkel der Grundkomponente der Spannung U_{A-N} ist φ_{I_1} ist der absolute Winkel der Grundkomponente des Stromes I_A</p>
Tangens φ	$tg\varphi$	-	$\tan\varphi = \frac{Q}{P}$ <p>wo: $Q = Q_B$ wenn die Budeanu-Methode gewählt wird, $Q = Q_I$ wenn die Methode IEEE 1459 gewählt wird</p>
Komponenten der Oberwellen der Spannung und des Stroms	U_{hx} I_{hx}	V A	Methode der harmonischen Untergruppen nach PN-EN 61000-4-7 x (Ordnung der Oberwelle) = 1..40
Klirrfaktor bezogen auf die grundlegende Komponente	$THDU_F$	-	$THDU_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}}{U_1} \times 100\%$ <p>wo U_h die h-te Oberwelle der Spannung U_{A-N} ist U_1 ist die Grundkomponente der Spannung U_{A-N}</p>
Klirrfaktor bezogen auf den Effektivwert	$THDU_R$	-	$THDU_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}}{U_{ARMS}} \times 100\%$ <p>wo U_h die h-te Oberwelle der Spannung U_{A-N} ist</p>
Klirrfaktor des Stromes bezogen auf die grundlegende Komponente	$THDI_F$	-	$THDI_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$ <p>wo I_h h-te Oberwelle des Stromes I_A ist I_1 ist die Grundspannung des Stromes I_A</p>
Klirrfaktor des Stromes bezogen auf den Effektivwert	$THDI_R$	-	$THDI_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_{ARMS}} \times 100\%$ <p>wo I_h h-te Oberwelle des Stromes I_A ist</p>
Scheitelfaktor der Spannung (Krest Faktor)	CFU	-	$CFU = \frac{\max U_i }{U_{ARMS}}$ <p>$\max U_i$ Wo der Operator den größten Wert unter den absoluten Werten der Spannungsproben U_{A-N} $i = 2048$</p>
Scheitelfaktor des Stromes	CFI	-	$CFI = \frac{\max I_i }{I_{ARMS}}$ <p>$\max I_i$ Wo der Operator den größten Wert unter den absoluten Werten der Stromproben I_A $i = 2048$</p>
Kurzfristiger Flickerfaktor	P_{st}	-	berechnet nach EN 61000-4-15
Langfristiger Flickerfaktor	P_{lt}	-	$P_{LT} = \frac{1}{3} \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} (P_{STI})^3}$ <p>wo P_{STI} der i-te kurzfristige Flickerfaktor ist</p>

4 Berechnungsformeln

<p>Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)</p>	E_{P+} E_{P-}	<p>Wh</p>	$E_{P+} = \sum_{i=1}^m P_+(i)T(i)$ $P_+(i) = \begin{cases} P(i) & \text{dla } P(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } P(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{P-} = \sum_{i=1}^m P_-(i)T(i)$ $P_-(i) = \begin{cases} P(i) & \text{dla } P(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } P(i) \geq 0 \end{cases}$ <p>wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters <i>P(i)</i> steht für die Wirkleistung <i>P</i>, die in dem <i>i</i>-ten Messfenster berechnet wurde <i>T(i)</i> steht für die Laufzeit des <i>i</i>-ten Messfensters in Stunden</p>
<p>Blindenergie nach Budeanu (aufgezeichnet und abgegeben)</p>	E_{QB+} E_{QB-}	<p>varh</p>	$E_{QB+} = \sum_{i=1}^m Q_{B+}(i)T(i)$ $Q_{B+}(i) = \begin{cases} Q_B(i) & \text{dla } Q_B(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } Q_B(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{QB-} = \sum_{i=1}^m Q_{B-}(i)T(i)$ $Q_{B-}(i) = \begin{cases} Q_B(i) & \text{dla } Q_B(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } Q_B(i) \geq 0 \end{cases}$ <p>wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters <i>Q_B(i)</i> steht für den Wert der Blindleistung nach Budeanu <i>Q_B</i> der in dem <i>i</i>-ten Messfenster berechnet wurde <i>T(i)</i> steht für die Laufzeit des <i>i</i>-ten Messfensters in Stunden</p>
<p>Blindleistung der Grundkomponente (aufgezeichnet und abgegeben)</p>	E_{Q1+} E_{Q1-}	<p>varh</p>	$E_{Q1+} = \sum_{i=1}^m Q_{1+}(i)T(i)$ $Q_{1+}(i) = \begin{cases} Q_1(i) & \text{dla } Q_1(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } Q_1(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{Q1-} = \sum_{i=1}^m Q_{1-}(i)T(i)$ $Q_{1-}(i) = \begin{cases} Q_1(i) & \text{dla } Q_1(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } Q_1(i) \geq 0 \end{cases}$ <p>wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters <i>Q₁(i)</i> steht für den Wert der Blindleistung der Grundkomponente <i>Q₁</i>, der in dem <i>i</i>-ten Messfenster berechnet wurde <i>T(i)</i> steht für die Laufzeit des <i>i</i>-ten Messfensters in Stunden</p>

Scheinenergie	E_S	VAh	$E_S = \sum_{i=1}^m S(i)T(i)$ wo: i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $S(i)$ steht für den Wert der Scheinleistung S , der in dem i -ten Messfenster berechnet wurde $T(i)$ steht für die Laufzeit des i -ten Messfensters in Stunden
---------------	-------	-----	--

4.2 Zweiphasennetz

Zweiphasennetz (nicht erwähnte Parameter, die wie für ein Einphasennetz berechnet werden)			
Parameter			Berechnungsmethode
Bezeichnung	Kennzeichnung	Einheit	
Gesamte Wirkleistung	P_{tot}	W	$P_{tot} = P_A + P_B$
Gesamte Blindleistung nach Budeanu	Q_{Btot}	var	$Q_{Btot} = Q_{BA} + Q_{BB}$
Gesamte Blindleistung der Grundkomponente	Q_{1tot}	var	$Q_{1tot} = Q_{1A} + Q_{1B}$
Gesamte Scheinleistung	S_{tot}	VA	$S_{tot} = S_A + S_B$
Gesamte Scheinleistung der Verzerrung	S_{Ntot}	VA	$S_{Ntot} = S_{NA} + S_{NB}$
Gesamte Leistung der Verzerrung nach Budeanu	D_{Btot}	var	$D_{Btot} = D_{BA} + D_{BB}$
Gesamter Leistungsfaktor	PF_{tot}	-	$PF_{tot} = \frac{P_{tot}}{S_{tot}}$
Gesamter Phasenverschiebungsfaktor	$\cos\varphi_{tot}$ DPF_{tot}	-	$\cos\varphi_{tot} = DPF_{tot} = \frac{1}{2}(\cos\varphi_A + \cos\varphi_B)$
Gesamter Tangens φ	$\tan\varphi_{tot}$	-	$\tan\varphi_{tot} = \frac{Q_{tot}}{P_{tot}}$ wo: $Q_{tot} = Q_{Btot}$ wenn die Budeanu-Methode gewählt wird, $Q_{tot} = Q_{1tot}$ wenn die Methode IEEE 1459 gewählt wird
Gesamte Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	E_{P+tot} E_{P-tot}	Wh	$E_{P+tot} = \sum_{i=1}^m P_{tot+}(i)T(i)$ $P_{tot+}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{dla } P_{tot}(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } P_{tot}(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{P-tot} = \sum_{i=1}^m P_{tot-}(i)T(i)$ $P_{tot-}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{dla } P_{tot}(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } P_{tot}(i) \geq 0 \end{cases}$ wo: i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $P_{tot}(i)$ steht für die Wirkleistung P_{tot} , die in dem i -ten Messfenster berechnet wurde $T(i)$ steht für die Laufzeit des i -ten Messfensters in Stunden

4 Berechnungsformeln

<p>Gesamte Blindenergie nach Budeanu (aufgezeichnet und abgegeben)</p>	E_{QB+tot} E_{QB-tot}	<p>varh</p>	$E_{QB+tot} = \sum_{i=1}^m Q_{Btot+}(i)T(i)$ $Q_{Btot+}(i) = \begin{cases} Q_{Btot}(i) & \text{dla } Q_{Btot}(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } Q_{Btot}(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{QB-tot} = \sum_{i=1}^m Q_{Btot-}(i)T(i)$ $Q_{Btot-}(i) = \begin{cases} Q_{Btot}(i) & \text{dla } Q_{Btot}(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } Q_{Btot}(i) \geq 0 \end{cases}$ <p>wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $Q_{Btot}(i)$ steht für die Wirkleistung Q_{Btot}, die in dem <i>i</i>-ten Messfenster berechnet wurde $T(i)$ steht für die Laufzeit des <i>i</i>-ten Messfensters in Stunden</p>
<p>Gesamte Blindenergie der Grundkomponente (aufgezeichnet und abgegeben)</p>	E_{Q1+tot} E_{Q1-tot}	<p>varh</p>	$E_{Q1+tot} = \sum_{i=1}^m Q_{1tot+}(i)T(i)$ $Q_{1tot+}(i) = \begin{cases} Q_{1tot}(i) & \text{dla } Q_{1tot}(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } Q_{1tot}(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{Q1-tot} = \sum_{i=1}^m Q_{1tot-}(i)T(i)$ $Q_{1tot-}(i) = \begin{cases} Q_{1tot}(i) & \text{dla } Q_{1tot}(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } Q_{1tot}(i) \geq 0 \end{cases}$ <p>wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $Q_{1tot}(i)$ steht für den Wert der Blindleistung der Grundkomponente Q_{1tot}, der in dem <i>i</i>-ten Messfenster berechnet wurde $T(i)$ steht für die Laufzeit des <i>i</i>-ten Messfensters in Stunden</p>
<p>Gesamte Scheinenergie</p>	E_{Stot}	<p>VAh</p>	$E_{Stot} = \sum_{i=1}^m S_{tot}(i)T(i)$ <p>wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $S_{tot}(i)$ steht für den Wert der Scheinleistung S_{tot}, der in dem <i>i</i>-ten Messfenster berechnet wurde $T(i)$ steht für die Laufzeit des <i>i</i>-ten Messfensters in Stunden</p>

4.3 3-Phasen 4-Leiter Netzwerk

3-Phasen 4-Leiter Netzwerk			
(nicht erwähnte Parameter, die wie für ein Einphasennetz berechnet werden)			
Parameter			Berechnungsmethode
Bezeichnung	Kennzeichnung	Einheit	
Gesamte Wirkleistung	P_{tot}	W	$P_{tot} = P_A + P_B + P_C$
Gesamte Blindleistung nach Budeanu	Q_{Btot}	var	$Q_{Btot} = Q_{BA} + Q_{BB} + Q_{BC}$
Gesamte Blindleistung nach IEEE 1459	Q_1^+	var	$Q_1^+ = 3U_1^+ I_1^+ \sin \varphi_1^+$ wo: U_1^+ ist die Gleichkomponente der Spannung (der Grundkomponente) I_1^+ ist die Gleichkomponente des Stromes (der Grundkomponente) φ_1^+ ist der Winkel zwischen den Komponenten U_1^+ i I_1^+
Effektive Scheinleistung	S_e	VA	$S_e = 3U_e I_e$ wo: $U_e = \sqrt{\frac{3(U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) + U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2}{18}}$ $I_e = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_N^2}{3}}$
Effektive Scheinleistung der Verzerrung	S_{eN}	VA	$S_{eN} = \sqrt{S_e^2 + S_{e1}^2}$ wo: $S_{e1} = 3U_{e1} I_{e1}$ $U_{e1} = \sqrt{\frac{3(U_{A1}^2 + U_{B1}^2 + U_{C1}^2) + U_{AB1}^2 + U_{BC1}^2 + U_{CA1}^2}{18}}$ $I_{e1} = \sqrt{\frac{I_{A1}^2 + I_{B1}^2 + I_{C1}^2 + I_{N1}^2}{3}}$
Gesamte Leistung der Verzerrung nach Budeanu	D_{Btot}	var	$D_{Btot} = D_{BA} + D_{BB} + D_{BC}$
Gesamter Leistungsfaktor	PF_{tot}	-	$PF_{tot} = \frac{P_{tot}}{S_e}$
Gesamter Phasenverschiebungsfaktor	$\cos \varphi_{tot}$ DPF_{tot}	-	$\cos \varphi_{tot} = DPF_{tot} = \frac{1}{3} (\cos \varphi_A + \cos \varphi_B + \cos \varphi_C)$
Gesamter Tangens φ	$tg \varphi_{tot}$	-	$tg \varphi_{tot} = \frac{Q_{tot}}{P_{tot}}$ wo: $Q_{tot} = Q_{Btot}$ wenn die Budeanu-Methode gewählt wird, $Q_{tot} = Q_{1tot}$ wenn die Methode IEEE 1459 gewählt wird
Gesamte Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	E_{P+tot} E_{P-tot}	Wh	wie für ein Zweiphasennetz berechnet werden

4 Berechnungsformeln

Gesamte Blindenergie nach Budeanu (aufgezeichnet und abgegeben)	$\frac{E_{QB+tot}}{E_{QB-tot}}$	varh	wie für ein Zweiphasennetz berechnet werden
Gesamte Blindenergie der Grundkomponente (aufgezeichnet und abgegeben)	$\frac{E_{Q1+tot}}{E_{Q1-tot}}$	varh	wie für ein Zweiphasennetz berechnet werden
Gesamte Scheinenergie	E_{Stot}	VAh	$E_{Stot} = \sum_{i=1}^m S_e(i)T(i)$ wo: i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $S_e(i)$ steht für den Effektivwert der Scheinleistung S_e berechnet in dem i -ten Messfenster $T(i)$ steht für die Laufzeit des i -ten Messfensters in Stunden
Effektivwert der Nullkomponente der Spannung	U_0	V	$\underline{U}_0 = \frac{1}{3}(\underline{U}_{A1} + \underline{U}_{B1} + \underline{U}_{C1})$ $U_0 = \text{mag}(\underline{U}_0)$ wo \underline{U}_{A1} , \underline{U}_{B1} , \underline{U}_{C1} die Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen sind U_A , U_B , U_C Operator $\text{mag}()$ bezeichnet den Modul des Vektors
Effektivwert der Gleichkomponente der Spannung	U_1	V	$\underline{U}_1 = \frac{1}{3}(\underline{U}_{A1} + a\underline{U}_{B1} + a^2\underline{U}_{C1})$ $U_1 = \text{mag}(\underline{U}_1)$ wo \underline{U}_{A1} , \underline{U}_{B1} , \underline{U}_{C1} die Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen sind U_A , U_B , U_C Operator $\text{mag}()$ bezeichnet den Modul des Vektors $a = 1e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j$ $a^2 = 1e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j$
Effektivwert der Gegenkomponente der Spannung	U_2	V	$\underline{U}_2 = \frac{1}{3}(\underline{U}_{A1} + a^2\underline{U}_{B1} + a\underline{U}_{C1})$ $U_2 = \text{mag}(\underline{U}_2)$ wo \underline{U}_{A1} , \underline{U}_{B1} , \underline{U}_{C1} die Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen sind U_A , U_B , U_C Operator $\text{mag}()$ bezeichnet den Modul des Vektors $a = 1e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j$ $a^2 = 1e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j$
Unsymmetriefaktor der Spannung der Nullkomponente	u_0	%	$u_0 = \frac{U_0}{U_1} \cdot 100\%$
Unsymmetriefaktor der Spannung Gegenkomponente	u_2	%	$u_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\%$

Konstante Komponente des Stromes	I_0	A	$I_0 = \frac{1}{3}(I_{A1} + I_{B1} + I_{C1})$ $I_0 = \text{mag}(I_0)$ wo I_{A1}, I_{B1}, I_{C1} die Vektoren der Grundkomponenten der Phasenströme I_A, I_B, I_C sind Operator $\text{mag}()$ bezeichnet den Modul des Vektors
Effektivwert der Gleichkomponente des Stromes	I_1	A	$I_1 = \frac{1}{3}(I_{A1} + aI_{B1} + a^2I_{C1})$ $I_1 = \text{mag}(I_1)$ Wo I_{A1}, I_{B1}, I_{C1} die Vektoren der Grundkomponenten der Ströme I_A, I_B, I_C sind Operator $\text{mag}()$ bezeichnet den Modul des Vektors
Effektivwert der Gegenkomponente des Stromes	I_2	A	$I_2 = \frac{1}{3}(I_{A1} + a^2I_{B1} + aI_{C1})$ $I_2 = \text{mag}(I_2)$ wo I_{A1}, I_{B1}, I_{C1} die Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen I_A, I_B, I_C sind Operator $\text{mag}()$ bezeichnet den Modul des Vektors
Unsymmetriefaktor des Stromes der Nullkomponente	i_0	%	$i_0 = \frac{I_0}{I_1} \cdot 100\%$
Unsymmetriefaktor des Stromes der Gegenkomponente	i_2	%	$i_2 = \frac{I_2}{I_1} \cdot 100\%$

4.4 3-Phasen 3-Leiter Netzwerk

3-Phasen 3-Leiter Netzwerk			
(Parameter: Wirkspannung und -strom, konstante Komponenten der Spannungen und Ströme, THD- und Flickerfaktoren werden wie für einphasige Stromkreise berechnet, symmetrische Komponenten und Unsymmetriefaktoren werden wie für 3-Phasen 3-Leiter Netzwerk berechnet)			
Parameter			Berechnungsmethode
Bezeichnung	Kennzeichnung	Einheit	
Leiterspannung U_{XY}	U_{XY}	V	$U_{XY} = U_{X,PE} - U_{Y,PE}$ wo: U_{XY} ist phase-zu-phase Spannung (U_{12}, U_{23}, U_{31})
Strom I_2 (Aron-Messsysteme)	I_2	A	$I_2 = -(I_1 + I_3)$
Gesamte Wirkleistung	P_{tot}	W	$P_{tot} = \frac{1}{M} \left(\sum_{i=1}^M U_{iAC} I_{iA} + \sum_{i=1}^M U_{iBC} I_{iB} \right)$ wo: U_{iAC} ist die folgende Spannungsprobe U_{A-C} U_{iBC} ist die folgende Spannungsprobe U_{B-C} I_{iA} ist die folgende Stromprobe I_A I_{iB} ist die folgende Stromprobe I_B $M = 2048$

4 Berechnungsformeln

Gesamte Scheinleistung	S_e	VA	$S_e = 3U_e I_e$ <p>wo:</p> $U_e = \sqrt{\frac{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2}{9}}$ $I_e = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{3}}$
Gesamte Blindleistung (Budeanu und IEEE 1459)	Q_{Btot}	var	$Q = N = \sqrt{S_e^2 - P^2}$
Gesamte Leistung der Verzerrung nach Budeanu	D_{Btot}	var	$D_{Btot} = 0$
Effektive Scheinleistung der Verzerrung	S_{eN}	VA	$S_{eN} = \sqrt{S_e^2 + S_{e1}^2}$ <p>wo:</p> $S_{e1} = 3U_{e1} I_{e1}$ $U_{e1} = \sqrt{\frac{U_{AB1}^2 + U_{BC1}^2 + U_{CA1}^2}{9}}$ $I_{e1} = \sqrt{\frac{I_{A1}^2 + I_{B1}^2 + I_{C1}^2}{3}}$
Gesamter Leistungsfaktor	PF_{tot}	-	$PF_{tot} = \frac{P_{tot}}{S_e}$
Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	E_{P+tot} E_{P-tot}	Wh	$E_{P+tot} = \sum_{i=1}^m P_{+tot}(i)T(i)$ $P_{+tot}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{dla } P_{tot}(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } P_{tot}(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{P-tot} = \sum_{i=1}^m P_{-tot}(i)T(i)$ $P_{-tot}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{dla } P_{tot}(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } P_{tot}(i) \geq 0 \end{cases}$ <p>wo:</p> <p>i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters</p> <p>$P_{tot}(i)$ steht für den Gesamtwert der Scheinleistung P_{tot} berechnet in dem i-ten Messfenster</p> <p>$T(i)$ steht für die Laufzeit des i-ten Messfensters in Stunden</p>
Gesamte Scheinenergie	E_{Stot}	VAh	$E_{Stot} = \sum_{i=1}^m S_e(i)T(i)$ <p>wo:</p> <p>i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters</p> <p>$S_e(i)$ steht für den Gesamtwert der Scheinleistung S_e berechnet in dem i-ten Messfenster</p> <p>$T(i)$ steht für die Laufzeit des i-ten Messfensters in Stunden</p>

5 Qualität der Stromversorgung – Leitfaden

5.1 Allgemeine Informationen

Die Messmethodik für Netzqualitätsanalysatoren ist in der Norm EN 61000-4-30 spezifiziert. Diese Norm, hat dadurch, dass sie strenge Messalgorithmen eingeführt hat, den Markt Analysatoren sortiert, so dass eine bessere Vergleichbarkeit der Messergebnisse und der Kompatibilität zwischen den Analysatoren von verschiedenen Herstellern gewährleistet ist. Zuvor hatten diese Geräte verschiedene Algorithmen verwendet, deshalb waren die Messergebnisse desselben Objekts mit verschiedenen Geräten oftmals unterschiedlich.

Faktoren, die eine Steigerung des Interesses in Fragen verbunden mit der Stromversorgungsqualität waren u.a. die Verbreitung elektronischer Steuergeräte, DC/DC-Wandler und Schaltnetzteile, Energiesparlampen usw., also des breiten Bereichs der Energieumwandlung. Diese Geräte neigten dazu die Stromverläufe zu verformen.

