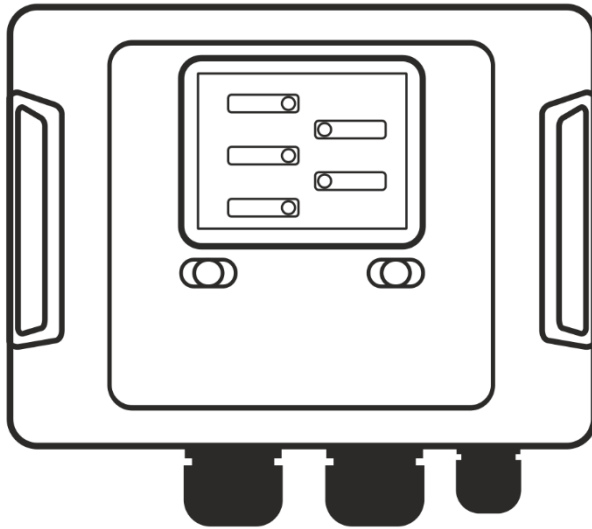




BEDIENUNGSANLEITUNG

NETZQUALITÄTSANALYSATOR

PQM-700



BEDIENUNGSANLEITUNG

NETZQUALITÄTSANALYSATOR

PQM-700



SONEL S.A.
Wokulskiego 11
58-100 Świdnica
Polen

Version 1.21.1 17.07.2025



Aufgrund der kontinuierlichen Produktentwicklung behält sich der Hersteller das Recht vor, Änderungen an Funktionalität, Bedienung und technischen Parametern vorzunehmen. Die vorliegende Bedienungsanleitung beschreibt Analysatoren mit der Firmware-Version 1.21 und der Sonel Analysis Software Version 4.7.1.

INHALT

1	Allgemeine Angaben	5
1.1	Sicherheit	5
1.2	Allgemeine Charakteristik	7
1.3	Stromversorgung für den Analysator	8
1.4	Dichtheit und die Arbeit draußen	9
1.5	Hutschienenmontage	10
1.6	Gemessene Parameter	11
1.7	Übereinstimmung mit den Normen	13
2	Bedienung des Analysators	14
2.1	Tasten	14
2.2	Signal-LEDs	14
2.3	Ein- und Ausschalten	15
2.4	Automatische Abschaltung	15
2.5	PC-Verbindung und Datenübertragung	15
2.6	Signalisierung einer fehlerhaften Verbindung	16
2.7	Warnung vor zu hoher Spannung oder Strom	17
2.8	Durchführen von Messungen	17
2.8.1	Starten und Stoppen der Aufnahme	17
2.8.2	Ungefähre Aufzeichnungszeiten	17
2.9	Messsysteme	18
2.10	Einschaltstrom	23
2.11	Tastensperre	23
2.12	Sleep-Modus	23
2.13	Firmware aktualisieren	24
2.13.1	Automatische Aktualisierung	24
2.13.2	Manuelle Aktualisierung	24
3	Programm „Sonel Analysis“	25
4	Aufbau und Messmethoden	26
4.1	Spannungseingänge	26
4.2	Stromeingänge	26
4.2.1	Digitaler Integrator	26
4.3	Signalabtastung	27
4.4	PLL-Synchronisation	27
4.5	Frequenzmessung	27
4.6	Erkennung der Ereignisse	28
5	Berechnungsformeln	30
5.1	Einphasen-Netz	30
5.2	Zweiphasennetz	34
5.3	Dreiphasen-Stern-Netzwerk mit N	36
5.4	Dreiphasen-Netzwerk Dreieck und Stern ohne N	38
5.5	Mittelungsmethoden der Parameter	40
6	Technische Daten	41