Schaltnetzteile (allgemein im Haushalt und in industriellen Anwendungen eingesetzt) sind meistens so aufgebaut, dass die Netzwechselfrequenz gleichgerichtet wird mithilfe von Kondensatoren, also in Gleichstrom (DC) umgewandelt, um danach mit hoher Frequenz und Effizienz in Ausgangsspannung von gewünschtem Wert umgewandelt werden. Diese Lösung hat jedoch unerwünschte Nebenwirkung. Die Ladung der Glättungskondensatoren erfolgt durch Stromspitzen, wenn die Netzspannung nahe des maximalen Wertes ist. Aus der Leistungsbilanz geht hervor, dass wenn die Stromaufnahme nur in kurzen Zeitabschnitten stattfindet, der Strom einen viel höheren Maximalwert haben muss, im Vergleich zur kontinuierlichen Aufzeichnung. Das große Verhältnis des Maximalwerts des Stromes zum effektiven Wert (der sog. Scheitelfaktor) und die Verringerung des Leistungsfaktors (eng. *Power Factor*, *PF*) haben zur Folge, dass um eine bestimmte Wirkleistung im Empfänger zu erhalten (in Watt), der Energielieferant eine höhere Leistung liefern muss, als die Wirkleistung des Empfängers (die ist die sog. Scheinleistung, die in Volt-Ampere ausgegeben wird, VA). Der kleine Leistungsfaktor hat zur Folge, dass die Kabel stärker belastet werden und die Kosten des Energietransports steigen. Die dabei erscheinenden Oberwellen Komponenten im Versorgungsstrom sind die Quelle zusätzlicher Probleme. Daraufhin haben die Stromlieferanten Abnehmern, die nicht einen entsprechend hohen Leistungsfaktor sichergestellt haben, Geldstrafen auferlegt haben.

Potenziell an Energiequalitätsanalysatoren können einerseits Energieversorgungsunternehmen sein, die mithilfe der Analysatoren Ihre Abnehmer kontrollieren können und andererseits Energieabnehmer, die mithilfe eines solchen Geräts einen niedrigen Leistungsfaktor und andere Probleme, die mit der Energiequalität zu tun haben, entdecken und Abhilfe schaffen können.

Die Qualitätsparameter der Stromquelle, und die energetischen Eigenschaften der Empfänger werden durch verschiedene Größen und Zeiger beschrieben. Diese Studie kann diesen Bereich eine wenig erklären.

Wie bereits erwähnt, hat die fehlende Standardisierung der Messverfahren hat erhebliche Unterschiede in den durch verschiedene Geräte berechneten Werten der verschiedenen Parameter des Netzwerks verursacht. Die aus dem Bemühungen vieler Ingenieure resultierende Norm EN 61000-4-30 war das erste Dokument, in dem sehr genaue Methoden, mathematische und erforderliche Messgenauigkeiten für Stromnetzqualitätsanalysatoren angegeben wurden. Die Einhaltung der Norm (insbesondere mit der Klasse A) sollte das Erhalten von wiederholbaren und nahezu identischen Messergebnissen derselben Größen, die mit Geräten verschiedener Hersteller gemessen wurden, gewährleisten.

5.1.1 Harte Zangen (CT) zur Messung von Wechselstrom (AC)

Harte Zangen des Typs CT (eng. *Current Transformer Clamps*) sind ein Transformator, der den Hochstrom der Primärwicklung in einen niedrigeren in der Sekundärwicklung umwandelt. Typische Stromzangenbacken sind aus einem Material mit ferromagnetischen Eigenschaften (z.B. Eisen) mit einer Sekundärwicklung gemacht. Die Primärwicklung besteht aus einem Kabel, um den die Zangenbacken geklemmt werden, also in der Regel aus einer einzigen Wicklung. Wenn jetzt durch die geprüfte Leitung Strom mit einem Wert von 1000 Amperen fließt, wird in der Sekundärwicklung mit 1000 Windungen Strom mit einem Wert von 1 A fließen (vorausgesetzt es ist ein geschlossener Stromkreis). In Zangen mit Spannungsausgang befindet sich der Neben-Widerstand in den Zangen.

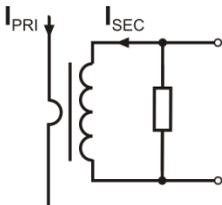


Abb. 49. Harte Zangen mit Spannungsausgang

Diese Art eines Stromwandlers hat mehrere Merkmale. Es kann mit ihm Strom mit einem sehr hohen Wert gemessen werden, und gleichzeitig ist sein Stromverbrauch sehr gering. Magnetisierungsstrom ist der Grund für die Verschiebung der Phase (Zehntelgrad), was zu einem Messfehler führen kann (vor allem bei einem niedrigem Leistungsfaktor). Ein Nachteil dieser Zangen ist auch die Sättigung des Kerns bei der Messung von sehr hohem Strom (über dem Nennbereich). Die Sättigung des Kerns aufgrund der Hysterese der Magnetisierung hat Messfehler zur Folge, die nur durch die Entmagnetisierung eliminiert werden kann. Auch in einer Situation, in der der gemessene Strom eine erheblichen DC-Komponente enthält, wird der Kern gesättigt. Ein weiterer Teil der harten Zangen ist auch deren hohes Gewicht.

Trotz dieser Nachteile sind die Zangen des Typs CT derzeit die wahrscheinlich am weitesten verbreitete nicht-invasive Methode zur Messung von Wechselstrom (AC).

Es können folgende CT-Zangen zur Messung von Wechselstrom mit dem Gerät PQM-707 verwendet werden:

- C-4(A), mit einem Nennbereich von 1000 A AC,
- C-6(A), mit einem Nennbereich von 10 A AC,
- C-7(A), mit einem Nennbereich von 100 A AC,

5.1.2 Zangen zur Messung von Wechselstrom und Gleichstrom (AC/DC)

In manchen Situationen ist es nötig, die konstante Komponente des Stromes zu messen. Zu diesem Zweck müssen Zangen mit einem anderen Wirkprinzip, als ein traditioneller Stromwandler verwendet werden. Solche Zangen verwenden das physikalische Phänomen namens Hall-Effekt und beinhalten in ihrer Konstruktion einen Hall-Sensor (sog. Hallotron). Kurz gesagt, besteht dieser Effekt auf dem Auftreten einer elektrischen Spannung an den Wänden der Leitung, durch die der Strom fließt und der sich zusätzlich im Magnetfeld mit Querrichtung zum Induktionsvektor des Feldes befindet.

Stromzangen, die dieses Phänomen verwenden, können sowohl die Wechselstromkomponente des Stromes und die konstante Komponente messen. Der Leiter mit Strom in den Zangen erzeugt ein Magnetfeld, das in dem Eisenkern konzentriert ist. Im Spalt dieses Kerns, dort, wo sich die Zangenbacken verbinden, befindet sich ein Halbleiter-Hall-Sensor und die Ausgangsspannung dieses Sensors wird durch das batterieversorgte elektronische System verstärkt.

Die Zangen dieser Art haben meistens einen Nullstromregler. Um den Nullstrom einzustellen müssen die Zangenbacken geschlossen werden (ohne einen Leiter zwischen ihnen) und das Einstellrad bis zum Erhalten eines Nullwerts für die Gleichstromanzeige drehen.

Derzeit werden von Sonel S.A. die Zangen C-5(A) mit einem Nennbereich von 1000 A AC / 1400 A DC angeboten. Diese Zangen haben einen Spannungsausgang und für einen Nennstrom von 1000 A beträgt die Spannung 1 V (1 mV/A).

5.1.3 Flexible Zangen (biegsam)

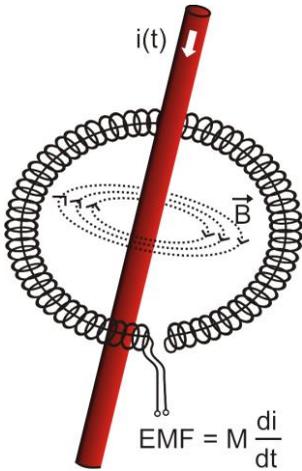


Abb. 50. Rogowski-Spule

Flexible Zangen (eng. *Flexible Current Probes*) haben eine vollkommen andere Funktionsweise, als ein Stromwandler. Ihr wichtigstes Teil ist die sog. Rogowski-Spule, die nach dem deutschen Physiker Walter Rogowski benannt wurde. Diese Spule ist eine Luftspule, die um einen Leiter mit Strom gewickelt ist. Der spezielle Aufbau der Spule erlaubt die Ausführung beider Enden an einer Seite, was so einen einfachen Anschluss der Zangen an den Leiter ermöglicht (das rückkehrende Endstück wurde auf der ganzen Länge in der Spule platziert). Der Strom der durch den gemessenen Leiter fließt, erzeugt zentrische Linien des Magnetfelds, die das Phänomen der eigenen Induktion nutzen, um die elektromotorische Kraft an den Enden der Spule zu induzieren. Jedoch ist die Spannung proportional zur Geschwindigkeit des Stromwechsels im Leiter und nicht zum Strom.

Die Rogowski-Spule hat einige unbestreitbare Vorteile gegenüber Stromtransformatoren. Weil Sie keinen Kern hat, unterliegt sie nicht dem Phänomen der Sättigung; deshalb eignet sie sich hervorragend zur Messung von Strom mit einem hohen Wert. Eine solche Spule hat auch eine hervorragende Linearität und hohe Bandbreite, viel größer als bei Stromtransformatoren, und im

Vergleich mit ihnen ist sie auch viel leichter.

Jedoch bis vor kurzem hatten flexible Zangen Schwierigkeiten mit der Verbreitung im Bereich der Strommessung. Tatsächlich gibt es einige Faktoren, die die praktische Umsetzung des Messsystems mit Rogowski-Spulen behindern. Einer von ihnen ist die sehr niedrige Spannung, die an den Zangen induziert wird (sie ist von den geometrischen Abmessungen der Spule abhängig). Beispielsweise beträgt die Ausgangsspannung der flexiblen Zangen der Serie F (zum Gebrauch mit dem Gerät PQM-707) für eine Frequenz von 50 Hz ca. $45 \mu\text{V/A}$. Solche niedrigen Spannungswerte verlangen die Verwendung von präzisen Verstärkern mit niedrigem Rauschen, die die Kosten selbstverständlich steigern.

Weil die Ausgangsspannung proportional zur Ableitung des Stromes ist, ist es notwendig ein integrierendes System zu verwenden; meistens werden flexible Zangen verkauft, die aus einer Rogowski-Spule mit einem analogen Integratorsystem verbunden sind (charakteristisches, batteriebetriebenes Modul). Am Ausgang des Integrators ist bereits ein Spannungssignal, das proportional zum gemessenen Strom ist und entsprechend skaliert ist (z.B. 1 mV/A).

Ein weiteres Problem, das mit der Anwendung einer Rogowski-Spule verbunden ist, ist die Empfindlichkeit auf äußere Magnetfelder. Die Perfekte Spule sollte nur auf ein Feld, das im Bereich der Spule eingeschlossen ist, empfindlich sein und äußere Magnetfelder vollständig unterdrücken. Aber es stellt sich heraus, dass dies eine sehr schwierige Aufgabe ist. Der einzige Weg, solche Eigenschaften zu erhalten, ist eine sehr präzise Ausführung der Spule mit vollkommen homogenen Wicklungen und möglichst niedriger Impedanz. Die hohe Präzision der Wicklung der Spule ist Grund für den relativ hohen Preis solcher Zangen.

Zusammen mit dem Analysator PQM-707 können folgende flexible Zangen aus dem Angebot von Sonel S.A. verwendet werden:

- F-1(A), mit einem Spulenumfang von 120 cm,
- F-2(A), mit einem Spulenumfang von 80 cm,
- F-3(A), mit einem Spulenumfang von 45 cm.

Alle erwähnten Zangen haben dieselben elektrischen Parameter. Der Spitzenstrom, der nach Anschluss an das Gerät PQM-707 gemessen werden kann, beträgt 10 kA (diese Einschränkung ergibt sich aus den Eigenschaften der Eingangsstromwege, und nicht aufgrund der Eigenschaften der Zangen).

5.2 Flimmern (Flicker)

Das englische Wort *flicker* bedeutet Flimmern. In Bezug auf die Fragen im Zusammenhang mit der Energiequalität bedeutet es ein Phänomen der periodischen Veränderungen der Lichtintensität aufgrund von Änderungen in der Spannung, die die Glühlampen versorgt.

Die Funktion zur Messung der Flimmerns wurde in Energiequalitäts-Analysatoren eingeführt, als sich herausstellte, dass diese Erscheinung eine Verschlechterung des Befindens, Reizbarkeit und manchmal Kopfschmerzen usw. verursacht. Das Flimmern der Lichtintensität muss eine entsprechende Frequenz haben, es darf nicht zu langsam sein, weil die Pupille des Menschen sich an die Lichtintensitätsänderung gewöhnt, es darf auch nicht zu schnell sein, weil dann der Glühwendel diese Änderungen vollkommen nivelliert.

Studien bewiesen, dass die meisten Beschwerden bei einer Frequenz von ca. 9 Änderungen pro Sekunde auftreten. Die sensibelsten Lichtquellen sind traditionelle Glühbirnen mit einem Wolframfaden. Halogenlampen, deren Faden einen viel höhere Temperatur haben, als die bei herkömmlichen Glühbirnen, haben auch eine viel höhere Trägheit, die die Helligkeitswahrnehmung verringert. Den besten "Widerstand" gegen Flimmern haben Leuchtstofflampen, deren Besonderheiten den durch die Lampe fließenden Strom bei Spannungsänderungen stabilisieren und dadurch auch die Schwankungen der Lichtstärke verringern.

Der Flicker wird in sog. Wahrnehmungseinheiten gemessen, es wurden zwei Arten unterschieden: kurzfristige P_{st} (eng. *short term*), deren Wert alle 10 Minuten bestimmt wird, und langfristige P_{lt} (eng. *long term*), deren Wert aufgrund der nächsten 12 Werte P_{st} , also 2 Stunden, berechnet wird. Eine lange Messzeit ist direkt auf den sich langsam ändernden Charakter zurückzuführen – um eine verlässliche Probe zu erhalten, muss die jeweilige Messung lang sein. P_{st} gleich 1 wird als Grenzwert des Reizes angesehen – selbstverständlich ist die Empfindlichkeit auf Lichtschwankungen bei verschiedenen Personen unterschiedlich; die Annahme dieses Grenzwertes ist auf Tests, die auf einer Gruppe von Menschen durchgeführt wurden zurückzuführen.

Und was ist die Ursache des Flimmerns? Die häufigste Ursache ist der Spannungsabfall aufgrund des Ein- und Ausschaltens von Belastungen mit hoher Leistung und eine gewisses Flimmern ist in den meisten Stromversorgungsnetzen vorhanden. Abgesehen vom negativen Einfluss auf Menschen – und kann es – muss es aber nicht - ein Zeichen für Probleme des Netzwerks sein. Aber wenn eine plötzliche und unerklärliche Steigerung des Flimmerns zu beobachten ist (also eine Steigung der Faktoren P_{st} und P_{lt}) sollte dies keinesfalls ignoriert werden. Es kann nämlich vorkommen, dass das Flimmern aufgrund unsicherer Verbindungen im Netz entsteht – die gesteigerten Spannungen an den Verbindungen im Schaltschrank (beispielsweise) haben das Flimmern solcher Empfänger wie z.B. Glühbirnen zur Folge. Abfälle an den Verbindungen haben gleichzeitig ihre Erwärmung zur Folge, und letztendlich die Funkenbildung und ein mögliches Feuer. Regelmäßige Prüfungen des Netzes und die beschriebenen Symptome können unsere Aufmerksamkeit wecken, wodurch die Quelle der Gefahr erkannt werden sollte.

5.3 Leistungsmessung

Die Leistung ist einer der wichtigsten Parameter, der die energetischen Eigenschaften der Stromkreise bestimmt. Die grundlegende Größe, die zur Berechnung der Finanzen zwischen Lieferanten und Abnehmern verwendet wird, ist elektrische Energie, die das Produkt aus Leistung und Zeit ist.

In der Elektrotechnik können verschiedene Leistungsarten erkannt werden:

- Wirkleistung (eng. *Active Power*) mit dem Buchstaben P gekennzeichnet und in Watt gemessen,
- Blindleistung (eng. *Reactive Power*) mit Q gekennzeichnet, Einheit var,
- Scheinleistung (eng. *Apparent Power*) S, Einheit VA.

Die erwähnten drei Leistungsarten sind die am meisten bekanntesten, aber dies bedeutet nicht, dass sie die einzigen sind.

In Schulen wird gelehrt, dass die erwähnten Leistungen ein sog. Leistungsdreieck bilden, deren Eigenschaften die Gleichung ausdrückt:

$$P^2 + Q^2 = S^2$$

Diese Gleichung ist nur für Kreise mit sinusförmigen Strom- und Spannungsverläufen gültig.

Bevor eine detaillierte Beschreibung der Fragen, die mit der Leistungsmessung verbunden sind, vorgenommen wird, müssen als erstes die jeweiligen Leistungen definiert werden.

5.3.1 Wirkleistung

Die Wirkleistung P ist eine Größe im physikalischen Sinne und sie drückt die Fähigkeit des Kreises zur Ausführung einer bestimmten Arbeit aus. Diese Leistung wird am meisten von den Abnehmern begehrt, und für die gelieferte Wirkleistung zahlt der Kunde dem Energielieferanten (separat wurde das Problem der Entgelte für die zusätzliche Blindleistung beschrieben – siehe unten). Es ist die Wirkleistung (und damit die Wirkenergie) die vom Stromzähler in jedem Haushalt gemessen wird.

Die Grundformel für die Berechnung der Wirkleistung ist wie folgt:

$$P = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} u(t)i(t)dt$$

wobei: $u(t)$ - momentaner Wert der Spannung und $i(t)$ - momentaner Wert des Stromes, T - der Zeitraum für den die Leistung berechnet wird.

In sinusförmigen Systemen kann die Wirkleistung wie folgt berechnet werden:

$$P = UI \cos \varphi$$

wobei: U der Effektivwert der Spannung ist, I der Effektivwert des Stromes ist φ und der Winkel der Phasenverschiebung zwischen der Spannung und dem Strom ist.

Die Wirkleistung wird durch den Analysator PQM-707 direkt aus der Formel der Integralen, unter Verwendung der abgetasteten Spannungs- und Stromverläufe, berechnet:

$$P = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i I_i$$

wobei M die Anzahl der Proben im 10/12 Perioden Messfenster ist und beträgt 2048, U_i und I_i sind die aufeinanderfolgenden Proben der Spannung und des Stromes.

5.3.2 Blindleistung

Die bekannteste Formel für die *Wirkleistung* ist auch nur für Einphasenstromkreise mit sinusförmigen Spannungs- und Stromverlauf:

$$Q = UI \sin \varphi$$

Die Interpretation dieser Leistung in solchen Systemen ist wie folgt: es ist die Amplitude der Wechselkomponente der momentanen Leistung an den Zangen der Quelle. Die Existenz eines Nicht-Null-Werts dieser Leistung soll von einem zweidirektionalen und oszillierenden Energiefluss zwischen der Quelle und dem Empfänger zeugen.

Wenn wir uns ein Einphasen-Netz vorstellen mit sinusförmiger Spannungsquelle, dessen Last ein RC-Zweipol ist. Da unter solchen Bedingungen diese Elemente sich linear verhalten, wird der Stromverlauf der Quelle sinusförmig sein, aber wegen der Eigenschaften des Kondensators wird er im Bezug auf die Spannungsquelle verschoben sein. In einem solchen Kreis wird die Blindleistung Q ungleich Null sein und als Amplitude der Energieschwingungen interpretiert werden, die wechselseitig im Kondensator gespeichert wird und zur Quelle zurückgegeben wird. Die Wirkleistung des Kondensators ist gleich Null.

5 Qualität der Stromversorgung – Leitfaden

Jedoch, wie sich herausstellt, ist das Phänomen der Energieschwingung nur eine Folge, die in besonderen Fällen von Kreisen mit sinusförmigem Strom und Spannungsverlauf, und nicht der Grund für die Entstehung der Blindleistung. Forschungen in diesem Bereich zeigen, dass die Blindleistung auch in Stromkreisen erscheint, in denen keine Energieschwingungen auftreten. Dies ist eine Feststellung, die viele Ingenieure überraschen kann. In neuen Publikationen, zum Thema der Leistungstheorie, wird als einzige physikalische Erscheinung, die immer das Auftreten von Blindleistung begleitet, die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung erwähnt.

Die obige Formel zur Berechnung der Blindleistung gilt nur für die sinusförmigen Einphasenstromkreise. Dies wirft die Frage auf: Wie kann die Blindleistung in nicht-sinusförmigen Stromkreisen berechnet werden? Diese Frage öffnet die sog. „Büchse der Pandora“ der elektrotechnischen Umgebung. Es stellt sich heraus, dass die Definition der Blindleistung in realen Systemen (nicht nur in idealisierten) Gegenstand von Kontroversen ist und derzeit (Stand 2009) gibt es keine einheitliche und allgemein akzeptierte Definition der Blindleistung in Stromkreisen mit nicht-sinusförmigen Spannungs- und Stromverlauf, ohne die asymmetrischen Dreiphasen-Stromkreisen zu erwähnen. Im Standard IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) mit der Nummer 1459-2000 (aus dem Jahr 2000) für nicht-sinusförmige Dreiphasen-Stromkreise ist keine Formel zur Berechnung der gesamten Blindleistung zu finden – als die drei grundlegenden Leistungsarten wurden die Wirkleistung, Scheinleistung und – Achtung – die inaktive Leistung, gekennzeichnet mit dem Buchstaben N. Die Blindleistung wurde lediglich auf die grundlegende Komponente des Stromes und der Spannung begrenzt und mit Q_1 gekennzeichnet.

Die oben genannte Norm ist das letzte Dokument dieser Art, das von einer anerkannten Organisation herausgegeben wurde und Ordnung in das Thema der Leistungsdefinitionen bringen sollte. Dies war umso notwendiger, weil unter Wissenschaftlern seit vielen Jahren vermehrt argumentiert wurde, dass die bisher verwendeten Definitionen verfälschte Ergebnisse ergeben können. Die Kontroverse betraf vor allem die Definition der Blindleistung und Scheinleistung (und die Verzerrung, aber darüber später) in Einphasen- und Dreiphasen-Stromkreisen mit nicht-sinusförmigem Spannungs- und Stromverlauf.

Im Jahre 1987 hat Prof. L. Czarnecki die Fehlerhaftigkeit der weit verbreiteten Definition der Blindleistung nach Budeanu beweisen, also der Definition, die bis heute an vielen technischen Schulen gelehrt wird. Diese Definition wurde erstmals von Prof. Budeanu im Jahr 1927 vorgestellt und hat folgende Form:

$$Q_B = \sum_{n=0}^{\infty} U_n I_n \sin \varphi_n$$

wobei U_n und I_n Oberwellen der Spannung und des Stromes der Ordnung n ist und φ_n die Winkel zwischen diesen Komponenten.

Weil die Einführung dieser Größe zur Folge hatte, dass die bis dahin bekannte Berechnung der Leistung nicht für Stromkreise mit nicht-sinusförmigem Verlauf galt, hat Budeanu eine neue Größe eingeführt, die als *Verzerrungsleistung* bezeichnet wurde:

$$D_B = \sqrt{S^2 - (P^2 + Q_B^2)}$$

Die Verzerrungsleistung sollte in dem Stromkreis für Leistungen stehen, die aufgrund von Verzerrungen des Strom- und Spannungsverlaufs erscheinen.

Die Blindleistung wird seit Jahren mit den Energieschwingungen zwischen der Quelle und der Belastung in Verbindung gebracht. Anhand der Formel ist zu beobachten, dass die Blindleistung nach der Definition von Budeanu die Summe der Blindleistungen der jeweiligen Oberwellen ist. Aufgrund des Faktors $\sin\varphi$ können die Komponenten positiv oder negativ sein, abhängig vom Winkel zwischen der Spannung und dem Strom der Oberwellen. Somit ist die Situation möglich, in der die gesamte Blindleistung Q_B Null betragen wird, bei Oberwellen, die ungleich von Null sind. Die Beobachtung, dass bei Komponenten, die ungleich Null sind, die Gesamtblindleistung nach dieser

Definition Null betragen kann, ist der Schlüssel zu einer tieferen Analyse, die letztendlich erlaubte zu beweisen, dass die Größe Q_B in einigen Situationen überraschende Ergebnisse ergeben kann. Die durchgeführten Studien stellen den allgemein verbreiteten Glauben in Frage, dass eine Beziehung zwischen den Energieschwingungen und der Blindleistung Budeanu Q_B besteht. Es können Beispiele von Stromkreisen herangezogen werden, in denen trotz schwingendem Charakter des Momentleistungsverlaufs, die Blindleistung nach Budeanu Null beträgt. Im Laufe der Jahre waren die Forscher nicht in der Lage, eine Verbindung zwischen der Blindleistung nach dieser Definition mit keinem physikalischen Phänomen finden.

Die oben genannten Zweifel bezüglich der Richtigkeit dieser Definition der Leistung, werfen einen Schatten auf die mit ihr verbundene *Verzerrungsleistung* D_B . Es wurde nach der Antwort auf die Frage, ob die Verzerrungsleistung D_B tatsächlich das Maß der Verzerrung der Verläufe in nicht-sinusförmigen Stromkreisen. Als Verzerrung wird eine Situation bezeichnet, in der der Spannungsverlauf sich nicht auf den Verlauf des Stromes „auflegen“ kann, ohne zwei Vorgänge durchzuführen: die Amplitude zu ändern und sie in der Zeit zu verschieben. Mit anderen Worten, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$u(t) = Ai(t - \tau)$$

dass diese Spannung nicht hinsichtlich des Stromes verzerrt ist. Im Falle der sinusförmigen Spannung und der Belastung, die eine beliebige Kombination der RLC-Elemente ist diese Bedingung immer erfüllt (für einen sinusförmigen Verlauf behalten diese Komponenten ihre Linearität). Allerdings wenn die Spannung verzerrt ist, kann die RLC-Belastung keine Nicht-Verzerrung des Stromes in Bezug auf die Spannung gewährleisten und ist keine lineare Belastung mehr – es ist notwendig gewisse zusätzliche Voraussetzungen zu erfüllen (das sich mit entsprechender Frequenz ändernde Modul und Phase des Widerstands der Belastung).

Ist somit die Leistung D_B tatsächlich das Maß dieser Verzerrung? Leider stellte sich heraus, dass auch in diesem Fall, die Leistungstheorie nach Budeanu enttäuscht. Es wurde bewiesen, dass die *Verzerrungsleistung* gleich Null sein kann, wenn die Spannung im Bezug auf den Stromverlauf und umgekehrt verzerrt ist, die *Verzerrungsleistung* kann ungleich Null sein im Falle von einem kompletten Mangel an Verzerrungen.

Der praktische Aspekt der Leistungstheorie, der die Verbesserung des Leistungsfaktors der Stromkreise mit Blindleistung betrifft, sollte der Faktor sein, der am meisten an den korrekten Definitionen der Blindleistung nutzen gewinnt. Die Versuche der Kompensation, die auf der Blindleistung nach Budeanu und der mit ihr verbundenen Verzerrungsleistung beruhen, waren vergeblich. Diese Größen erlaubten nicht mal die korrekte Kompensationskapazität zu berechnen, die den höchsten Leistungsfaktor ergibt. Es kam sogar dazu, dass solche Proben mit der zusätzlichen Verschlechterung dieses Faktors endeten.

Es kann also die Frage gestellt werden: wie ist es möglich, dass die Leistungstheorie von Budeanu so populär wurde? Dafür kann es mehrere Gründe geben. Vor allem wegen der Gewöhnung der Ingenieure an die alten Definitionen und seit Jahren nicht geänderten Lehrprogramme in Schulen. Es ist ein oft unterschätzter Faktor, aber als Rechtfertigung dafür ist daran zu erinnern, dass diese Theorie seit 60 Jahren nicht gestürzt wurde. Zweitens, in den 20. Jahren des vorigen Jahrhunderts standen keine Messgeräte zur Verfügung, die Einblick in die jeweiligen Komponenten der Oberwellen der Spannung und des Stromes gaben, es war also schwierig neue Theorien zu verifizieren. Drittens, die verzerrten Verläufe von Spannung und Strom (also mit einer großen Anzahl von Oberwellen) sind ein Effekt der Revolution in der Elektroenergetik, die erst Anfang letztes Jahrhundert anfang. Man fing an weit verbreitet Thyristoren, steuerbare Gleichrichter, Umformer usw. einzusetzen. Alle diese Aktivitäten hatten sehr große Stromverzerrungen in den Versorgungsnetzen zur Folge, und führten somit zur Steigerung der Verzerrungen der Oberwellen. Erst dann wurden die Mängel in der Theorie von Budeanu spürbar. Und viertens, die Forscher, die sich mit der Energetik befassten, waren dessen bewusst, dass Unternehmen ein Vermögen in die Messinfrastruktur investiert haben (Energiezähler). Jede Änderung in dieser Hinsicht hätte enorme finanzielle Folgen.

Jedoch waren langsame Änderungen im Bewusstsein der Elektroingenieure bemerkbar. Im Laufe der Jahre, bei immer öfter vorkommenden nichtlinearen Belastungen und stark verzerrten Verläufen, waren die Einschränkungen der verwendeten Formeln nicht länger tolerierbar.

5 Qualität der Stromversorgung – Leitfaden

Ein wichtiges Ereignis war die Veröffentlichung im Jahre 2000 durch die Organisation IEEE des Standards 1459, mit dem Namen: „Definitionen für die Messung von elektrischen Leistungs-Größen in sinusförmigen, nicht-sinusförmigen, symmetrischen und asymmetrischen Netzsystemen“. Zum ersten Mal wurde die Definition der Blindleistung nach Budeanu zur Gruppe der Definitionen, die nicht empfohlen werden, gezählt und welche nicht in neuen Leistungs- und Blindenergiemessern verwendet werden soll. Es wurde auch sichtbar die Teilung vieler Größen in die, die mit der Grundkomponente des Stromes und der Spannung (erste Oberwellen) zusammenhängen und anderen höheren Oberwellen. In den meisten Fällen wird davon ausgegangen, dass der brauchbare Teil der Energie durch die 50/60Hz-Komponenten übertragen wird, mit einem viel geringeren und oftmals schädlichen Anteil von höheren Oberwellen.

in dem Standard erschien auch eine neue Größe – *inaktive Leistung N*, die alle inaktiven Komponenten der Leistung repräsentiert:

$$N = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Die Blindleistung ist einer der Bestandteile der inaktiven Leistung N . In Einphasenstromkreisen mit sinusförmigem Spannung- und Stromverlauf, ist N gleich Q , somit gibt es in der inaktiven Leistung keine anderen Bestandteile. In Dreiphasenstromkreisen haben eine solche Eigenschaft nur symmetrische, sinusförmige Netze mit ausgeglichenem, reinen Resistenzempfänger.

Die weiteren Bestandteile der inaktiven Leistung sind mit bestimmten physikalischen Erscheinungen verbunden. Nach einer der Theorien von Prof. Czarnecki, die die physikalischen Erscheinungen in Dreiphasennetzen erklärt, kann die Gleichung der Leistungen in solchen Stromkreisen wie folgt beschrieben werden:

$$S^2 = P^2 + D_s^2 + Q^2 + D_u^2$$

D_s ist die Streuleistung, die im System als Folge der Konduktanz des Empfängers zusammen mit der Frequenzänderung erscheint. Somit kann die Anwesenheit von Blindwiderstandselementen das Erscheinen von Streuleistung zur Folge haben.

Die Blindleistung Q in dieser Gleichung erscheint, wenn eine Phasenverschiebung zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes vorhanden ist.

D_u bezeichnet die Leistung der Unausgeglichenheit, die das Maß der Unausgeglichenheit des Dreiphasenempfängers ist. Diese Komponente erklärt die Situation, in der ein unausgeglichener Dreiphasenempfänger mit einem reinen Resistenzcharakter, hat einen Leistungsfaktor zur Folge der kleiner als Eins ist. Ein solcher Empfänger verfügt über keine Blindleistung Q , und trotzdem, geht aus dem Leistungsdreieck S , P , Q etwas vollkommen Anderes hervor (die Leistungstheorie nach Budeanu mit ihrer Verzerrungsleistung kann diese Situation ebenfalls nicht erklären – in einem reinen Resistenzempfänger ist die Verzerrungsleistung D_B gleich Null).

Der Versuch den Standard IEEE 1459-2000 mit der Leistungstheorie von Czarnecki zu verbinden, führt zur Schlussfolgerung, dass die inaktive Leistung mindestens drei unterschiedliche physikalische Erscheinungen in sich birgt, die auf die Effektivität der Energieübertragung von der Quelle zum Empfänger Einfluss haben, also auf die Verringerung des Leistungsfaktors:

$$PF = \frac{P}{S_e} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + D_s^2 + Q^2 + D_u^2}}$$

Die Blindleistung, die im Standard IEEE 1459-2000 bekannt unter der Bezeichnung Q bekannt ist, wurde auf Grundkomponente beschränkt und dies bezieht sich sowohl auf Einphasen- als auch auf Dreiphasennetzsysteme.

In Einphasenstromnetzen:

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1$$

in Dreiphasennetzen wird nur die Komponente, die gleichwertig mit dieser Leistung ist, unter Betracht gezogen:

$$Q_1^+ = 3U_1^+ I_1^+ \sin \varphi_1^+$$

Damit diese Leistung korrekt gemessen werden kann ist die Übereinstimmung der Phasenfolge notwendig (somit muss die Phase L2 um 120° verzögert sein, in Bezug auf die Phase L1, die Phase L3 um 240° verzögert in Bezug auf L1).

Der Begriff der Übereinstimmenden Komponente wird näher erläutert bei der Erklärung der Unsymmetrie.

Der Wert der Blindleistung der Grundkomponente ist die Hauptgröße, die erlaubt die Größe des Kondensators abzuschätzen, der den Faktor DPF verbessert, also den Faktor der Verschiebung der Grundkomponente der Spannung in Bezug auf dieselbe Komponente des Stromes (also des Blindleistungskompensators der grundlegenden Oberwellen).

5.3.3 Blindleistung und 3-Leiter-Systeme

Die korrekte Messung der Blindleistung ist in asymmetrischen Empfängern, die im Dreileiter-system verbunden sind (Dreieck und Stern ohne Leitung N) unmöglich. Diese Feststellung mag viele überraschen.

Der Empfänger kann als „Black Box“ mit 3 verfügbaren Klemmen betrachtet werden. Wir sind nicht in der Lage, die innere Struktur eines solchen Empfängers zu bestimmen. Um die Blindleistung zu berechnen, ist es notwendig dem Winkel der Phasenverschiebung zwischen dem Strom und der Spannung, die in jedem Zweig eines solchen Empfängers vorkommt. Leider kennen wir diesen Winkel nicht. In einem Empfängersystem des Typs „Dreieck“ kennen wir die Spannungen auf den jeweiligen Impedanzen, aber wir kennen den Strom nicht; in solchen Systemen werden die Leiter-spannungen und der Linienstrom angegeben. Jeder dieser Linienströme ist die Summe von zwei Phasenströmen. In Empfängern des Typs Stern ohne N kennen wir die Ströme, die durch die Impedanz fließen, aber die Spannungen sind nicht bekannt (jede Leiterspannung ist die Summe von zwei Phasenspannungen).

Bedenken Sie bitte, dass bei bestimmten Spannungen auf den Klemmen und Strömen die in so eine „Black box“ fließen unendlich viele Möglichkeiten für die innere Struktur des Empfängers bestehen, die identische Messergebnisse von Strömen und Spannungen, die außerhalb der Box zu sehen sind, ergeben.

Wie ist es also möglich, dass es Blindleistungszähler gibt, die zur Messung in 3-Leiternetzen dienen, und Netzanalysatoren, die unter solchen Bedingungen die Messung der Blindleistung ermöglichen?

In beiden Fällen greifen die Hersteller auf einen Trick zurück, der auf der Bildung eines künstlichen Bezugspunkts besteht (eine virtuelle neutrale Klemme N). Ein solcher Punkt kann ganz einfach erstellt werden, indem an die Klemmen unserer „Black Box“ ein System von drei Widerständen mit demselben Wert und als Stern verbunden wird. Das Potenzial des zentralen Punkts der Widerstände wird zur Berechnung der „Phasenspannungen“ verwendet. Selbstverständlich sind die Anführungszeichen hier gewollt - ein solches virtuelles Null ergibt ungefähr korrekte Ergebnisse, aber nur wenn die Unausgeglichenheit des Empfängers minimal ist. In jedem anderen Fall sollten die Blindleistungsanzeigen eines solchen Geräts mit Misstrauen angesehen werden.

Das Messgerät darf auf keinen Fall den Benutzer irreführen, und solche Approximationen sind nur unter Vorbehalt, dass der angezeigte Wert nicht das Ergebnis einer Messung ist, sondern nur ein Schätzwert.

5.3.4 Blindleistung und Blindverbrauchszähler

Ein Blindverbrauchszähler ist ein Gerät, das Heimanwendern eher unbekannt ist – die allgemein verwendeten Zähler, die zur Abrechnung mit dem Stromlieferanten dienen, sind Wirkverbrauchszähler, und messen die Wirkleistung in Wh oder kWh. Der Heimanwender ist also in einer komfortablen Situation – er zahlt nur für die Nutzenergie und muss sich keine Gedanken darüber

5 Qualität der Stromversorgung – Leitfaden

machen, was der Leistungsfaktor in seinem Stromnetz ist.

Industrielle Kunden - im Gegensatz zu der ersten Gruppe - sind verpflichtet, auf der Grundlage der Verträge und oft unter Gefahr von Geldstrafen, den Leistungsfaktor auf einer entsprechenden Ebene zu halten.

Die Verordnung des Wirtschaftsministers über die detaillierten Bedingungen für den Betrieb eines Stromnetzes definiert die Qualitätsparameter, die vom Lieferanten für die unterschiedlichen sog. Anschlussgruppen erfüllt werden müssen. Zu diesen Parametern zählen z.B. Frequenz des Netzes, Effektivwert der Spannung, THD und zulässiger Pegel der Oberwellen der Spannung. Der Lieferant muss diese Anforderungen jedoch nicht erfüllen, wenn der Abnehmer nicht einen $tg\text{-Faktor}\varphi$ unter 0,4 gewährleistet (ein Wert der unter Absprache geändert werden kann) und/oder den vereinbarten Pegel der aufgenommenen Wirkleistung überschreitet.

Der Faktor $tg\varphi$ hat sich tief im in den polnischen Rechtsvorschriften im Energiebereich verwurzelt und wird als das Verhältnis der berechneten Blindenergie zur Wirkenergie in einem bestimmten Zeitraum definiert. Wenn wir für einen Moment zu dem Leistungsdreieck in sinusförmigen Systemen zurückkehren, können wir leicht bemerken, dass der Tangens des Winkels der Phasenverschiebung zwischen dem Strom und der Spannung dem Verhältnis der Blindleistung Q zur Wirkleistung P gleicht. Somit bedeutet das Kriterium der Erhaltung des $tg\varphi$ unter 0,4 nichts Anderes, als Bestimmung, dass der maximale Wert der berechneten Blindenergie 0,4 der berechneten Wirkenergie nicht überschreiten darf. Jede Energieaufzeichnung, die den vertraglich bestimmten Wert überschreitet, unterliegt einem zusätzlichen Entgelt.

Gibt jedoch die Kenntnis eines so berechneten $tg\varphi$ -Faktors beiden Seiten ein reelles Bild der Effektivität der Energieübertragung? Wurde nicht schon zuvor erwähnt, dass die Blindleistung nur einer der Bestandteile der inaktiven Leistung ist, die Einfluss auf die Verringerung des Leistungsfaktors haben?

Tatsächlich scheint es so, dass anstatt $tg\varphi$ der Leistungsfaktor PF verwendet werden sollte, der auch die weiteren Faktoren berücksichtigt.

Die aktuellen Vorschriften bieten leider nicht die Möglichkeit zwischen ihnen zu wählen, somit erscheint die korrekte Messung der Blindleistung ein zentrales Thema zu sein. Es lohnt sich hier die Frage zu stellen: ob Angesichts der oben beschriebenen Kontroversen bezüglich der Definition der Blindleistung solche Zähler korrekte Angaben liefern? Und was messen die allgemein verwendeten Blindverbrauchsähler tatsächlich?

Eine Antwort auf diese Fragen kann man in der Norm die diese Zähler betrifft suchen – EN 62053-23. Enttäuschenderweise finden wir in ihr keinen Bezug auf die Messungen in nicht-sinusförmigen Umgebungen – die Berechnungsformeln beziehen sich auf sinusförmige Situationen (in der Norm können wir lesen, dass sie aus diesen „praktischen“ Gründen nur auf sinusförmige Verläufe begrenzt wurde). Es werden in ihr keine Prüfkriterien angegeben, die eine Prüfung der Eigenschaften des Zählers bei verzerrten Verläufen von Spannungen und Strömen ermöglichen würden. Es kann auch die Tatsache überraschen, dass die ältere Norm PN-EN 61268 (bereits veraltet) einen Test definierte, der auf der Prüfung der Messgenauigkeit bei 10% der dritten Oberwellen des Stromes beruhte.

Die derzeitige Situation lässt Entwicklern von Zählern Möglichkeit der Wahl der Messmethode, was leider zu großen Unterschieden bei der Anzeige der Werte von Blindenergie bei einem hohen Klirrfaktor.

Zähler des älteren Typs, also elektromechanische, haben eine Charakteristik, die dem Tiefpassfilter ähnelt – höhere Oberwellen werden in ihm unterdrückt, wodurch die Messung der Blindleistung in Anwesenheit von Oberwellen dem Wert der Blindleistung der Grundkomponente nahe liegt.

Die immer weiter verbreiteten elektronischen Zähler können mit verschiedenen Methoden Messungen durchführen. Beispielsweise, sie können die Wirkleistung und Scheinleistung messen und die Blindleistung wird aus dem Leistungsdreieck berechnet (Quadratwurzel der Summe der beiden Leistungen). Tatsächlich also, angesichts des Standards IEEE 1459-2000, messen sie nur die inaktive Leistung, nicht die Blindleistung. Ein anderer Hersteller kann eine Methode mit Verschiebung des Spannungsverlaufs um 90° verwenden, was ein Ergebnis liefert, dass der Blindleistung der Grundkomponente ähnelt.

Je höher der Anteil der Oberwellen, desto höher wird der Unterschied in den Messungen sein

und selbstverständlich, als Folge dessen, werden sich die Entgelte für die berechnete Energie unterscheiden.

Wie zuvor schon signalisiert wurde, ist die Messung der Blindleistung in unausgeglichenen 3-Leiter-Systemen mithilfe von traditionellen Zählern mit von einem zusätzlichen Fehler belastet, aufgrund der Entstehung im Zähler eines virtuellen Nulls, der nicht viel mit dem tatsächlichen Null des Empfängers zu tun hat.

Des Weiteren geben die Hersteller meistens keine Angaben bezüglich der verwendeten Messmethoden.

Es bleibt nur ungeduldig auf eine weitere Version der Norm zu warten, die – hoffen wir – die Messmethode und Prüfungsart auf eine viel präzisere Weise definiert, auch in nicht-sinusförmigen Umgebungen.

5.3.5 Scheinleistung

Die *Scheinleistung* S wird als Produkt der Effektivwerte der Spannung und des Stromes bezeichnet:

$$S = UI$$

Als solche hat die Scheinleistung keine physikalische Interpretation; sie wird jedoch bei dem Entwurf von industriellen Anlagen verwendet. Ihr Wert gleicht der maximalen Wirkleistung, die zur Belastung übertragen werden kann, bei den jeweiligen Effektivwerten der Spannung und des Stromes. Somit bestimmt die Scheinleistung die maximal mögliche Fähigkeit der Quelle zur Lieferung nützlicher Energie an den Empfänger.