6.1	<i>Eingänge</i>	41
6.2	<i>Abtastung und RTC-Uhr</i>	42
6.3	<i>Gemessene Parameter - Genauigkeit, Auflösung und Bereiche</i>	42
6.3.1	<i>Bezugsbedingungen</i>	42
6.3.2	<i>Spannung</i>	42
6.3.3	<i>Strom</i>	43
6.3.4	<i>Frequenz</i>	43
6.3.5	<i>Oberwellen</i>	44
6.3.6	<i>Leistung und Energie</i>	44
6.3.7	<i>Schätzung der Messunsicherheit der Leistung und Energie</i>	45
6.3.8	<i>Lichtflimmern (Flicker)</i>	46
6.3.9	<i>Unsymmetrie</i>	47
6.4	<i>Ereigniserkennung – effektive Spannung und Strom</i>	47
6.5	<i>Ereigniserkennung - sonstige Parameter</i>	47
6.5.1	<i>Hysterese der Ereigniserkennung</i>	48
6.6	<i>Messung des Einschaltstroms</i>	48
6.7	<i>Aufzeichnung</i>	48
6.8	<i>Netzstromversorgung, Akku, Heizung</i>	50
6.9	<i>Unterstützte Netztypen</i>	50
6.10	<i>Unterstützte Stromzangen</i>	51
6.11	<i>Kommunikation</i>	51
6.12	<i>Umweltbedingungen und andere technische Daten</i>	51
6.13	<i>Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit</i>	52
6.14	<i>Standards</i>	52
7	<i>Reinigung und Wartung</i>	53
8	<i>Lagerung</i>	53
9	<i>Demontage und Entsorgung</i>	53
10	<i>Zusätzliches Zubehör</i>	54
11	<i>Hersteller</i>	55

1 Allgemeine Angaben

Die folgenden internationalen Symbole werden auf dem Analysegerät und in dieser Anleitung verwendet:

	Warnung; Für Erklärungen schlagen Sie in der Bedienungsanleitung nach		Erdung		Wechselstrom/-spannung
	Gleichstrom/-spannung		Doppelte Isolierung (Schutzklasse)		Erklärung der Konformität mit den Richtlinien der Europäischen Union (Conformité Européenne)
	Nicht mit anderen Siedlungsabfällen entsorgen		Angaben zum Recycling:		Bestätigte Übereinstimmung mit australischen Normen

1.1 Sicherheit



Warnung!

Um einen sicheren Betrieb und die Richtigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, sollten Folgendes beachtet werden:

- Bevor der Analysator in Betrieb genommen wird, sollten Sie sich mit der vorliegenden Bedienungsanleitung genau vertraut machen und die Sicherheitsregeln und Empfehlungen des Herstellers befolgen.
- Die Verwendung des Analysators auf andere, als die in der Bedienungsanleitung beschriebene, Weise, kann zur Beschädigung des Geräts führen und gefährlich für den Benutzer sein.
- Die Analysatoren können ausschließlich von entsprechend qualifizierten Personen bedient werden, die die entsprechende Befugnis zur Arbeit an elektrischen Installationen besitzen. Die Verwendung des Gerätes durch Unbefugte, kann zur Beschädigung des Geräts führen und gefährlich für den Benutzer sein.
- Das Messgerät darf nicht für Messungen von Netzen und Anlagen in Räumen mit besonderen Bedingungen eingesetzt werden, in denen z.B. eine Explosions- oder Brandgefahr besteht.
- Vergewissern Sie sich vor Beginn der Arbeiten, dass der Analysator, die Kabel, die Stromzangen und das sonstige Zubehör keine mechanischen Beschädigungen aufweisen. Achten Sie besonders auf Anschlüsse.
- Es ist unzulässig, das Gerät zu verwenden wenn:
 - ⇒ das Gerät beschädigt wurde und ganz oder teilweise nicht funktionsfähig ist,
 - ⇒ die Isolierung der Leitungen beschädigt ist,
 - ⇒ das Geräte und Zubehör mechanisch beschädigt sind.
- Das Gerät darf nicht mit anderen Stromquellen, als die die in dieser Anleitung erwähnt werden, betrieben werden.
- Schließen Sie die Eingänge des Analysators nicht an Spannungen an, die höher als die Nennwerte sind.
- Verwenden Sie Zubehör und Messfühler, die für den zu prüfenden Stromkreis geeignet sind und der entsprechenden Messkategorie entsprechen.
- Die Nennleistung der niedrigsten Messkategorie (CAT) des verwendeten Messgerätes, bestehend aus Analysator, Sonden und Zubehör, darf nicht überschritten werden.

Die Messkategorie des gesamten Satzes ist die der Unterbaugruppe mit der niedrigsten Messkategorie.