Das Maß der Effizienz der Nutzung der gelieferten Leistung durch den Empfänger ist der Leistungsfaktor, also anders gesagt das Verhältnis der Scheinleistung zur Wirkleistung. Im sinusförmigen Systemen:

$$PF = \frac{P}{S} = \frac{UI \cos \varphi}{UI} = \cos \varphi$$

In nicht-sinusförmigen Systemen ist eine solche Vereinfachung jedoch nicht zulässig und der Leistungsfaktor wird aufgrund des realen Verhältnisses der Wirkleistung zur Scheinleistung berechnet

$$PF = \frac{P}{S}$$

In Einphasennetzen wird die Scheinleistung so wie in der Formel oben berechnet und es gibt hier keine Überraschungen. Es stellt sich jedoch heraus, dass in Dreiphasennetzen das Berechnen dieser Leistung große Probleme bereiten kann, die mit der Blindleistung zusammenhängen. Selbstverständlich betrifft das reelle Netze mit nicht-sinusförmigem Verlauf, die zusätzlich asymmetrisch sein können.

Studien haben bewiesen, dass die bisher verwendeten Formeln fehlerhafte Ergebnisse liefern können, wenn das Netz nicht ausgeglichen ist. Weil die Scheinleistung eine vereinbarte Größe ist und keine physikalische Interpretation besitzt, festzustellen, welche der vorgeschlagenen Leistungsdefinitionen die richtige ist, könnte Schwierigkeiten bereiten. Es wurden jedoch Versuche unternommen in Anlehnung an die Beobachtung, dass die Scheinleistung eng mit den Übertragungsverlusten und dem Leistungsfaktor verbunden ist. Indem die Übertragungsverluste und der Leistungsfaktor bekannt sind, kann indirekt die korrekte Definition der Scheinleistung bestimmte werden.

Die bisher verwendeten Definitionen u.a. die arithmetische Scheinleistung und geometrische Scheinleistung. Studien haben bewiesen, dass weder die arithmetische Definition, noch die geometrische keinen richtigen Wert des Leistungsfaktors liefern. Die einzige Definition, die in einer solchen Situation nicht enttäuschte, war die Definition, die schon im Jahre 1922 der deutsche Physiker F. Buchholz vorgeschlagen hatte:

5 Qualität der Stromversorgung – Leitfaden

$$S_e = 3U_e I_e$$

Sie beruht auf den effektiven Werten der Spannung und des Stromes, und die Leistung wird die effektive Scheinleistung genannt (aus diesem Grund wird für die Dreiphasensysteme die Bezeichnung „e“ hinzugefügt). Diese effektiven Werte der Spannung und des Stromes sind solche theoretischen Werte, die Spannungen und Strom repräsentieren in einem gleichwertigen energie-symmetrischen Dreiphasensystem. Der Schlüssel ist die Bestimmung der Größen U_e und I_e .

Der Standard IEEE 1459 gibt folgende Formeln an. In Drei-Leiter-Netzen:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2}{3}}$$

$$U_e = \sqrt{\frac{U_{ab}^2 + U_{bc}^2 + U_{ca}^2}{9}}$$

In Vier-Leiter-Netzen:

$$I_e = \sqrt{\frac{I_a^2 + I_b^2 + I_c^2 + I_n^2}{3}}$$

$$U_e = \sqrt{\frac{3(U_a^2 + U_b^2 + U_c^2) + U_{ab}^2 + U_{bc}^2 + U_{ca}^2}{18}}$$

Wobei I_a, I_b, I_c die nachfolgenden Schlüsselwerte des Stromes der jeweiligen Phasen (linienförmige oder phasenförmige), I_n ist der effektive Wert des Stromes des Nulleiters, U_a, U_b, U_c sind die effektiven Werte der Phasenspannungen, und U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} sind die effektiven Werte der Leiter-spannungen.

Ein so berechneter Wert S_e berücksichtigt die Leistungsverluste im Nulleiter (in Vier-Leiter-Netzen) und den Einfluss der Unausgeglichenheit.

5.3.6 Die Verzerrungsleistung D_B und die effektive Scheinleistung der Verzerrung S_{eN}

Während der Erörterung der Blindleistung wurde gezeigt, dass die Verzerrungsleistung nach Budeanu nicht bei hohen Verzerrungen der Spannungen und des Stromes und bei der Unsymmetrie der Drei-Phasen-Systeme verwendet werden kann (der Paradox der Verzerrungsleistung, die nicht das wirkliche Maß der Verzerrung ist). Dennoch wird die Leistung von vielen Spezialisten, die sich mit der Netzqualitätsanalyse befassen und Herstellern von Systemen zur Kompensation der Blindleistung.

Es sollte hier klar festgestellt werden, dass die Berufung auf diesen Parameter verhältnismäßig gute Ergebnisse lieferte, aber nur unter Bedingungen mit geringen Verlaufsverzerrungen und kleiner Unsymmetrie.

Der Standard IEEE 1459-2000 erwähnt diese Leistungsdefinition, jedoch genauso wie im Falle der Blindleistung nach Budeanu, ist sie mit einem nicht eliminierbaren Fehler belastet und es wird empfohlen sie aus dem Gebrauch zurückzuziehen.

An Stelle der Leistung D_B wurde eine andere Größe vorgeschlagen, die auf eine viel bessere Weise die Verzerrungsleistung charakterisiert – die Scheinleistung der Verzerrung S_{eN} . Die Leistung S_{eN} erlaubt eine schnelle Beurteilung, ob die Belastung in einer Umgebung mit geringen oder großen Verzerrungen der Oberwellen, sie ist auch die Grundlage zur Bewertung der statischen Größen

oder aktiven Filter und Kompensatoren.
Gemäß der Definition (für Dreiphasennetze):

$$S_{eN} = \sqrt{S_e^2 - S_{e1}^2}$$

wo:

$$S_{e1} = 3I_{e1}U_{e1}$$

Der effektive Strom und die Wirkleistung der grundlegenden Komponente (entsprechend I_{e1} und U_{e1}) wird ähnlich berechnet wie I_e und U_e mit dem Unterschied, dass anstatt der effektiven Werte der Phasenspannungen oder Leiterspannungen und der effektiven Werte der Linienströme werden zur Berechnung die Effektivwerte ihrer Grundkomponenten verwendet.

In Einphasennetzen kann zur Berechnung der Scheinleistung der Verzerrung eine einfachere Formel verwendet werden:

$$S_N = \sqrt{S^2 - (U_1 I_1)^2}$$

wo U_1 und I_1 die effektiven Werte der Grundkomponenten der Phasenspannung und des Stromes sind.

5.3.7 Leistungsfaktor

Der echte Leistungsfaktor, also der, der auch die Anwesenheit höherer Oberwellen berücksichtigt heißt einfach nur Leistungsfaktor (eng. *True Power Factor*, *TPF* oder *PF*). Für sinusförmige Stromkreise gleicht er sich mit dem sog. Phasenverschiebungsfaktor, also dem allgemein bekannten $\cos\varphi$ (eng. *Displacement Power Factor*, *DPF*).

DPF ist somit das Maß der Phasenverschiebung zwischen den Grundkomponenten der Spannung und des Stromes:

$$DPF = \frac{P_1}{S_1} = \frac{U_1 I_1 \cos\varphi_{U1I1}}{U_1 I_1} = \cos\varphi_{U1I1}$$

$$PF = \frac{P}{S}$$

Im Falle einer reinen Widerstandsbelastung (in einem Einphasennetz) ist die Scheinleistung dem Wert der Wirkleistung gleich, und die Blindleistung gleich Null, somit nutzt eine solche Belastung das energetische Potential der Quelle bestmöglich aus und der Leistungsfaktor beträgt 1. Das Erscheinen der Reaktanzkomponente führt zur Verringerung der Effektivität der Energieübertragung – die Wirkleistung ist dann kleiner als die Scheinleistung und die Blindleistung wächst.

In Dreiphasennetzen hat auf die Verringerung des Leistungsfaktors auch die Unausgeglichenheit des Empfängers Einfluss (siehe die Diskussion über die Blindleistung). In solchen Systemen wird der korrekte Wert des Leistungsfaktors durch Nutzung der effektiven Scheinleistung S_e erhalten, also durch Verwendung der Größe, die u.a. im Standard IEEE 1459-2000 definiert wurde.

Auf diese Weise werden diese Faktoren durch den Analysator PQM-707 berechnet.

5.4 Oberwellen

Die Aufteilung der periodischen Verläufe auf harmonische Komponenten ist ein sehr populärer mathematischer Vorgang, der auf dem Fourier-Theorem beruht, das besagt, dass jeder periodische Verlauf als Summe der sinusförmigen Komponenten vorgestellt werden kann mit einer Frequenz, die die gesamte Multiplizität der Grundfrequenz eines solchen Verlaufs ist. Der Zeitverlauf kann der Schnellen Fourier-Transformation unterzogen werden (kurz FFT), die als Ergebnis Amplituden und

5 Qualität der Stromversorgung – Leitfaden

Phasen der Komponenten der Oberwellen im Frequenzbereich ausgibt.

Im Idealfall wird die Spannung im Generator erstellt, der an seinem Ausgang einen reinen sinusförmigen Verlauf 50/60 Hz (keine Oberwellen) generiert. Wenn ein Empfänger ein lineares System ist, dann ist auch der Strom unter solchen perfekten Bedingungen ein rein sinusförmiger Verlauf. In realen Systemen sind sowohl die Spannungs-, als auch Stromverläufe verzerrt, somit müssen sie außer der Grundkomponente auch höhere Oberwellen enthalten.

Warum ist die Anwesenheit von höheren Oberwellen im Netz unerwünscht?

Einer der Gründe dafür ist die Stromverdrängung, das auf der Abstoßung der Elektronen aus dem Inneren des Leiters (der Leitung) nach Außen zusammen mit der gleichzeitigen Steigerung der Frequenz des Stromes beruht. Als Ergebnis je höher die Frequenz, desto kleiner das effektive Durchmesser des Leiters, das für die Elektronen verfügbar ist, was gleichbedeutend mit der Erhöhung seiner Resistenz ist. Als Folge dieses Phänomens, je höher der Oberwellenstrom, desto größer ist der effektive Widerstand der Verkabelung für diese Oberwellen, und dies wiederum führt unweigerlich zu höheren Leistungsverlusten und Erwärmung der Leitungen.

Ein klassisches Beispiel dieses Effekts finden wir auf den Nullleiter in einem Dreiphasen-Netzwerk. In Netzen mit geringen Verzerrungen, geringer Unausgeglichenheit und symmetrischem Empfänger (oder mit geringer Unsymmetrie) hat der Strom im Nullleiter die Tendenz zur Nullung (er ist viel geringer als die effektiven Werte der Phasenströme). Diese Beobachtung hat viele Entwickler dazu verlockt durch die Montage in solchen Systemen eines Nullleiters mit geringerem Durchmesser als die Phasenleitungen zu sparen. Und alles funktionierte sehr gut, bis im Netz Oberwellen ungerader Ordnung auftauchten, die eine Multiplizität von sind 3 (dritte, neunte, usw.). Plötzlich begann der Nullleiter sich zu überhitzen und die aktuelle Strommessung hat auf einen sehr hohen effektiven Wert hingewiesen. Die Erklärung dieses Phänomens ist jedoch ziemlich einfach. Der Entwickler hat in dem obigen Beispiel zwei Umstände nicht berücksichtigt: in Netzen mit verzerrten Verläufen müssen sich die höheren Oberwellen im Nullleiter nicht nullen, ganz im Gegensatz – sie können sich addieren und zweitens haben die Stromverdrängung und die hohen Werte der harmonischen Ströme das Erhitzen zusätzlich erhöht.

Versuchen wir nun auf zwei grundlegende Fragen beantworten:

Was verursacht die Erscheinung von harmonischen Komponenten in der Spannung?

Was verursacht die Erscheinung von harmonischen Komponenten in der Spannung?

Diese zwei Fragen scheinen gleich zu sein, jedoch die Unterscheidung der Spannung vom Strom ist für das Verständnis dieser Erscheinung äußerst wichtig.

Die Antwort auf die erste Frage lautet wie folgt: Oberwellen in der Spannung sind das Ergebnis einer ungleichmäßigen Impedanz des Vertriebsnetzes, zwischen dem Generator (wir nehmen an, dass er eine reine Sinuswelle erzeugt) und dem Empfänger.

Hingegen sind die Oberwellen im Strom das Ergebnis eines nichtlinearen Verlaufs der Impedanz des Empfängers. Natürlich ist anzumerken, dass ein linearer Empfänger, der mit verzerrter Spannung versorgt wird, einen ebenso verzerrten Stromverlauf haben wird.

In der Literatur wird oft die Feststellung „der Empfänger generiert Oberwellen“ verwendet. Bitte beachten Sie, dass der Empfänger in diesem Fall nicht eine physische Energiequelle ist (wie es das Wort „generieren“ verstehen lassen könnte). Die einzige Energiequelle in dem Netz ist das Verteilersystem. Wenn der Empfänger ein passives Gerät ist, wird die Energie, die vom Empfänger zum Verteilersystem übertragen wird, aus demselben Verteilersystem stammen. Wir haben es hier mit einem ungünstigen und unbrauchbaren zweiwegigem Durchfluss der Energie zu tun. Wie es schon zuvor besprochen wurde, am Beispiel des Leistungsfaktors, führt eine solche Erscheinung zu ungünstigen Energieverlusten, und der Strom, der im Empfänger „generiert“ wird, erzeugt eine zusätzliche Belastung des Verteilersystems.

Betrachten wir das folgende Beispiel. Ein typischer nichtlinearer Empfänger, wie z.B. häufig verwendete Schaltnetzteile (z.B. für Computer), wird von einem perfekten Generator sinusförmiger Spannung versorgt. Nehmen wir an, dass die Impedanz der Verbindung zwischen dem Generator und dem Empfänger einen Nullwert hat. Die Spannung, die auf den Klemmen des Empfängers gemessen wurde, wird einen sinusförmigen Verlauf haben (ohne Oberwellen) – dies ist einfach nur die Spannung des Generators. Der Stromverlauf des Empfängers wird jedoch schon harmonische

Komponenten erhalten – ein nichtlinearer Empfänger nimmt oft Strom nur in bestimmten Momenten der gesamten Sinuswelle auf (z.B. der Maximalwert des Stromes kann auf die Spitzen der Spannungssinuswelle fallen).

Doch der Empfänger erzeugt diese Oberwellen nicht, er nimmt lediglich den Strom wechselnd oder unstetig auf. Die gesamte Energie wird einzig und allein vom Generator geliefert.

Im nächsten Schritt kann der Stromkreis modifiziert werden, indem zwischen Generator und den Empfänger eine gewisse Impedanz eingeführt wird, die den Widerstand der Verkabelung, der Transformatorwicklungen usw. darstellt.

Die Messungen der Oberwellen der Spannung und des Stromes zeigen dann etwas andere Ergebnisse. Was wird sich ändern? Es werden geringe harmonische Komponenten der Spannung erscheinen und zusätzlich ändert sich ein bisschen das Frequenzspektrum des Stromes.

Bei der Analyse des Spannungsverlaufs auf dem Empfänger, könnte beobachtet werden, dass der ursprüngliche, sinusförmige Verlauf etwas verzerrt wurde. Wenn der Empfänger hauptsächlich Strom vom Empfänger aufnahm während der Spitzen der Spannung, wird dies auf den Spannungsspitzen sichtbar sein. Eine große Stromaufzeichnung in diesen Momenten hat einen größeren Spannungsfall auf der Impedanz des Netzes zur Folge. Ein Teil der idealen Sinuskurve wird nun auf der Impedanz abgelagert. Ein gewisser Wechsel im Stromspektrum resultiert aus einem etwas anderen Verlauf der Spannung, die jetzt den Empfänger versorgt.

Das hier beschriebene Beispiel und die „flachen Spitzen“ der Sinuswelle der Spannung ist ein sehr oft gesehenes Bild in typischen Netzen, an die allgemein bekannte Schaltnetzteile angeschlossen werden.

5.4.1 Charakteristik der Oberwellen in Dreiphasennetzen

Oberwellen einer bestimmten Ordnung haben in 3-Phasennetzen eine bestimmte Eigenschaft, die die folgende Tabelle darstellt:

Ordnung	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frequenz [Hz]	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Sequenz (+ übereinstimmend, – entgegengesetzt, 0 Null)	+	–	0	+	–	0	+	–	0

Die Zeile „Reihenfolge“ bezieht sich auf Methode der symmetrischen Komponenten, die eine Aufteilung auf 3 beliebige Vektoren in drei Vektorengruppen erlaubt: gleichgerichtete Reihenfolge, gegengerichtete und Null-Reihenfolge (mehr darüber in dem Abschnitt über die Unsymmetrie).

Wir möchten hier ein Beispiel heranziehen. Nehmen wir an, dass ein Dreiphasenmotor über ein symmetrisches 4-Leiternetz versorgt wird (also sind die effektiven Werte der Phasenspannungen gleich und die Winkel zwischen den jeweiligen Grundkomponenten betragen 120°).

Das Zeichen „+“ in der Zeile, die die Reihenfolge bestimmt für die 1-Oberwellen bedeutet eine normale Drehrichtung der Motorwelle. Die Oberwellen der Spannung, für die das Zeichen ebenfalls „+“ ist, verursachen ein Drehmoment, das der Richtung der Grundkomponente entspricht. Die Oberwellen der Ordnung 2, 5, 8, 11 sind Oberwellen der gegengerichteten Reihenfolge, sie generieren also ein Drehmoment, das der normalen Drehrichtung des Motors entgegenwirkt, was zur Überhitzung führen kann und unnötige Energieverluste und einen Fall der Leistung zur Folge hat. Die letzte Gruppe der Oberwellen sind die Oberwellen der Null-Reihenfolge, wie die dritte, sechste und neunte, die kein Drehmoment erzeugen, aber weil sie durch die Wicklung des Motors fließen, erzeugen sie Hitze.

Basierend auf den tabellarischen Daten, können Sie leicht beobachten, dass die Sequenz +, -, 0 sich für alle folgende Ordnungen der Oberwellen wiederholt. Die Formel die den Reihenfolgentyp mit der Ordnung verbindet ist sehr einfach und für k, das eine beliebige ganze Zahl ist:

Reihenfolge	Ordnung der Oberwellen
gleichgerichtet „+“	$3k + 1$
gegen gerichtet „-“	$3k - 1$
Null „0“	$3k$

Oberwellen der geraden Ordnungen treten nicht auf, wenn der jeweilige Verlauf symmetrisch gegenüber dem Durchschnittswert ist, und eine solche Eigenschaft haben die Verläufe in den meisten Versorgungssystemen. In einer typischen Situation, haben die gemessenen Oberwellen der geraden Ordnungen geringe Werte. Wenn wir diese Eigenschaft unter Betracht ziehen, wird sich herausstellen, dass die Gruppe der Oberwellen mit den am meisten unerwünschten Eigenschaften die 3-te, 9-te, 15-te (Null-Reihenfolge), und die 5-te, 11-te, 17-te (gegengerichtete Reihenfolge).

Oberwellen des Stromes, die eine Multiplizität der Zahl 3 sind, erzeugen zusätzliche Probleme in einigen Systemen. In 4-Leiternetzen haben sie die unerwünschte Eigenschaft sich im Nulleiter zu addieren. Es stellt sich heraus, dass im Gegensatz zu den Oberwellen anderer Ordnungen, deren Summe der Momentwerte der Phasenströme sich nullt, die Verläufe dieser Oberwellen in einer Phase sind, was ein zusätzliches addieren der Phasenströme dieser Komponente im Nulleiter zur Folge hat. Dies kann zur Überhitzung dieser Leitung führen (besonders in Verteilernetzen, in denen ein kleinerer Durchmesser dieser Leitung, als der Phasenleitungen, verwendet wurde, und bis vor kurzem war es noch üblich). Aus diesem Grund wird in Netzen mit nichtlinearen Belastungen und mit großen Stromverzerrungen empfohlen, dass das Durchmesser des Nulleiters größer als das Durchmesser der Phasenleitungen ist.

In Systemen des Typs Dreieck, sind die Oberwellen dieser Ordnungen in Linienströmen nicht anwesend (vorausgesetzt, dass es sich um symmetrische Systeme handelt), sie zirkulieren jedoch in den Zweigen der Belastung, wodurch sie auch unnötige Verluste verursachen.

Der Charakter der jeweiligen Oberwellen, wie es die Tabelle zeigt, behält die volle Genauigkeit nur in symmetrischen Dreiphasennetzen. Nur in solchen Systemen hat die grundlegende Oberwellen eine ausschließlich gleichgerichtete Reihenfolge. In reellen Strom-netzen, in denen eine gewisse Unsymmetrie der Versorgungsspannung und Unsymmetrie der Belastung auftritt, erscheinen nicht-nullwertige Reihenfolgen (gegengerichtete und Null-Reihenfolgen). Das Maß für diese Unsymmetrie sind die sog. Unsymmetriefaktoren. Und gerade wegen dieser Unsymmetrie der Grundkomponente, sowie die Unterschiede in den Amplituden und Phasen der höheren Oberwellen in jeder Phase, werden auch diese Oberwellen Komponenten mit gleichgerichteter, gegen gerichteter und Null-Reihenfolge haben. Je größer die Unsymmetrie, desto größer wird auch der Anteil der anderen Komponenten sein.

5.4.2 THD-Faktor

Die gesamte harmonische Verzerrung THD (eng. *Total Harmonic Distortion*) ist der häufigste Indikator von Verlaufverzerrungen. In der Praxis werden zwei Variationen dieses Faktors verwendet:

- THD_F (THD-F oder einfach nur THD) – gesamte harmonische Verzerrung die auf die Grundkomponente des Verlaufs bezogen ist (eng. *fundamental*),
- THD_R (THD-R) – gesamte harmonische Verzerrung die auf den effektiven Wert (RMS) des Verlaufs bezogen ist.

In beiden Fällen wird THD Prozenten ausgegeben. Unten wurde die Definition angegeben:

$$THD_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n A_h^2}}{A_1} \times 100\%$$

$$THD_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^n A_h^2}}{A_{RMS}} \times 100\%$$

wo: A_h – effektiver Wert der Oberwellen des Stromes h-ter Ordnung,
 A_1 – effektiver Wert der Grundkomponente,
 A_{RMS} – effektiver Wert des Verlaufs.

Die Begrenzung der Anzahl der Oberwellen, die bei der Berechnung von THD berücksichtigt wird, hat einen formellen Charakter und resultiert vor allem aus den Messbegrenzungen des Geräts. Das der Analysator PQM-707 die Messung der Komponenten der Oberwellen bis zur 40. Ordnung ermöglicht, werden bei der Berechnung von THD die Oberwellen bis zur 40. Ordnung berücksichtigt.

Bitte beachten Sie, dass die beiden Definitionen deutlich unterschiedliche Werte ergeben werden, bei stark verzerrten Wellenformen. THD_R kann den Wert von 100%, nicht überschreiten, hingegen THD_F hat so ein Limit nicht und kann sogar einen Wert von 200% und mehr haben. Ein solcher Fall kann bei Messungen von deutlich verzerrtem Strom beobachtet werden. Oberwellen Verzerrungen von Spannungen überschreiten üblicherweise wenige Prozent nicht (sowohl THD_F i THD_R); z.B. nimmt die Norm EN 50160 als Limit den Wert 8% (THD_F) an.

5.5 *Unsymmetrie*

Die Unsymmetrie ist ein Konzept, das mit Drei-Phasen-Netzwerken verbunden sind und steht für:

- Unsymmetrie der Versorgungsspannungen,
- Unsymmetrie der Belastungsströme,
- Unsymmetrie des Empfängers.

Die Unsymmetrie der Spannungen (des Stromes) tritt in Drei-Phasen-Netzen auf, bei denen der Wert der drei Spannungen (Ströme) der Komponenten sich unterscheidet und / oder die Winkel zwischen den verschiedenen Phasen sich von 120° unterscheiden.

Eine Unsymmetrie des Empfängers tritt auf, wenn die Impedanzen der jeweiligen Zweige des Empfängers nicht gleich sind.

Diese Erscheinungen sind besonders gefährlich für die Dreiphasen-Motoren, in denen sogar eine kleine Spannungsunsymmetrie zu einer um vielfaches größeren Unsymmetrie der Ströme führen kann. Unter solchen Bedingungen verringert sich das Drehmoment des Motors und es kommt zu erhöhten Wärmeverlusten in den Wicklungen und mechanischem Verschleiß. Die Unsymmetrie wirkt sich auch negativ auf die Versorgungstransformatoren aus.

Die häufigste Ursache einer Unsymmetrie ist die ungleichmäßige Belastung der Phasen. Ein gutes Beispiel dafür ist der Anschluss an ein Dreiphasen-Netzwerk großer einphasigen Belastungen, wie z.B. Bahn-Fahrmotoren.

Der Analysator PQM-707 erlaubt eine Messung der Spannung und des Stromes über die Methode der symmetrischen Komponenten. Diese Methode beruht auf der Annahme, dass jedes Set der drei unausgeglichene Vektoren auf eine Summe von drei Vektorengruppen aufgeteilt werden kann: der Gleichkomponente, Gegenkomponente und Nullkomponente.

5 Qualität der Stromversorgung – Leitfaden

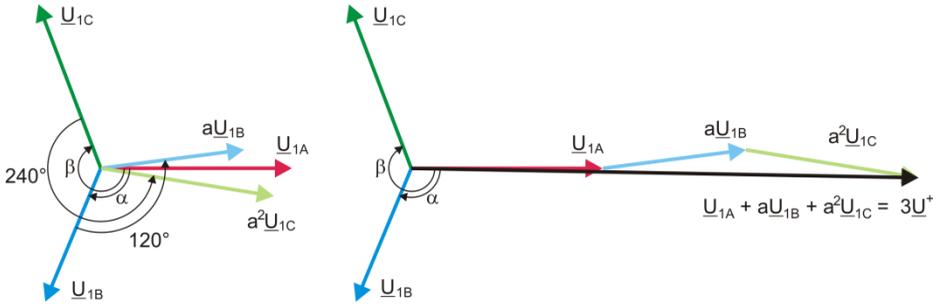


Abb. 51. Beispiel der Bestimmung der symmetrischen Gleichkomponente.

Als Beispiel wurde die Berechnungsart der Gleichkomponente der Spannung angegeben. Aus der Definition:

$$\underline{U}^+ = \frac{1}{3} (\underline{U}_{1A} + a\underline{U}_{1B} + a^2\underline{U}_{1C})$$

wo: \underline{U}^+ der Vektor der Gleichkomponente ist,

\underline{U}_{1A} , \underline{U}_{1B} , \underline{U}_{1C} sind Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen U_A , U_B , U_C

$$a = 1e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j$$

$$a^2 = 1e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j$$

Auf der Abb. 51 wurde grafisch die Methode der Bestimmung dieser Komponente gezeigt. Wie in der angegebenen Definition zu sehen ist, ist der Vektor der Gleichkomponente einem Drittel der Gesamtsumme der Komponenten gleich: \underline{U}_{1A} , $a\underline{U}_{1B}$, $a^2\underline{U}_{1C}$. Der Operator a und a^2 sind Einheitsvektoren mit einem Winkel 120° und 240° . Die Vorgehensweise ist wie folgt: der Spannungsvektor \underline{U}_{1B} muss um einen Winkel von 120° gegen den Uhrzeigersinn gedreht werden (Multiplikation durch a) und zum Vektor \underline{U}_{1A} hinzugefügt werden. Als nächstes muss der Vektor \underline{U}_{1C} um den Winkel 240° gedreht werden und zur vorherigen Summe der Vektoren hinzugefügt werden. Als Ergebnis erhält man den Vektor $3\underline{U}^+$. Der Vektor \underline{U}^+ ist die gesuchte symmetrische Komponente der gleichgerichteten Reihenfolge. Im Falle einer perfekten Symmetrie (gleiche Spannung und Winkel) wird die Gleichkomponente dem Wert der Phasenspannungen entsprechen.

Die Gleichkomponente ist das Maß der Ähnlichkeit des geprüften Sets der Dreiphasen-Vektoren zum symmetrischen Set der Vektoren der gleichgerichteten Reihenfolge.

Ähnlich ist die Gegenkomponente das Maß der Ähnlichkeit zum symmetrischen Set der Vektoren der gegen gerichteten Reihenfolge.

Die Nullkomponente besteht in Systemen, in denen die Summe der drei Spannungen (oder Ströme) ungleich Null ist.

Eine allgemein in der Energetik verwendete Größe, die die Netzunsymmetrie charakterisiert sind die Unsymmetriefaktoren der Gegen- und der Nullkomponente (Formeln für die Spannung):

$$u_0 = \frac{U_0}{U_1} \cdot 100\%$$

$$u_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\%$$

wo: u_0 – Unsymmetriefaktor der Nullkomponente,
 u_2 – Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente,
 U_0 – symmetrische Nullkomponente,

U_1 – symmetrische Gleichkomponente,
 U_2 – symmetrische Gegenkomponente.

Die bequemste Methode zur Berechnung der symmetrischen Komponenten und der Unsymmetrie-Faktoren ist das Kalkül der komplexen Zahlen zu verwenden. Die Parameter der Vektoren sind die Amplitude der Grundkomponente der Spannung (des Stromes) und ihr absoluter Phasenverschiebungswinkel. Beide Werte werden über die FFT-Transformation erhalten.

5.6 Erkennung von Spannungseinbrüchen, Überspannungen und Stromausfällen

Spannungseinbrüchen, Überspannungen und Stromausfällen sind Netzwerkprobleme, bei denen der effektive Wert der Spannung sich vom Nennwert deutlich unterscheidet. Jeder dieser drei Zustände kann vom Analysator erkannt werden, nachdem die Ereigniserkennung eingeschaltet wurde und der Benutzer die Schwellenwerte bestimmt hat.

Ein Spannungseinbruch ist ein Zustand, in dem die effektive Spannung geringer ist, als der vom Benutzer bestimmte Schwellenwert. Die Grundlage der Messung des Spannungseinbruchs ist der Wert $U_{RMS(1/2)}$, also der periodische Effektivwert der jede 1/2 Periode aktualisiert wird.

Definition des Einbruchs (nach PN-EN 61000-4-30):

Der Spannungseinbruch beginnt in dem Moment, in dem die Spannung $U_{RMS(1/2)}$ geringer ist als der bestimmte Schwellenwert und endet, wenn die Spannung $U_{RMS(1/2)}$ gleich oder größer ist, als der Schwellenwert plus die Hysterese der Spannung.

Der Schwellenwert eines Spannungseinbruchs wird meistens auf 90% U_{nom} festgelegt. Während eines Spannungseinbruchs speichert der Analysator den minimalen Spannungswert (dieser Wert wird als Restspannung U_{res} bezeichnet und einer der Parameter, der einen Einbruch charakterisiert), und den Durchschnittswert der Spannung.

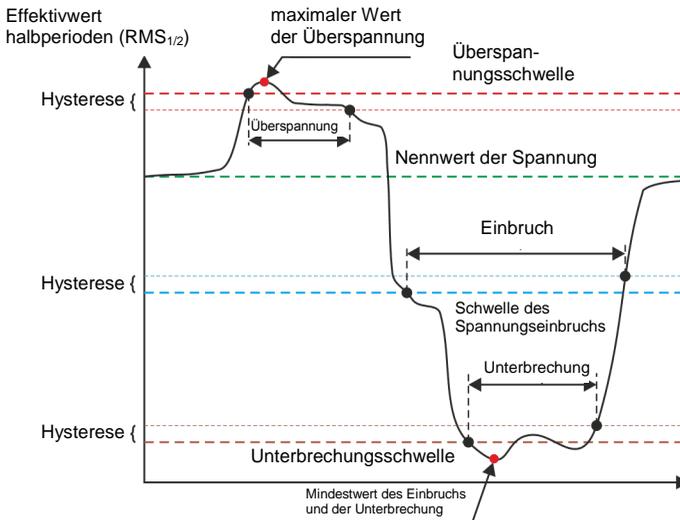


Abb. 52. Überspannungen, Spannungseinbrüche und Stromausfälle.

Ein Stromausfall ist ein Zustand, in dem die Spannung $U_{RMS(1/2)}$ geringer ist, als der dafür bestimmte Schwellenwert. Üblicherweise wird der Schwellenwert für einen Stromausfall deutlich geringer, als der Schwellenwert eines Spannungseinbruchs bestimmt, ca. 1..10% U_{nom} .

5 Qualität der Stromversorgung – Leitfaden

Ein Stromausfall beginnt in dem Moment, in dem die Spannung $U_{\text{RMS}(1/2)}$, unter den dafür bestimmten Schwellenwert sinkt und endet in dem Moment, in dem die Spannung $U_{\text{RMS}(1/2)}$ gleich oder größer ist, als der Schwellenwert plus die Hysterese der Spannung.

Während eines Stromausfalls speichert der Analysator den gespeicherten Mindestwert der Spannung und den Durchschnittswert der Spannung.

Eine Überspannung ist ein Zustand, in dem die Spannung einen gesteigerten Wert hat. Der Schwellenwert für eine Überspannung wird üblicherweise auf 110% U_{nom} bestimmt.

Eine Überspannung beginnt in dem Moment, in dem die Spannung $U_{\text{RMS}(1/2)}$, den dafür bestimmten Schwellenwert er-reicht und endet in dem Moment, in dem die Spannung $U_{\text{RMS}(1/2)}$ gleich oder kleiner ist, als der Schwellenwert minus die Hysterese der Spannung. Während einer Überspannung speichert der Analysator den gespeicherten Maximalwert und den Durchschnittswert der Spannung.

Der Wert der Hysterese für diese drei Zustände ist gleich und wird als durch den Benutzer festgelegter Prozentsatz der Nennspannung (Parameter **Hysterese der Ereigniserkennung**) bestimmt.

Der Analysator speichert den Beginn und das Ende des Ereignisses (mit einer Genauigkeit von 1/2 Periode).

Die Mindestdauer eines Spannungseinbruchs, eines Stromausfalls und einer Überspannung beträgt 1/2 Periode.

Die Werte $U_{\text{RMS}(1/2)}$, werden innerhalb 1 Periode bestimmt, in dem Moment, in dem die Grundkomponente der Spannung den Nullpunkt passiert und wird alle halbe Periode aktualisiert, unabhängig für jeden Spannungskanal. Dies bedeutet, dass diese Werte zu unterschiedlichen Zeitpunkten für unterschiedliche Kanäle abgerufen werden. Abb. 53 zeigt, wie die Werte $\text{RMS}_{1/2}$ bestimmt werden, am Beispiel zwei Spannungsphasen. Die Information darüber, dass die Grundkomponente den Nullpunkt passiert hat, wird über die FFT-Transformation erhalten.

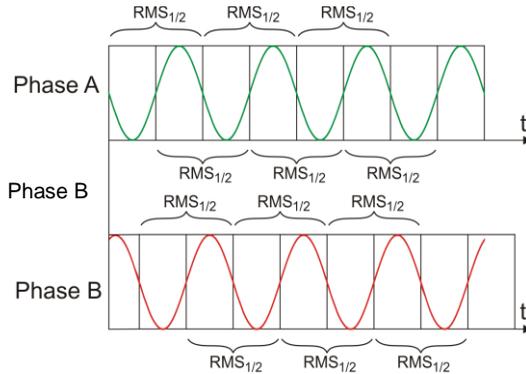


Abb. 53. Bestimmung des Wertes $U_{\text{rms}(1/2)}$

5.7 Diagramme CBEMA und ANSI

Die CBEMA-Kurve wurde zum ersten Mal in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts von der Organisation vorgeschlagen, von deren Namen der Name der Kurve stammt - *Computer and Business Equipment Manufacturers Association* (heute ITI, *Information Technology Industry*), die Hersteller von Computern und Büroausrüstung umfasste. Die Kurve sollte als Hilfe bei der Konstruktion von Netzteilen dienen und hat ursprünglich ein Diagramm der Toleranz auf die Größe und die Dauer der Störungen im Stromnetz dargestellt. Später wurde die Kurve in der Konstruktion von Geräten, die empfindlich auf Spannungsschwankungen sind, als Referenz-bereich, in dem das Gerät ordnungsgemäß betrieben werden kann. Am Ende wurde die Kurve populär bei der Analyse der Stromversorgungsqualität, bezüglich solcher Störungen wie Überspannung, Verlust und Einbruch im Netzwerk.

Auf dem Diagramm auf der vertikalen Achse ist der Spannungswert in Prozent in Bezug auf den Nennwert angegeben, und auf der horizontalen Achse ist die Einheit die Zeit (in logarithmischem Maßstab). Der mittlere Teil des Diagramms (zwischen den Kurven) zeigt den Bereich des korrekten Betriebs des Geräts. Der Bereich oberhalb zeigt Zustände erhöhter Spannung an, die zur Beschädigung oder Auslösung des Überspannungsschutzes führen können und der Bereich unter

den Kurven bezieht sich auf die Situation einer niedrigen Spannung im Netz, was dazu führen kann, dass die Stromversorgung ausgeschaltet wird oder vorübergehenden zu niedrig ist und zu einem falschen Betrieb der Geräte führen kann.

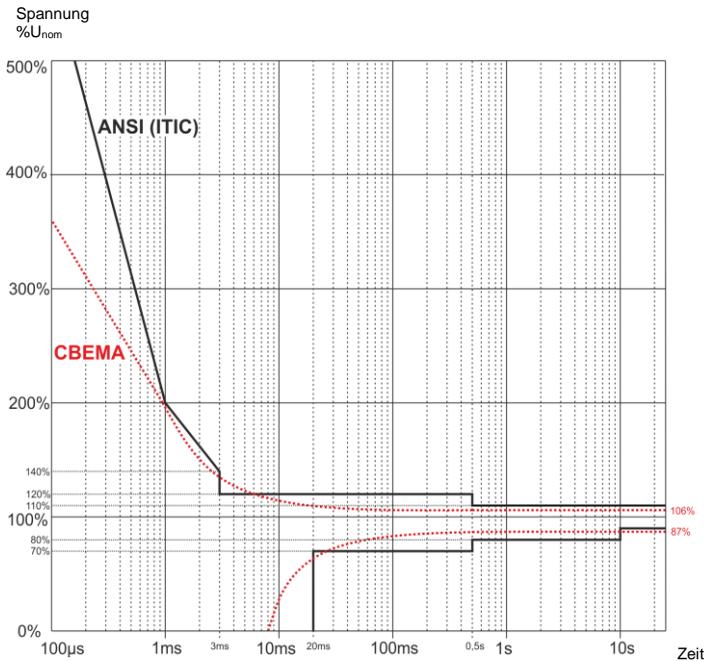


Abb. 54. Toleranzkurven der Versorgungsspannung ANSI (ITIC) und CBEMA.

Wie in dem Diagramm zu sehen ist, besteht eine Beziehung zwischen der Spannung und der Zeit des Auftretens der Störung. Zum Beispiel, eine Überspannung von 200%U_{nom} und einer Dauer von 1 ms hat in typischen Fällen keinen Ausfall oder Fehlfunktion (Punkt zwischen den Kurven) zur Folge, jedoch kann eine Störung mit einer solchen Amplitude, die eine Halbperiode des Netzes dauert schlimme Folgen haben (Punkt oberhalb der beiden Kurven). Im Allgemeinen wurde davon ausgegangen, dass in einer typischen Situation, die Ereignisse, die im Stromnetz auftreten, im mittleren Bereich des Diagramms sein sollten (zwischen den Kurven), wenn es um den Wert der Netzspannung geht und sie sollten dann auch nicht zu Fehlfunktionen führen oder Schäden an den angeschlossenen Geräten. Gerätehersteller (insbesondere Hersteller von Netzteilen) nutzen oft dieses Diagramm beim Entwurf, um in diesem Bereich einen zuverlässigen Betrieb und die Beibehaltung einer entsprechenden Ausgangsspannung zu gewährleisten. Beachten Sie jedoch, dass die Kurve typischen Fälle darstellt und keine Garantie für die korrekte Funktion der einzelnen Geräte ist, weil die Toleranz gegenüber Störungen variiert.

Die ITIC-Kurve ist der Nachfolger der Kurve CBEMA, die durch ITI im Jahre 1994 bearbeitet wurde, und danach zum jetzigen Stand im Jahre 2000 modifiziert wurde. Diese Kurve hat die Form von zwei gebrochenen und ist auch unter dem Namen der ANSI-Kurve bekannt, nachdem sie von dem amerikanischen Normungsinstitut ANSI (*American National Standards Institute*) adaptiert wurde. Beide Kurven wurden auf Abb. 54 gezeigt.

Sonel Analysis bietet die Möglichkeit, die charakteristischen Punkte der Kurven zu ändern, so dass sie Ihren speziellen Anforderungen angepasst werden kann.

5.8 Mittelung der Messergebnisse

Die Überwachung des Netzwerks während einer längeren Zeit bedeutet die Sammlung einer großen Datenmenge. Damit eine spätere Analyse dieser Daten überhaupt möglich ist, war es notwendig Mechanismen einzuführen, die Größe der Daten auf einen akzeptablen, sowohl durch die Maschine, als auch den Menschen, Wert reduzieren.

Als Beispiel wird hier die Prüfung des Netzes auf die Übereinstimmung mit der Norm EN 50160 angegeben. Die standardmäßige Prüfungsdauer beträgt eine Woche. Wenn alle 200-milisekündigen Effektivwerte der Spannung gespeichert würden, würden wir 3,024 Millionen Messungen erhalten. Die Bearbeitung einer solchen Datenmenge könnte zeitaufwändig und schwierig sein.

Deshalb wurde das Konzept der Mittelung eingeführt, die auf der Aufzeichnung von jeweils einem Wert pro Zeitabschnitt für die Analyse beruht. Für die Norm EN-50160 beträgt sie 10 Minuten. In so einem Fall berechnet der Analysator den Durchschnittswert aus 10 Minuten aufgrund von ca. 3000 200-milisekündigen Werten (in Annäherung ist der formelle 200-milisekündige Wert in Wirklichkeit ein 10/12-Perioden Wert, der mit der Frequenz des Netzes synchronisiert ist). Alle 10 Minuten wird ein weiterer Durchschnittswert der Spannung gespeichert, was zur Ansammlung von „nur“ 1008 Messergebnissen führt.

Die Abb. 55 zeigt die Methode zur Bestimmung der durchschnittlichen Werte des Analysators PQM-707 bei Mittelungszeiten von 10 Sekunden oder mehr, am Beispiel einer 10-minütigen Mittelungszeit. Diese Methode erfüllt die Anforderungen der Klasse A der Norm IEC 61000-4-30.

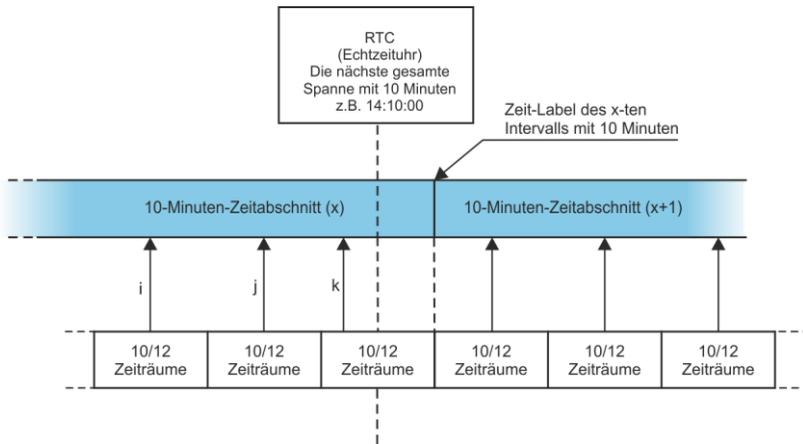
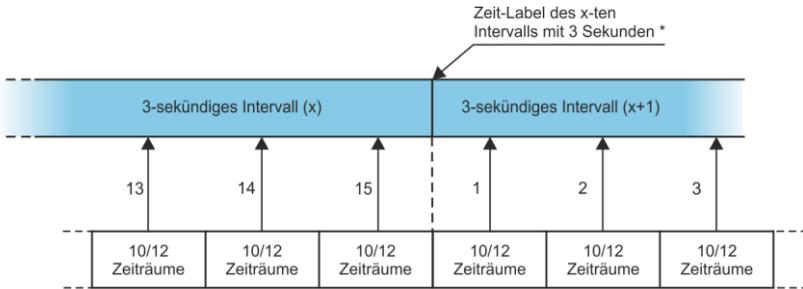


Abb. 55. Die Bestimmung der Mittelungsintervalle von 10 Sekunden und länger (am Beispiel einer 10-minütigen Mittelung)

Die Mittelwerte sind mit der Echtzeituhr synchronisiert wie folgt. Wenn die Uhr eine weitere Multiplizität der Mittelungszeit abmisst, wird die aktuelle 10/12-Perioden Messung als letzte zum Durchschnittswert hinzugefügt (k-te Messung auf der Abb. 55). Gleichzeitig wird die endende Mittelungsintervall mit einem Zeitetikett gekennzeichnet, dass den Ende entspricht. Die nächste 10/12-Perioden-Messung ist die erste in der nächsten Mittelungsintervall.

Etwas anders sieht die Mittelung bei Zeiten von weniger als 10 Sekunden aus. Obwohl alle in Zeiteinheiten ausgedrückt werden (200ms, 1s, 3s, 5s), werden sie eigentlich in Multiplizitäten Netzperiode abgemessen. Beispielsweise bedeutet die Auswahl einer Mittelungszeit von 3 Sekunden eine Mittelung in einer Zeit die einer 150/180 Periode des Netzes entspricht (15 10/12-Perioden-Messungen).



(*) in Wirklichkeit ist das ein 150/180 - Periodenbereich

Abb. 56. Die Bestimmung der Mittelungsintervalle von weniger als 10 Sekunden (am Beispiel einer 3-sekündigen Mittelung)

Die Art der Bestimmung der Mittelwerte für diese Zeiten zeigt die Abb. 56. Die Synchronisierung mit der Echtzeituhr findet hier keine Anwendung. Nachdem eine bestimmte Anzahl von 10/12-Perioden-Messungen gespeichert wurde, wird der aktuelle Mittelungsintervall beendet und ein neuer wird eingeleitet. Die Zeitetikette entspricht dem Ende des Mittelungsintervalls.

Die Mittelung der Ergebnisse der Messungen führt zum Verlust der Extremwerte (Glättung der Ergebnisse). In Fällen, in denen Informationen über die Grenzwerte der gemessenen Parameter wichtig sind, kann der Benutzer die Möglichkeit nutzen, die minimalen, maximalen und momentanen Werte innerhalb der Mittelungszeit zu messen. Wenn der jeweilige Parameter in einer 10/12-Perioden-Zeit gemessen wird, ist der minimale und maximale Wert dementsprechend der größte und kleinste Wert der 10/12-Periode, der in diesem Mittelungsintervall gemessen wurde. Der momentane Wert hingegen ist der letzte 10/12-Perioden-Wert in dem jeweiligen Mittelungsintervall.

Im Fall von RMS Strom und Spannung, ist die Methode zur Ermittlung von Minimal- u. Maximalwerten unterschiedlich. Sie basiert auf $U_{\text{rms}(1/2)}$ (RMS Wert berechnet für einen Zyklus, aktualisiert wird nach jedem Halbzyklus. Dies ermöglicht eine hohe Empfindlichkeit bei momentanen Änderungen der gemessenen Werten.

Die Wahl der richtigen Mittelungszeit ist nicht einfach. Größtenteils wird sie durch die Art der Störungen im Netz und die Erwartungen des Benutzers, bezüglich der endgültigen Datenanalyse bedingt. Oft entsteht die Situation, dass nur die Tatsache bekannt ist, dass gewisse Probleme im Versorgungsnetz auftreten und die Messungen mit einem Analysator die Ursache feststellen sollen. In so einem Fall ist es besser kürzere Mittelungszeiten zu verwenden (z.B. 10 Sekunden) und die Speicherung der minimalen und maximalen Werte zu aktivieren (für Spannungen und Ströme wird empfohlen eine Periode zur Bestimmung des minimalen und maximalen Werts zu wählen, die die kürzeste ist, also 1/2 Periode). Eine kurze Mittelungszeit erlaubt es genauere Diagramme des Verlaufs der Parameter zu erstellen, und die Minima und Maxima werden erkannt und gespeichert. Die Aufzeichnung mit kurzen Mittelungszeiten wird meistens in eingeschränkten Zeiträumen durchgeführt, vor allem aufgrund des schnellen Datenwachstums; das Ziel einer solchen Aufzeichnung ist es die mögliche Ursache der Anomalie zu erkennen und nicht eine langfristige Analyse.

Die Aufzeichnung mit kurzen Mittelungszeiten kann für die Beurteilung der Arbeit des Netzwerkes und der Störungen ausreichend sein. Jedoch ähnlich genaue Informationen wird man wahrscheinlich bei einer längeren Mittelungszeit erhalten können (im Minutenbereich), mit aktivierter Aufzeichnung des minimalen und maximalen Wertes und Erkennung von Ereignissen. Ein wichtiger Vorteil in dieser Situation ist die viel geringere Datenmenge nach der Aufzeichnung, was eine schnellere Datenlesung und Analyse bedeutet.

Für die Netzqualitätsprüfung hingegen werden gemäß der Norm EN 50160 durchgeführt. In diesem Fall wird die Analyse bei einer längeren Messzeit durchgeführt (z.B. 7 Tage), deshalb ist die gewählte Mittelungszeit auch dementsprechend lang – 10 Minuten.

5 Qualität der Stromversorgung – Leitfaden

Man muss beachten, dass es keine optimale Einstellung sowohl der Mittelungszeit, als auch der anderen Parameter oder der Schwellenwerte. Jedes Netzwerk ist anders und es gibt verschiedene Prüfungsziele. Daher kann die optimale Konfiguration des Analysators mehrere Versuche verlangen und hängt auch von der Erfahrung des Benutzers ab.

6 Technische Daten

- Die Spezifikationen können ohne Ankündigung geändert werden. Die neuesten Versionen der Datenblätter sind auf der Website www.sonel.pl erhältlich.
- Die grundlegende Unsicherheit ist die Unsicherheit des Messgeräts unter den Referenzbedingungen, die in der aufgeführt sind.
- Die angegebenen Unsicherheiten betreffen den Analysator PQM-707 ohne zusätzliche Wandler und Stromzangen.
- Abkürzungen:
 - m.v. - Eichwert,
 - U_{nom} – Nennwert der Spannung,
 - I_{nom} – Nennbereich des Stroms (Zangen),
 - RMS - Effektivwert,
 - h – te Ordnung der Oberwellen,
 - δ_{ph} – zusätzliche Unsicherheit, die aus dem Messfehler der Messung der Phase zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes hervorgehen.

6.1 Eingänge

Spannungseingänge

Anzahl der Eingänge	5 (L1, L2, L3, N, PE - 4 Messkanäle) galvanisch nicht isoliert
Maximale Eingangsspannung	L1, L2, L3, N: $760 V_{\text{RMS}}$ Bezug auf PE
Peak-Eingangsspannung (ohne anzuschneiden)	1150 V
Bereich der gemessenen konstanten Spannungen	$\pm 1150 V$
Analoge Bandbreite (-3dB)	12 kHz
Wandler	vom Benutzer bestimmt
Impedanz der Messeingänge	13,8 M Ω (L-L, L-N) 6,9 M Ω (L-PE)
CMRR	>70 dB (50 Hz)

Stromeingänge

Anzahl der Eingänge	4 (L1, L2, L3, N) galvanisch nicht isoliert zueinander
Nennwert der Eingangsspannung	1 V_{RMS}
Peak-Eingangsspannung	3,6 V
Analoge Bandbreite (-3dB)	12 kHz
Eingangsimpedanz	Kanal der harten Zangen: 100 k Ω Kanal der flexiblen Zangen: 12,4 k Ω
Messbereich (ohne Wandler)	Flexible Zangen F-1(A)/F-2(A)/F-3(A): 1..3000 A ($\pm 10000A$ Peak, 50 Hz) CT Zangen C-4(A), C-5(A): 1..1000 A (3600 A Peak) CT Zangen C-6(A): 0,01..10 A (36 A Peak) CT Zangen C-7(A): 0..100 A (360 A Peak)
Wandler	vom Benutzer bestimmt
CMRR	60 dB (50 Hz)

6 Technische Daten

6.2 *Abtastung und RTC-Uhr*

Abtastung und RTC-Uhr

A/C-Netzteil	16-Bit
Abtastrate	10,24 kHz für 50Hz und 60Hz Simultane Abtastung auf allen Kanälen
Proben je Periode	204,8 für 50 Hz; 170,67 für 60 Hz
PLL-Synchronisation	40..70Hz
Referenz-Kanal für das System PLL	L1-N, L1-L2 (depending on mains type)
Echtzeituhr	±3,5ppm max. (ca. ±9 Sekunden/Monat; ± 0,3 Sekunden/Tag) im Temperaturbereich -20°C...+55°C

6.3 *Gemessene Parameter - Genauigkeit, Auflösung und Bereiche*

6.3.1 *Bezugsbedingungen*

Tab. 9. Bezugsbedingungen.

Bezugsbedingungen

Umgebungstemperatur	23°C ±2°C
Relative Luftfeuchtigkeit	40...60%
Externe Versorgungsspannung	12V ±1%
Eingangsspannung	$U_{nom} \pm 1\%$
Flicker	$P_{ST} < 0,1$
Spannungsunsymmetrie	≤ 0,1% für den Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente (gilt nur für Dreiphasennetze)
Äußeres konstantes Magnetfeld	≤ 40A/m (konstant) ≤ 3A/m (variabel) für eine Frequenz von 50/60Hz
Konstante Komponente der Spannung und des Stromes	Null
Wellenformen	Sinusförmige
Frequenz	50 Hz ±0,5 Hz oder 60 Hz ±0,5 Hz

6.3.2 *Messungengenauigkeiten innerhalb des angegebenen Temperaturbereiches*

Die Grundungenauigkeit aus den technischen Daten gelten nur für die Bezugsbedingungen aus (Tab. 9). Außerhalb dieser, muss ein zusätzlicher Faktor verwendet werden, siehe Abb. 57. Der Faktor (M) ist 2,0 beim Umgebungstemperaturbereich 0°C...+45°C. Über +45°C bis +55°C erhöht sich dieser linear bis zu 3,0. Unter 0°C bis -25°C erhöht sich dieser ebenfalls linear bis zu 3,0.

Zum Beispiel: Grundungenauigkeit für RMS Spannungsmessung ist ±0,5 % U_{nom} .

- Bei -10°C Messungenauigkeit ist $\pm 2,4 \times 0,5\% U_{nom}$ was $\pm 1,2\% U_{nom}$ (Faktor 2,4)
- Bei 0°C Messungenauigkeit ist $\pm 1\% U_{nom}$ (Faktor 2,0)
- Bei +45°C Messungenauigkeit ist $\pm 1\% U_{nom}$ (Faktor 2,0)
- Bei +50°C Messungenauigkeit ist $\pm 1,25\% U_{nom}$ (Faktor 2,5)

6 Technische Daten

	0..1000A (3600A _{p-p})	0,01% I _{nom}	Zusätzliche Messunsicherheit 0,5..100A: ≤ (1,5% + 1A) 100..800A: ≤ 2,5% 800..1000A AC: ≤ 4% 800..1400A DC: ≤ 4%
	0..10A (36A _{p-p})	0,01% I _{nom}	CT Zangen C-6(A) Zusätzliche Messunsicherheit 0,01..0,1A: ± (3% + 1mA) 0,1..1A: ±2,5% 1..12A: ±1%
	0..100A (360A _{p-p})	0,01% I _{nom}	CT Zangen C-7(A) Zusätzliche Messunsicherheit 0..100A: ± (0,5% + 0,02A) (45..65Hz) 0..100A: ± (1,0% + 0,04A) (40..1000Hz) ±5%
Scheitelfaktor	1..10 (1..3,6 für I _{nom}) für I _{RMS} ≥ 1% I _{nom}	0,01	

6.3.5 Frequenz

Frequenz	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
f	40..70Hz 10% U _{nom} ≤ U _{RMS} ≤ 120% U _{nom} U _{nom} ≥ 100 V	0,01Hz	±0,05Hz

6.3.6 Oberwellen

Oberwellen	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
Ordnung der Oberwellen (n)	DC, 1..40, Gruppierung: Untergruppen der Oberwellen nach EN 61000-4-7		
Amplitude U _{RMS}	0..200% U _{nom}	0,01% U _{nom}	±0,15% U _{nom} wenn m.v. <3% U _{nom} ±5% m.v. wenn m.v. ≥ 3% U _{nom} (nach EN 61000-4-7 Klasse II)
Amplitude I _{RMS}	Abhängig von den verwendeten Zangen (siehe Datenblatt I _{RMS})	0,01% I _{nom}	±0,5% I _{nom} wenn m.v. <10% I _{nom} ±5% m.v. wenn m.v. ≥ 10% I _{nom} (nach EN 61000-4-7 Klasse II)
THD-R der Spannung (n = 2..40)	0,0...100,0% für U _{RMS} ≥ 1% U _{nom}	0,1%	±5%
THD-R des Stromes (n = 2..40)	0,0...100,0% für I _{RMS} ≥ 1% I _{nom}	0,1%	±5%
Phasenwinkel (Spannung)	-180°...+180°	0,1°	±(n × 1°)
Phasenwinkel (Strom)	-180°...+180°	0,1°	±(n × 1°)

6.3.7 Leistung und Energie

Leistung und Energie	Bedingungen (für die Leistung und Energie 80% $U_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < 120\% U_{\text{nom}}$)	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit ⁽¹⁾
Wirkleistung Wirkenergie	2% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < 5\% I_{\text{nom}}$ $\cos\varphi = 1$	abhängig von U_{nom} und I_{nom}	$\sqrt{2,5^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	5% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} \leq I_{\text{nom}}$ $\cos\varphi = 1$		$\sqrt{2,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	5% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < 10\% I_{\text{nom}}$ $\cos\varphi = 0,5$		$\sqrt{2,5^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	10% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} \leq I_{\text{nom}}$ $\cos\varphi = 0,5$		$\sqrt{2,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
Blindleistung Blindenergie	2% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < 5\% I_{\text{nom}}$ $\sin\varphi = 1$	abhängig von U_{nom} und I_{nom}	$\sqrt{4,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	5% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < I_{\text{nom}}$ $\sin\varphi = 1$		$\sqrt{3,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	5% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < 10\% I_{\text{nom}}$ $\sin\varphi = 0,5$		$\sqrt{4,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	10% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < I_{\text{nom}}$ $\sin\varphi = 0,5$		$\sqrt{3,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	10% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < I_{\text{nom}}$ $\sin\varphi = 0,25$		$\sqrt{4,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
Scheinleistung Scheinenergie Leistungsfaktor (PF)	2% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < 5\% I_{\text{nom}}$	abhängig von U_{nom} und I_{nom}	$\pm 2,5\%$
	5% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} \leq I_{\text{nom}}$		$\pm 2,0\%$
	0...1 50% $U_{\text{nom}} \leq U_{\text{RMS}} < 150\%$ U_{nom}		0,01 $\pm 0,03$
Phasenverschie- bungsfaktor ($\cos\varphi$ /DPF)	10% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < I_{\text{nom}}$	0,01	$\pm 0,03$
	0...1 50% $U_{\text{nom}} \leq U_{\text{RMS}} < 150\%$ U_{nom}		
	10% $I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < I_{\text{nom}}$		

(1) Siehe Abschnitt 6.3.8.

6.3.8 Schätzung der Messunsicherheit der Leistung und Energie

Die gesamte Messunsicherheit der Leistung und der Wirk- und Blindenergie (der grundlegenden Komponente) und der Leistung der Oberwellen, basiert auf einer Verallgemeinerung der folgenden Formel (für die Energie wird die zusätzliche Unsicherheit aufgrund der Messzeit ignoriert, weil sie viel geringer ist, als die anderen Unsicherheiten):

$$\delta_{p,q} \cong \sqrt{\delta_{U_h}^2 + \delta_{I_h}^2 + \delta_{ph}^2}$$

- wo:
- $\delta_{p,q}$ – Messunsicherheit für die Messung der Wirk- oder Blindleistung,
 - δ_{U_h} – gesamte Messunsicherheit der Messung der Amplitude der Oberwellen der Spannung (Analysator, Messwandler, Zangen),
 - δ_{I_h} – gesamte Messunsicherheit der Messung der Amplitude der Oberwellen des Stromes (Analysator, Messwandler, Zangen),
 - δ_{ph} – zusätzliche Unsicherheit, die aus dem Messfehler der Messung der Phase zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes hervorgehen.

Die Unsicherheit δ_{ph} kann bestimmt werden, wenn der Winkel der Phasenverschiebung für den uns interessierenden Frequenzbereich bekannt ist. In der Tab. 10 wurde der Fehler der Phasendifferenz zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes für den Analysator PQM-707 (ohne Zangen und Wandler) gezeigt.

Tab. 10. Der Fehler der Phase des Analysators PQM-707 abhängig von der Frequenz.

Frequenzbereich	0..200 Hz	200..500 Hz	500 Hz..1 kHz	1..2 kHz	2..2,4 kHz
Fehler	≤1°	≤2,5°	≤5°	≤10°	≤15°

Der Phasenfehler der durch die verwendeten Wandler und Zangen eingeführt wird, kann meistens in der technischen Dokumentation dieser gefunden werden. In so einem Fall sollte der zu erwartende Phasenfehler zwischen der Spannung und dem Strom für die uns interessierende Frequenz, der durch alle Elemente des Messsystems eingeführt wird, geschätzt werden: Spannungs- und Stromwandler, Zangen und der Analysator.

Die Messunsicherheit aufgrund des Phasenfehlers für die Wirkleistung der Oberwellen kann durch folgende Formel bestimmt werden:

$$\delta_{ph} = 100 \left(1 - \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi)}{\cos\varphi} \right) [\%] \cos\varphi \neq 0,$$

Die Messunsicherheit der Blindleistung der Oberwellen hingegen, kann mithilfe der folgenden Formel bestimmt werden:

$$\delta_{ph} = 100 \left(1 - \frac{\sin(\varphi - \Delta\varphi)}{\sin\varphi} \right) [\%] \sin\varphi \neq 0,$$

In den beiden Formeln φ bedeutet den tatsächlichen Winkel der Verschiebung zwischen den Oberwellen des Stromes und der Spannung, und den $\Delta\varphi$ gesamten Phasenfehler für die jeweilige Frequenz. Aus den vorgestellten Abhängigkeiten kann schlussgefolgert werden, dass die Messunsicherheit der Leistung, für denselben Phasenfehler, deutlich vom Faktor der Phasenverschiebung zwischen dem Strom und der Spannung abhängt. Siehe Abb. 58.

Beispiel

Berechnung der Messunsicherheit der Wirkleistung und der grundlegenden Komponente.

Bedingungen: $\varphi = 60^\circ$, $U_{RMS} \cong U_{nom}$, $I_{RMS} = 5\% I_{nom}$.

$\pm \sqrt{1,0^2 + \delta_{ph}^2} \%$ *Die grundlegende Unsicherheit beträgt.*

Für einen Frequenzbereich 0-200Hz ist der Phasenfehler PQM-707 gleich 1°. Nach Einsetzung in der Gleichung:

$$\delta_{ph} = 100 \left(1 - \frac{\cos(\varphi + \Delta\varphi)}{\cos\varphi} \right) = 100 \left(1 - \frac{\cos(61^\circ)}{\cos(60^\circ)} \right) = 3,04\%$$

somit beträgt die Messunsicherheit:

$$\delta = \pm \sqrt{1,0^2 + 3,04^2} = \pm 3,20\%$$

Unter denselben Bedingungen, aber bei einer Phasenverschiebung $\varphi = 10^\circ$, erhalten wir:

$$\delta_{ph} = 100 \left(1 - \frac{\cos(11^\circ)}{\cos(10^\circ)} \right) = 0,32\%$$

und die Messunsicherheit wird betragen:

$$\delta = \pm \sqrt{1,0^2 + 0,32^2} = \pm 1,05\%$$

Diese Berechnungen berücksichtigen die zusätzlichen Fehler nicht, die durch die verwendeten Zangen und Wandler eingeführt werden.

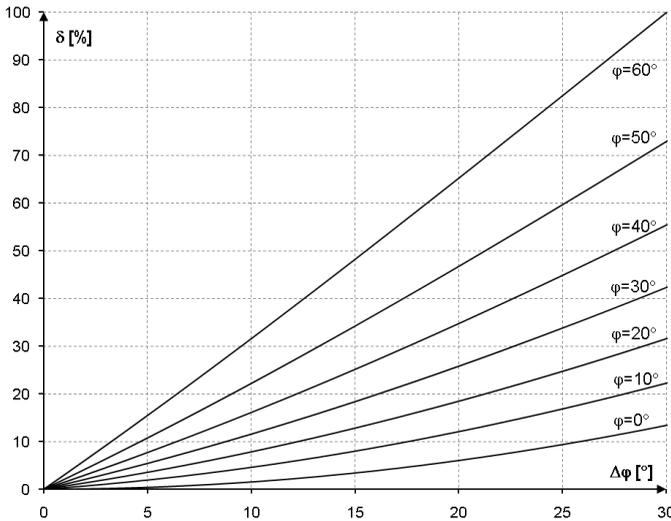


Abb. 58. Die zusätzliche Unsicherheit des Phasenfehlers in Abhängigkeit vom Winkel der Phasenverschiebung.

6.3.9 Lichtflimmern (Flicker)

Lichtflimmern (Flicker) (flicker)	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
P_{st} (10 Min.), P_{it} (2h)	0,4...10 für $U_{RMS} \geq 80\% U_{nom}$	0,01	$\pm 10\%$ im Bereich der in der Norm EN 61000-4-15 tabellarisierten Werte

6.3.10 Unsymmetrie

Unsymmetrie (Spannung und Strom)	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
Unsymmetriefaktor der Gleichkomponente, Gegenkomponente und der Nullkomponente	0,0%...10,0% für $80\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 150\% U_{nom}$	0,1%	$\pm 0,3\%$ (Absolute Unsicherheit)

6.4 Ereigniserkennung - Effektivwerte der Spannung und des Stromes

Spannung U_{RMS} (Einbrüche, Ausfälle und Überspannungen)	Bereich	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
$U_{RMS(1/2)}$	0,0%...120,0% U_{nom}	0,01% U_{nom}	$\pm 1\% U_{nom}$
Erkennungsschwellen	Vom Benutzer in Prozentsätzen oder absoluten Werten eingestellt. Die Ereigniserkennung nach $U_{RMS(1/2)}$ (effektiver Wert 1. Periode, der jede $\frac{1}{2}$ Periode aktualisiert wird).		
Laufzeit	hh:mm:ss.ms	Halbe Periode	Eine Periode

6 Technische Daten

Aufzeichnung eines Oszillogramms 2 Perioden vor dem Ereignis + 4 Perioden nach dem Ereignis (insgesamt 6 Perioden)
204,8/170,67 (50 Hz/60 Hz) Proben je Periode

Strom I_{RMS} (min., max.)	Bereich	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
$I_{RMS(1/2)}$	0,0%...100,0% I_{nom}	0,01% I_{nom}	$\pm 1\% I_{nom}$
Erkennungsschwellen	Vom Benutzer in Prozentsätzen oder absoluten Werten eingestellt. Die Ereigniserkennung nach $I_{RMS(1/2)}$ (effektiver Wert 1. Periode, der jede $\frac{1}{2}$ Periode aktualisiert wird).		
Laufzeit	hh:mm:ss.ms	Halbe Periode	Eine Periode
Aufzeichnung eines Oszillogramms	2 Perioden vor dem Ereignis + 4 Perioden nach dem Ereignis (insgesamt 6 Perioden) 256 Proben je Periode		

6.4.1 Hysterese der Ereigniserkennung

Hysterese der Ereigniserkennung	Bereich	Berechnungsmethode
Hysterese	0..10%	Bei Spannung: berechnet als Prozentsatz zur Nennspannung Bei Strom: berechnet als Prozentsatz zum max. Schwellenwert

6.5 Aufzeichnung

Recorder

Mittelungszeit ⁽¹⁾ 1s, 3s, 10s, 30s, 1min, 10min, 15min, 30min.

Min./max. Mittelung für $U_{RMS(1/2)}$

$U_{RMS}^{(2)}$

Min./max. Mittelung für $I_{RMS(1/2)}$

$I_{RMS}^{(2)}$

Modus zum Start der Aufzeichnung manuell
ab dem ersten erkannten Ereignis

nach Zeitplan (vier vordefinierte Zeiträume)

Messkonfiguration Möglichkeit zu Definierung einer unbegrenzten Anzahl von Messkonfigurationen, gespeichert im internen Speicher.

Aufzeichnungsdauer Abhängig von der Konfiguration

Speicherplatz Herausnehmbare Speicherkarte: microSD HC 4 GB (bis zu 32 GB unterstützt)

Modell des Speichers Linear

Sicherheitseinstellungen Möglichkeit die Tastatur zu sperren, um sie vor unbefugtem Zugriff zu schützen

(1) Mittelungszeiten von weniger als 10 Sekunden gleichen in Wirklichkeit der Multiplizität der Periode des Netzwerks: 1s – 50/60 Perioden, 3s – 150/180 Perioden.

(2) $U_{RMS(1/2)}$ und $I_{RMS(1/2)}$ bezeichnen die Effektivwerte für 1 Periode, die alle $\frac{1}{2}$ Periode aktualisiert werden.

Aufgezeichnete Parameter	Durchschnittswert	Minimalwert	Maximalwert	Momentwert
Effektive Phasen-/Leiterspannung (abhängig von der Art des Systems) U_{RMS}	•	•	•	
Effektive Leiterspannung (nur 3-Phasen 4-Leiter und Zweiphasennetz) U_{RMS}	•			

Gleichspannung	•	•	•	
Effektiver Strom I_{RMS}	•	•	•	
Gleichstrom ⁽¹⁾	•	•	•	
Frequenz f	•	•	•	
Spannung Krest Faktor	•	•	•	
Strom Krest Faktor CF I	•	•	•	
Unsymmetriefaktor der Gegen- und Gleichkomponente, symmetrische Komponenten: Gegen-, Gleich-, Null- (Spannung) U_0, U_1, U_2, u_0, u_2	•	•	•	
Unsymmetriefaktor der Gegen- und Gleichkomponente, symmetrische Komponenten: Gegen-, Gleich-, Null- (Strom) I_0, I_1, I_2, i_0, i_2	•	•	•	
Flickerfaktor P_{st} und P_{it}				•
Wirkleistung (aufgezeichnet und abgegeben) P_+, P_-	•	•	•	
Blindleistung (aufgezeichnet und abgegeben) $Q_{1+}, Q_{1-} / Q_{B+}, Q_{B-}$	•	•	•	
Scheinleistung S	•	•	•	
Verzerrungsleistung D /Scheinleistung der Verzerrung S_N	•	•	•	
Leistungsfaktor PF	•	•	•	
Phasenverschiebungsfaktor $\cos\phi$ /DPF	•	•	•	
Faktor $\tan\phi$	•	•	•	
Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben) E_{P+}, E_{P-}				•
Blindenergie (aufgezeichnet und abgegeben) E_{Q+}, E_{Q-}				•
Scheinenergie E_s				•
Gesamte Oberwellen-Verzerrung (THD-F) THD-F der Spannung	•	•	•	
Gesamte Oberwellen-Verzerrung (THD-F) THD-F des Stromes	•	•	•	
Amplituden der Oberwellen der Spannung $U_{h1} \dots U_{h40}$	•	•	•	
Amplituden der Oberwellen des Stromes $I_{h1} \dots I_{h40}$	•	•	•	

⁽¹⁾ Nur mit C-5(A) Zangen

6.6 Spannungsversorgung

Externe Spannungsversorgung

Nennspannungsbereich	100-240 V AC, 50-60 Hz
Absolute maximale Eingangsspannung	90-264 V AC, 50-60 Hz
Überspannungskategorie	II 300 V
Ausgangsspannung und -strom	12 V DC 2,5 A
Ausgangsleistung	30 W max.

Wiederaufladbare Akkus

Art, Nennspannung, Nennkapazität	Li-Ion 11,1 V 3,4 Ah 37,7 Wh
Zykluslebensdauer	70% der Nennkapazität nach 500 lade/entlade Zyklen

6 Technische Daten

Minimale Laufzeit mit Akku (voll geladen, angegebener Temperaturbereich, max. LCD Helligkeit)	min. 4 h
Typische Laufzeit mit Akku (voll geladen, Temperaturbereich 0-40°C, LCD Helligkeit 50%)	ca. 6 h
Ladezeit (Akku voll entladen, Versorgung: externe Spannungsversorgung, Umgebungstemperaturbereich: 0...40°C)	max. 2 h
Ladezeit via USB: (Akku voll entladen, Analysator AUS, externe Spannungsversorgung nicht angeschlossen, Umgebungstemperaturbereich 0...40°C)	ca. 30 h
Stromverbrauch des Akkus in ausgeschaltetem Zustand (keine externe Spannungsversorgung angeschlossen)	< 1 mA
Stromverbrauch des Akkus im sleep Modus (keine externe Spannungsversorgung angeschlossen)	< 75 mA
Maximale Laufzeit im sleep Modus bis zu voll entladenen Akkus (voll geladene Akkus, keine externe Spannungsversorgung)	ca. 45 h

6.7 Unterstützte Netztypen

Arten von unterstützten Netzwerk (direkt und indirekt)

1-Phasen-	Einphasennetz mit Nulleiter (Klemmen L1, N, PE)
2-Phasen- (Split-Phase)	Zweiphasennetz mit Nulleiter (Klemmen L1, L2, N, PE)
3-Phasen 4-Leiter	Dreiphasen 4-Leiter Netz mit Nulleiter (Klemmen L1, L2, L3, N, PE)
3-Phasen 3-Leiter	Dreiphasen 3-Leiter Netz ohne Nulleiter (Klemmen L1, L2, L3, PE)
3-Phasen 3-Leiter Aron	Dreiphasen 3-Leiter Netz ohne Nulleiter (Klemmen L1, L2, L3, PE), mit zwei Stromzangen
DC	Ein Eingang DC mit optionaler DC Strommessung (mit C-5(A) Zangen) (Anschlüsse L1, N)
DC+M	Zwei Eingänge mit optionaler DC Strommessung (mit C-5(A) Zangen) (Anschlüsse L1, L2, N)

6.8 Unterstützte Stromzangen

Arten der unterstützten Stromzangen

F-1(A)	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 120 cm, Messbereich 3000 A _{RMS}
F-2(A)	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 80 cm, Messbereich 3000 A _{RMS}
F-3(A)	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 45 cm, Messbereich 3000 A _{RMS}
C-4(A)	CT-Zangen, AC, Messbereich 1000 A _{RMS} , 1 mV/A
C-5(A)	CT-Zangen mit Hall-Sensor, AC/DC, Messbereich 1000 A _{RMS} , 1 mV/A
C-6(A)	CT-Zangen, AC, für kleine Ströme, Messbereich 10 A _{RMS} , 1 mV/10 mA
C-7(A)	CT-Zangen, AC, Messbereich 100 A _{RMS} , 5 mV/A

6.9 Kommunikation

Kommunikation

USB	Optisch getrennt (CAT IV 600 V) USB 2.0 kompatibel
-----	---

6.10 Umweltbedingungen und andere technische Daten

Umweltbedingungen

Betriebstemperaturbereich	-10°C...+50°C
Lagerungstemperaturbereich	-20°C...+60°C
Luftfeuchtigkeit	10...90% ohne Kondensation
Dichtheit (EN 60529)	IP 51
Bezugsbedingungen	Tab. 9
Abmessungen	288 x 223 x 75 mm (inkl. Abdeckung)
Gewicht	ca. 1,75 kg (inkl. Abdeckung)
Anzeige	FarbLCD TFT mit polytouch, 800x480 Auflösung, diagonal 7"
Datenspeicher	Herausnehmbare microSD Speicherkarte 4 GB (standardmässig) für Messdaten, Screenshots und Berichte; optional erweiterbar auf bsi zu 32 GB. Interner Speicher (ca. 1 GB) für Konfigurationsdaten.

6.11 Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit

Sicherheit und EMV

Übereinstimmung mit	IEC 61010-1
Messkategorie	IV 600V, Verschmutzungsstufe 2 nach IEC 61010-1
Isolierung	Doppelt nach IEC 61010-1
Elektromagnetische Verträglichkeit	IEC 61326
Störfestigkeit gegen Radiowellenstörungen	IEC 61000-4-3 sinusförmige Modulation 80% AM, 1 kHz 80...1000MHz, 10 V/m 1,4...2,0 GHz, 3 V/m 2,0 ... 2,7 GHz, 1 V/m
Widerstandsfestigkeit auf elektrostatische Entladungen	IEC 61000-4-2 Luftentladung: 8 kV Kontaktentladung: 4kV
Störfestigkeit gegen leitungsgebundene Störungen, induziert durch hochfrequente Felder	IEC 61000-4-6 sinusförmige Modulation 80% AM, 1 kHz 0,15...80 MHz, 10V
Widerstandsfestigkeit auf eine Reihe von schnellen elektrischen Übergangszuständen	IEC 61000-4-4 Amplitude of 2 kV, 5 kHz
Wärmestoßbeständigkeit und Kälteschlagfestigkeit	IEC 61000-4-5 Amplitude 2 kV (L-L)
Emission von Funkstörungen	IEC 61000-6-3 30...230 MHz, 40 dB(µV/m) in einer Entfernung von 10m 230...1000 MHz, 47 dB(µV/m) in einer Entfernung von 10m
Emission von Leiterstörungen	IEC 61000-6-3 Ebenen für den Quasi-Peak-Detektor: 0,15 kHz...0,5 MHz: 66 dBµV...56 dBµV 0,5 MHz...5 MHz: 56 dBµV 5 MHz...30 MHz: 60 dBµV

EN 55022 Compliance statement:

PQM-707 is a class A product. In a domestic environment this product may cause radio interference in which case the user may be required to take adequate measures (e.g. increasing the distance between affected products).

6.12 Standards

Standards

Messmethoden	EN 61000-4-30 Klasse S
Messgenauigkeit	EN 61000-4-30 Klasse S
Energiequalität	EN 50160
Lichtflimmern (Flicker)	EN 61000-4-15
Oberwellen	EN 61000-4-7
Sicherheit	IEC 61010
EMV	IEC 61326
Qualitätsstandard	Bearbeitung, Entwurf und Herstellung gemäß ISO 9001

7 Zubehör

7.1 7.1 Standard equipment

Folgende Komponenten sind im Standardzubehör des Herstellers enthalten:

- 2,2m Leitung (schwarz) mit Bananenstecker (3 Stk.) – **WAPRZ2X2BLBB**
- 2,2m Leitung (blau) mit Bananenstecker (1 Stk.) – **WAPRZ2X2BUBB**
- 2,2m Leitung (gelb) mit Bananenstecker (1 Stk.) – **WAPRZ2X2YEBB**
- K01 Krokodilklemme, schwarz (3 Stk.) – **WAKROBL20K01**
- K02 Krokodilklemme, blau – **WAKROBU20K02**
- Krokodilklemme, gelb K02 – **WAKROYE20K02**
- Krokodilklemme, rot K02 (2 Stk.) – **WAKRORE20K02**
- Phasensplitter AC-16 – **WAADAAC16**
- 4 GB microSD-Karte
- Flexible Zangen F-3A (mit automatischer Erkennung) für Ströme bis zu 3kA AC (Länge:45 cm) (4 Stk.) – **WACEGF3AOKR**,
- Software zum Einlesen und Analysieren der Daten *Sonel Analysis*
- USB-Kabel – **WAPRZUSB**
- Magnetadapter (4 Stk.); - **WAADAUMAGKPL**
- Akku Pack Li-Ion Batterien 11,1 V 3,4 Ah – **WAAKU15**
- AC Adapter Z7 (12 VDC 2,5 A) – **WAZASZ7**
- 230 V Kabel, Adapter mit IEC C7 Stecker - **WAPRZLAD230**
- Adapter AZ-2 mit 2,2 m Bananenstecker, um den AC Adapter Z7 an das zu testende Netz – **WAADAAZ** anzuschließen
- Ladekabel für Zigarettenanzünder 12 V – **WAPRZLAD12SAM**
- Stift für Touch Screen
- Tasche L4 – **WAFUTL4**
- Bedienungsanleitung
- Garantiekarte
- Kalibrierzertifikat

7.2 7.2 Optionales Zubehör

Zusätzlich sind folgende Artikel, welche nicht im Standardzubehör des Messgerätes enthalten sind, beim Hersteller oder Distributor erhältlich.:

- *C-4A Zangen (mit automatischer Erkennung) 1000 A AC* – **WACEGC4AOKR**



- *C-5A Zangen (mit automatischer Erkennung) 1000 A AC/CD* – **WACEGC5AOKR**



- *C-6A Zangen (mit automatischer Erkennung) für kleine Ströme in 10 A AC Wandler* – **WACEGC6AOKR**

- *C-7A Zangen (mit automatischer Erkennung) 100 A AC* – **WACEGC7AOKR**

7 Zubehör



- *F-1A flexible Zangen (mit automatischer Erkennung) für Ströme bis zu 3 kA AC (Länge: 120 cm) – WACEGF1AOKR*



- *F-2A flexible Zangen (mit automatischer Erkennung) für Ströme bis zu 3 kA AC (Länge: 80 cm) – WACEGF2AOKR*



- *Hartschalenkoffer für Zangen – WAWALL2*



- *AGT-16P oder C (16A) Adapter für Drehstromsteckdosen – WAADAAGT16P (5-Leiter Version) WAADAAGT16C (4-Leiter Version)*



- *Spannungsadapter mit Gewinde M4/M6 (5 Stk.) für Stromschienenverbindungen in Schaltschränken - WAADAM4M6*



- *AGT-32P oder C (32A) Adapter für Drehstromsteckdosen – WAADAAGT32P (5-Leiter Version) WAADAAGT32C (4-Leiter Version)*



- AGT-63P (63A) Adapter für Drehstromsteckdosen – **WAADAAGT63P** (5-Leiter Version)



- AGT-16T (16A) Adapter für einphasige Industriesteckdosen – **WAADAAGT16T**



- AGT-32T Adapter (32A) für Einphasige Industriesteckdosen – **WAADAAGT32T**



- Tastsonde mit Bananenbuchse - gelb CAT III 1000V – **WASONYEOGB1**



- Tastsonde mit Bananenbuchse - blau CAT III 1000V – **WASONBUOGB1**



- Tastsonde mit Bananenbuchse - rot CAT III 1000V – **WASONREOGB1**



- Tastsonde mit Bananenbuchse - schwarz CAT III 1000V – **WASONBLOGB1**



7 Zubehör

7.2.1 C-4(A) Zangen

Die Zangen C-4(A) werden verwendet, um Spannung in Nieder- und AC Mittelspannungsnetzen zu messen. Die Ausgangsspannung ist proportional zum gemessenen Strom. Das Ausgangssignal wird über ein 1,5m Kabel über einen Pinstecker zum PQM-707 gesendet.

Die Pfeilmarkierung auf den Zangen gibt die Richtung des Stromflusses an. Es wird angenommen, dass der Stromfluss in positiver Richtung vom Sender zum Empfänger verläuft. Diese Ausrichtung der Stromzangen ist zur korrekten Leistungsmessung notwendig.

Zangen mit dem Buchstaben "A" in der Typbezeichnung (z.B. C-4A) werden automatisch durch das PQM-707 erkannt.



Abb. 59. Zangen C-4(A).

Achtung

Messen Sie keine Ströme über 1200 A. Grenzwerte der Messzeit für Ströme größer als 1000 A entnehmen Sie bitte folgender Tabelle:

Strombereich	$I \leq 1000 \text{ A}$	$1000 \text{ A} < I \leq 1200 \text{ A}$
Betriebsmodus	ständig ¹	15 Minuten Messung, gefolgt von 30 Minuten Pause

¹⁾ Für Frequenzen $f \leq 1 \text{ kHz}$. Begrenzung des Maximalstromes in dauerhaftem Betrieb für Frequenzen über 1kHz gemäß dem Verhältnis $I_{\text{cont.}} = 1000 \text{ A} / f [\text{kHz}]$



Warnung

Verwenden Sie keine nicht isolierten Zangen für Leiter mit Spannung über 600V mit Potential zur Erde und in Netzen mit Messkategorien größer als III.

• Referenzbedingungen

- Temperatur: +20...+26°C
- Relative Luftfeuchtigkeit: 20...75%
- Leiterposition: Im Zentrum der Klemmbanken
- Frequenz des Sinusstromes: 48...65 Hz
- THD: <1%
- Stromkonstantenkomponente: keine
- Permanentes magnetisches Feld: <40 A/m (erdmagnetisches Feld)
- Variable des externen magnetischen Feldes: keines
- Leiter in unmittelbarer Nähe: kein Stromfluss

- **Spezifikationen**

- Genauigkeit:

Strombereich	Grundgenauigkeit ¹⁾	Phasenfehler
0,1...10 A	$\leq 3\% + 0,1 \text{ A}$	nicht spezifiziert
10...50 A	$\leq 3\%$	$\leq 3^\circ$
50...200 A	$\leq 1,5\%$	$\leq 1,5^\circ$
200...1000 A	$\leq 0,75\%$	$\leq 0,75^\circ$
1000...1200 A	$\leq 0,5\%$	$\leq 0,5^\circ$

¹⁾ in % des gemessenen Wertes

- Maximale Ausgangsleistung: 1 V AC
- Verhältnis: 1 mV AC/1 A AC
- Frequenzbereich: 30 Hz...10 kHz
- Isolierklasse: doppelt, gemäß IEC 61010-1
- Messkategorie gemäß IEC 61010-1: III 600 V
- Schutzklasse gemäß IEC 60529: IP40, offene Zangenbacken: IP30
- Abmessungen: 216 × 111 × 45 mm
- Gewicht: ca. 640 g
- Öffnungsweite Zangenbacken: 53 mm
- Höhe der offenen Zangenbacken: 139 mm
- Maximaler Durchmesser der zu testenden Leitungen: $\varnothing 52 \text{ mm}$
- Länge der Zangenleitungen: 1,5 m
- Arbeitstemperatur: $-10^\circ\text{C} \dots +55^\circ\text{C}$
- Relative Luftfeuchtigkeit: <85%
- Höhe über n.N.: $\leq 2000 \text{ m}$
- Elektromagnetische Verträglichkeit: IEC 61000-6-3:2008
IEC 61000-6-2:2008

7.2.2 C-5(A) Zangen

Die Zangen C-5(A) werden verwendet, um AC und DC Ströme zu messen. Der Messbereich ist 1400 A für DC und 1000 A für AC Ströme. Die Ausgangsspannung ist proportional zum gemessenen Strom. Die Zangen haben einen Bereich von 1000 A mit einer Empfindlichkeit von 1 mV/A. Der Stellknopf zur Nullung und eine LED zeigen die Spannungsversorgung an.

Die Pfeilmarkierung auf den Zangen gibt die Richtung des Stromflusses an. Es wird angenommen, dass der Stromfluss in positiver Richtung vom Sender zum Empfänger verläuft. Diese Ausrichtung der Stromzangen ist zur korrekten Leistungsmessung notwendig.

Zangen mit dem Buchstaben "A" in der Typbezeichnung (z.B. C-5A) werden automatisch durch das PQM-707 erkannt.



Abb. 60. Zangen C-5(A).

7 Zubehör

- **Überlast:**

- Gleichstrom (DC): bis zu 3000 A (kontinuierlich)
- Wechselstrom (AC): bis zu 1000 A (kontinuierlich) – bis Frequenzen von 1 kHz
- Begrenzung des Maximalstromes in dauerhaftem Betrieb für Frequenzen über 1kHz gemäß dem Verhältnis $I_{cont.} = 1000 A/f [kHz]$

- **Einschalten**

Um die Zangen zu aktivieren, stellen Sie den Schalter auf 1 mV/A. Eine grüne LED zeigt eine ordnungsgemäße Funktion an. Leuchtet die LED nach dem Einschalten nicht oder erlischt während der Messung, tauschen Sie die Batterien aus.

- **Korrektur der Null DC Anzeige**

Stellen Sie sicher, dass die Zangenbacken fest und ohne umschlossenen Leiter geschlossen sind. Schließen Sie diese am PQM an und starten Sie die Software "Sonel Analysis" im Stromvorschau Modus. (Gehen Sie sicher, dass eine korrekte Messpunkt-konfiguration mit Zangen C5 durchgeführt haben.) Drücken Sie den Nullungsschalter und drehen Sie diesen bis Null in der Stromkomponente angezeigt wird.

- **Referenzbedingungen**

- Temperatur: +18...+28°C
- Relative Luftfeuchtigkeit: 20...75%
- Batteriespannung: 9 V ± 0,1 V
- Leiterposition: Im Zentrum der Klemmbacken
- Strom: Gleich (DC) oder Sinus (AC) f ≤ 65 Hz
- Permanentes magnetisches Feld: <40 A/m (Erdmagnetfeld)
- Variable des externen magnetischen Feldes: keine
- Leiter in unmittelbarer Nähe: kein Stromfluss

- **Technische Daten**

- Genauigkeit:

Strombereich	0,5...100 A	100...800 A	800...1000 A (AC) 800...1400 A (DC)
Grundungenaugigkeit ¹⁾	≤ 1,5% + 1 A	≤ 2,5%	≤ 4%

¹⁾ in % des gemessenen Wertes

- Phasenfehler (45...65 Hz):

Strombereich	10...200 A	200...1000 A
Phasenfehler	≤ 2,5°	≤ 2°

- Übersetzungsverhältnis: 1 mV/1 A
- Frequenzbereich: DC...5 kHz
- Ausgangsimpedanz: 100 Ω
- DC Einstellung Nullungsbereich: ±10 A

- Rauschen: DC bis zu 1 kHz: ≤ 1 mVp-p (oder 1 Ap-p)
DC bis zu 5 kHz: $\leq 1,5$ mVp-p (oder 1,5 Ap-p)
1 Hz bis zu 5 kHz: $\leq 0,5$ mVp-p (oder 0,5 Ap-p)
- Zusätzliche Fehler:
 - Auf Grund der Stromfrequenz: 65...440 Hz: -2%
440...1000 Hz: -5%
1...5 kHz: -4 dB
 - Auf Grund der Batteriespannung: $\leq 1A/V$
 - Auf Grund der Temperatur: ≤ 300 ppm/°C oder 0,3%/10°C
 - Auf Grund der relativen Luftfeuchte im Bereich von 10...85%: $\leq 0,5\%$
 - Für Leiter mit Durchmesser $\varnothing 20$ mm: DC bis zu 440 Hz: $< 0,5\%$
DC bis zu 1 kHz: $< 1\%$
DC bis zu 2 kHz: $< 3\%$
DC bis zu 5 kHz: $< 10\%$
 - Auf Grund paralleler Leiter mit 50...60 Hz, geortet innerhalb von 23 mm der Zangen: < 10 mA/A
 - Auf Grund eines externen magnetischen Feldes von 400 A/m (50 Hz), Einfluss auf den Leitermittelpunkt $< 1,3$ A
 - Gleichtaktunterdrückung > 65 dB A/V (50...400 Hz)
- **Andere Daten**
 - Isolierklasse doppelt, gemäß IEC 61010-1
 - Messkategorie gemäß IEC 61010-1: III 600 V
 - Schutzklasse gemäß IEC 60529: IP30
 - Spannungsversorgung: Batterie 9 V (6LR61, 6LF22, NEDA 1604)
 - Arbeitszeit mit Alkaline-Batterie: ca. 120 h
 - Abmessungen: 237 × 97 × 44 mm
 - Gewicht: ca. 520 g
 - Maximaler Durchmesser einer Testleitung: $\varnothing 39$ mm
 - Anschlussleitung der Zangen: 1,5 m
 - Arbeitstemperatur: $-10^{\circ}\text{C} \dots +55^{\circ}\text{C}$
 - Relative Luftfeuchtigkeit: $< 85\%$
 - Höhe: ≤ 2000 m
 - Elektromagnetische Verträglichkeit: IEC 61000-6-3:2008
IEC 61000-6-2:2008

7 Zubehör

7.2.3 C-6(A) Zangen

Die Zangen C-6(A) werden verwendet, um AC Ströme mit Frequenzen bis zu 10 kHz für den Bereich von 10 mA...10 A zu messen.

Das Ausgangssignal ist eine Spannung proportional zum gemessenen Strom mit einer Empfindlichkeit von 100mV/A. Das Ausgangssignal wird über ein 1,5m Kabel über einen Pinstecker zum PQM-707 übertragen.



Abb. 61. Zangen C-6(A).

Die Pfeilmarkierung auf den Zangen gibt die Richtung des Stromflusses an. Es wird angenommen, dass der Stromfluss in positiver Richtung vom Sender zum Empfänger verläuft. Diese Ausrichtung der Stromzangen ist zur korrekten Leistungsmessung notwendig.

Zangen mit dem Buchstaben "A" in der Typbezeichnung (z.B. C-6A) werden automatisch durch das PQM-707 erkannt.



Achtung!

Verwenden Sie keine nicht isolierten Zangen für Leiter mit Spannung über 600V mit Potential zur Erde und in Netzen mit Messkategorien größer als III.

• Referenzbedingungen

- Temperatur: +20...+26°C
- Relative Luftfeuchtigkeit: 20...75%
- Leiterposition: Im Zentrum der Klemmbacken
- Frequenz des sinusförmigen Stromes: 48...65 Hz
- THD: <1%
- Komponente der Stromkonstante: keine
- Permanentes magnetisches Feld: <40 A/m (Erdmagnetfeld)
- Variable des externen magnetischen Feldes: keine
- Leiter in unmittelbarer Nähe: kein Stromfluss

• Technische Daten

- Genauigkeit:

Strombereich	Grundungenaueigkeit ¹⁾	Phasenfehler
0,01...0,1 A	≤ 3% + 1 mA	nicht spezifiziert
0,1...1 A	≤ 2,5%	≤ 5°
1...12 A	≤ 1%	≤ 3°

¹⁾ in % des gemessenen Wertes

- Übersetzungsverhältnis: 100 mV AC/1 A AC
- Frequenzbereich: 40 Hz...10 kHz
- Isolierklasse: doppelt, gemäß IEC 61010-1
- Messkategorie gemäß IEC 61010-1: III 600 V

- Schutzklasse gemäß IEC 60529: IP40, mit offenen Klemmbacken: IP30
- Abmessungen: 135 × 50 × 30 mm
- Gewicht: ca. 240 g
- Zangenbacken Öffnungsweite: 21 mm
- Höhe der offenen Zangenbacken: 69 mm
- Maximaler Durchmesser einer Testleitung: Ø20 mm
- Anschlussleitung der Zangen: 1,5 m
- Arbeitstemperatur: -10°C...+55°C
- Relative Luftfeuchtigkeit: Anschlussleitung der Zangen: <85%
- Höhe über n.N.: ≤ 2000 m
- Elektromagnetische Verträglichkeit: IEC 61000-6-3:2008
IEC 61000-6-2:2008

7 Zubehör

7.2.4 C-7(A) Zangen

Die C-7(A) Zangen werden verwendet, um AC Ströme in Nieder- und Mittelspannungsnetzen im Bereich bis 100A zu messen.

Das Ausgangssignal ist eine Spannung proportional zum gemessenen Strom mit einer Empfindlichkeit von 5 mV/A. Das Ausgangssignal wird über ein 1,5m Kabel über einen Pinstecker zum PQM-707 übertragen.

Die Pfeilmarkierung auf den Zangen gibt die Richtung des Stromflusses an. Es wird angenommen, dass der Stromfluss in positiver Richtung vom Sender zum Empfänger verläuft. Diese Ausrichtung der Stromzangen ist zur korrekten Leistungsmessung notwendig.

Zangen mit dem Buchstaben "A" in der Typbezeichnung (z.B. C-7A) werden automatisch durch das PQM-707 erkannt.



Abb. 62. Zangen C-7(A)



Achtung!

Verwenden Sie keine nicht isolierten Zangen für Leiter mit Spannung über 300V mit Potential zur Erde und in Netzen mit Messkategorie größer als III.

• Referenzbedingungen

- Temperatur: +18...+28°C
- Relative Luftfeuchtigkeit: <85% (nicht kondensierend)

• Technische Daten

- Messbereich: 0...100 A AC
- Frequenzbereich: 40 Hz...3 kHz
- Maximaler zulässiger Dauerstrom: 100 A AC (50/60 Hz)
- Genauigkeit (Sinuswelle)

Frequenz	Grundungenauigkeit	Phasenfehler
45...65 Hz	±0,5% ±0,1 mV	≤ 2°
20 Hz...1 kHz	±1,0% ±0,2 mV	nicht spezifiziert

- Übersetzungsverhältnis: 5 mV AC/1A AC
- Ausgangsimpedanz: 11 Ω
- Isolierklasse: doppelt, gemäß IEC 61010-1
- Messkategorie gemäß IEC 61010-1: III 300 V,
- Abmessungen: 100 × 60 × 26 mm
- Gewicht: ca. 160 g
- Maximaler Durchmesser einer Testleitung: Ø24 mm
- Anschlussleitung der Zangen: 1,5 m
- Arbeitstemperatur: 0°C...+50°C
- Relative Luftfeuchtigkeit: <85% (nicht kondensierend)
- Elektromagnetische Verträglichkeit: IEC 61326

7.2.5 Zangen F-1(A), F-2(A), F-3(A)

Die flexiblen Zangen (Rogowski Spule) F-1(A), F-2(A) und F-3(A) werden verwendet, um AC Ströme mit Frequenzen bis zu 10kHz im Bereich von 1 A...3000 A zu messen.

Die Zangen F-1(A), F-2(A) und F-3(A) unterscheiden sich untereinander nur im Durchmesser der Spule. Sämtliche elektrische Parameter sind identisch.

Die Ausgangssignalspannung ist proportional zum gemessenen Strom mit einer Empfindlichkeit von 38,83 mV/1000 A für 50 Hz und 46,6 mV/1000 A für 60 Hz.



Abb. 63. F-1(A) Zangen



Abb. 64. F-2(A) Zangen



Abb. 65. F-3(A) Zangen

Das Ausgangssignal wird über ein 2m Kabel über einen Pinstecker zum PQM-707 übertragen.

Die Pfeilmarkierung auf den Zangen gibt die Richtung des Stromflusses an. Es wird angenommen, dass der Stromfluss in positiver Richtung vom Sender zum Empfänger verläuft. Diese Ausrichtung der Stromzangen ist zur korrekten Leistungsmessung notwendig.

Zangen mit dem Buchstaben "A" in der Typbezeichnung (z.B. C-7A) werden automatisch durch das PQM-707 erkannt. Der PQM-707 unterstützt diesen Zangentyp nach Auswahl von "Auto" Zangentyp. Zangen ohne automatische Erkennungsfunktion (z.B. F-3) werden durch manuelle Konfiguration des angeschlossenen Zangentyps (z.B. "F-x") ausgewählt.



Achtung

Verwenden Sie keine nicht isolierten Zangen für Leiter mit Spannung über 1000V mit Potential zur Erde und in Netzen mit Messkategorien größer als III.

• Referenzbedingungen

- Temperatur: +18...+22°C
- Leiterposition: Im Zentrum der Klemmbanken
- Permanentes magnetisches Feld: <40 A/m (Erdmagnetfeld)
- Variable des externen magnetischen Feldes: keine
- Externes elektrisches Feld: keine

• Technische Daten

- Nennmessungen des PQM-707: 1 A...3000 A (10000 A Spitze bei 50 Hz)
- Koeffizient Eingang/Ausgang: 38,83 mV/1000 A (50 Hz)
46,6 mV/1000 A (60 Hz)
- Grundunsicherheit: ±1% im Bereich von 1 A...3000 A
- Linearität: ±0,2%

7 Zubehör

- Zusätzlicher Fehler in Bezug auf die Leiterposition: $\pm 1\%$ max.
 - Zusätzlicher Fehler zum ext. magnetischen Feld: $\pm 0,5\%$ max.
 - Zusätzlicher Fehler zur Temperatur: $\pm 0,07\%$
 - Ausgangsimpedanz: $30 \Omega/400 \text{ mm}$
-
- **Weitere Daten:**
 - Isolierklasse: doppelt, IEC 61010-1
 - Messkategorie gemäß IEC 61010-1: III 1000 V
 - Schutzklasse gemäß IEC 60529: IP65
 - Spulendurchmesser: 15,5 mm
 - Durchmesser der Zangen (Maximum): 30 mm
 - Spulendurchmesser: F-1: 120 cm
F-2: 80 cm
F-3: 45 cm
 - Innendurchmesser der Zangen verschlossen: F-1: 360 mm
F-2: 235 mm
F-3: 120 mm
 - Gewicht: F-1: ca. 410 g
F-2: ca. 310 g
F-3: ca. 220 g
 - Anschlussleitung der Zangen: 2 m
 - Arbeitstemperatur: $-20^{\circ}\text{C} \dots +80^{\circ}\text{C}$
 - Elektromagnetische Verträglichkeit: IEC 61000-6-3:2008
IEC 61000-6-2:2008

8 Weitere Informationen

8.1 Wiederaufladbare Batterien

Im PQM-707 befinden sich bereits ein Li-Ion Batteriepack 11,1 V 3,4 Ah. Es ist eine Überwachung der Ladeschaltung integriert, welche eine exakte Angabe über die aktuelle Kapazität der Batterien angibt, sowie ein Sensor zur Temperaturüberwachung.

Der Ladezustand wird durch ein Symbol in der Menüleiste oben rechts angezeigt:



- Ladezustand 80...100%



- Ladezustand 60...80%



- Ladezustand 40...60%



- Ladezustand 20...40%



- Ladezustand 0...20%

Sind keine Batterien eingelegt oder wurden diese durch den Analysator nicht initialisiert, wird folgendes Symbol angezeigt:



- Probleme mit dem Batteriepack (entfernt oder keine Initialisierung)

Der Ladevorgang der Akkus startet automatisch, nachdem der Analysator mit dem 12 V DC Netzteil verbunden wurde. Es besteht auch die Möglichkeit die Akkus des PQM durch einen KFZ Ladeadapter über den Zigarettenanzünder zu laden. Der Ladevorgang wird durch das animierte Batteriesymbol und die LED angezeigt (siehe Beschreibung Abschnitt 2.3). Die Temperatur des Akkupacks sowie die Umgebungstemperatur haben Einfluss auf den Ladevorgang. Fällt die Batterietemperatur unter 0°C oder steigt über 45°C, wird der Ladeprozess automatisch gestoppt.

8.2 Austauschen der wiederaufladbaren Batterien (Akkus)

Da die interne Echtzeituhr durch die Batterien versorgt wird, wird um den Verlust der Zeiteinstellungen zu vermeiden, empfohlen, während des Akkutaushes den Analysator am externen 12 V DC Netzteil anzuschließen.

Führen Sie, um die Batterien zu tauschen, folgende Schritte durch:

- Trennen Sie den Analysator vom zu testenden Netz.
- Schließen Sie das externe Netzteil an (kein Verlust von Datums- und Zeiteinstellungen).
- Entfernen Sie die vier Schrauben der Batteriefachabdeckung (Gehäuseunterseite), siehe Abb. 66.
- Entnehmen Sie das Batteriefach.
- Legen Sie einen neuen Batteriepack ins Gerät.
- Schließen Sie die Batteriefachabdeckung wieder mit den vier Schrauben.

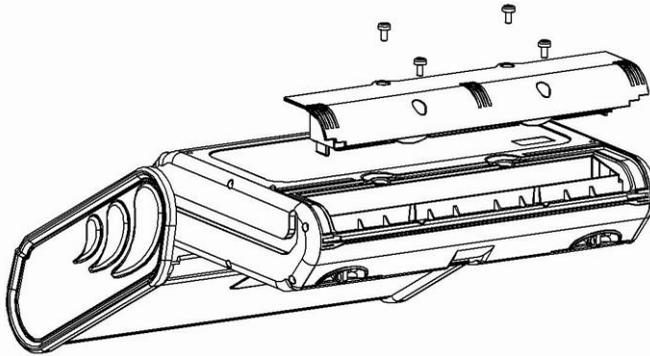
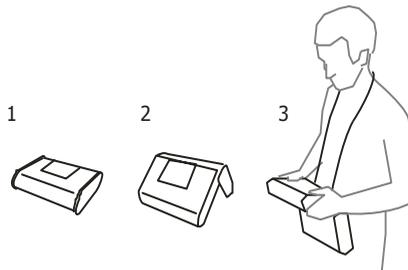


Abb. 66. Batterietausch

8.3 Einstellen der Geräteabdeckung

Verwenden des Gerätes in verschiedenen Positionen durch den beweglichen Gerätedeckel



- 1 – Abdeckung als Bodenfläche
- 2 – Abdeckung für aufrechte Positionierung des Gerätes
- 3 – Abdeckung zur Verwendung am Benutzer mit Umhängegurt

8.4 Reinigung und Instandhaltung

Hinweis
Wenden Sie nur Instandhaltungsmethoden an, die in dieser Anleitung aufgeführt sind.

Säubern Sie das Gehäuse nur mit einem weichen feuchten Tuch und Allzweckreiniger. Verwenden Sie keine Lösungsmittel oder andere Reinigungsmittel, welche Gehäuse zerkratzen könnten (Puder, Pasten etc.)

Säubern Sie die Messleitungen nur mit Wasser und Reinigungsmittel. Trocknen Sie diese im Anschluss.

Die Elektronik des Messgerätes benötigt keine Wartung.

8.5 Lagerung

Im Fall einer Lagerung des Gerätes müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Trennen Sie alle Messleitungen vom Gerät.
- Stellen Sie sicher, dass Gerät und Zubehör gesäubert sind.
- Um ein komplette Entladung der Batterien zu verhindern, laden Sie diese von Zeit zu Zeit.

8.6 Zerlegen und Entsorgung

Ausgediente Elektronik und elektronisches Zubehör darf nicht zusammen mit gewöhnlichem Hausmüll gesammelt werden, sondern muss getrennt behandelt werden.

Bringen Sie diese zu den gesetzlich vorgeschriebenen Sammelstellen für elektrisches und elektronisches Zubehör.

Zerlegen Sie die Geräte nicht in Einzelteile, bevor Sie es zum Entsorgen bringen.

Halten Sie die vorgeschriebene Bestimmung zur Entsorgung von Verpackung und gebrauchten Batterien und Akkus ein.

8.7 Hersteller

Gerätehersteller für Garantieansprüche und Service:

SONEL SA

ul. Wokulskiego 11

58-100 Świdnica, Poland

tel. (74) 85 83 860 (Customer Service)

e-mail: export@sonel.pl

Internet: www.sonel.pl

Achtung!

Service Reparaturen dürfen nur vom Hersteller durchgeführt werden.

8.8 Labordienstleistungen

Das Forschungs- und Kalibrierlabor der SONEL SA bietet Kalibrierungen für Messtechnik zu elektrischen oder nicht elektrischen Messungen an.

- Infrarotkameras
- Pyrometer
- Messgeräte für elektrische Schutz- u. Sicherheitsmessungen: Isolationswiderstand, Impedanz und Widerstand von Kurzschlusschleifen, Erdungswiderstand und spezifischer Erdwiderstand, RCD Parameter und multifunktionale Messgeräte, welche die oben genannten Messungen durchführen
- Elektrische Sicherheitstester
- Netzqualitätsanalysatoren
- Niederohmmessgeräte
- Spannungs-, Strommessgeräte (inkl. Stromzangen), Widerstandsmessgeräte und Multimeter
- Luxmeter

Ein Kalibrierzertifikat ist ein Dokument, welches die Konformität eines Gerätes an Hand vom Hersteller angegebener Parameter nach nationalen Normen bestätigt.

Gemäß **ISO 10012-1, Annex A** – "Quality assurance requirements for measuring equipment – Part 1: Metrological confirmation system for measuring equipment" – Empfiehlt die SONEL S.A. eine periodische Überprüfung alle **13-Monate**.

Notes