- **Wenn möglich, schließen Sie das Gerät an den Stromkreis bei ausgeschaltetem Strom an.**
- **Das Öffnen der Abdeckungen der Buchsen am Gerät hat einen Verlust der Dichte des Geräts zur Folge, was bei ungünstigen Wetterbedingungen zur Beschädigung des Analysators führen kann und den Benutzer der Gefahr eines Stromschlags aussetzen kann.**
- **Tragen Sie nicht den Analysator, indem Sie die Kabel in der Hand halten.**
- **Lösen Sie nicht die Muttern der Kabelverschraubungen, sie sind festgeklebt. Beim Abschrauben erlischt die Garantie.**
- **Reparaturen dürfen nur von einem dazu befugten Reparaturservice durchgeführt werden.**

Der Analysator ist mit einem internen Li-Ion-Akku ausgestattet, der von einem unabhängigen Labor getestet und für die Qualitätsparameter gemäß UN 38.3 - „*UN-Empfehlungen für die Beförderung gefährlicher Güter. Handbuch über Prüfungen und Kriterien*“, 5. Auflage, veröffentlicht von den Vereinten Nationen (ST/SG/AC.10/11/Rev.5), zertifiziert wurde. Der Analysator ist daher für den Luft-, See- und Straßentransport zugelassen.

1.2 Allgemeine Charakteristik

Der Netzqualitätsanalysator PQM-700 (Abb. 1) ist ein technisch fortgeschrittenes Produkt, das eine Messung, Analyse und Aufzeichnung der Parameter von 50/60 Hz-Stromnetzen und der Qualität nach der europäischen Norm EN 50160 und der *Verordnung des Wirtschaftsministers vom 4. Mai 2007, über die detaillierten Bedingungen für den Betrieb eines Stromnetzes*. Der Analysator erfüllt in vollem Umfang die Anforderungen der Norm IEC 61000-4-30 Klasse S.

Der Analysator ist mit 4 Leitungen mit Bananensteckern ausgestattet, markiert mit L1, L2, L3, N. Der Spannungsbereich der durch die vier Messkanäle gemessen wird beträgt maximal ± 1150 V. Dieser Bereich kann vergrößert werden, wenn zusätzliche Spannungswandler verwendet werden.

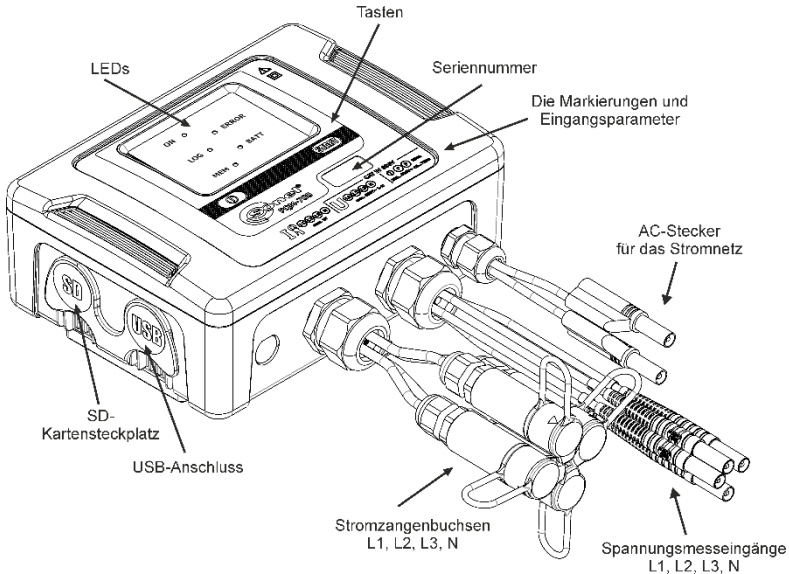


Abb. 1. Netzqualitätsanalysator PQM-700. Außenansicht.

Zur Strommessung dienen vier Stromeingänge, an kurzen Leitungen, die mit Zangenbuchsen beendet sind. Es können flexible Zangen mit einem Nennbereich von bis 6000 A und harte Zangen angeschlossen werden. Der Nennstrombereich kann mit zusätzlichen Messwandlern geändert werden.

Das Gerät verfügt über eine austauschbare 2 GB-Speicherkarte. Die Daten von der Karte können über einen USB-Anschluss oder mit einem externen Reader gelesen werden.

Hinweis

Die microSD-Karte soll nur dann herausgenommen werden, wenn der Analysator ausgeschaltet ist. Im Falle der Herausnahme der SD-Karte beim Betrieb des Analysators können wichtige Daten verloren gehen.

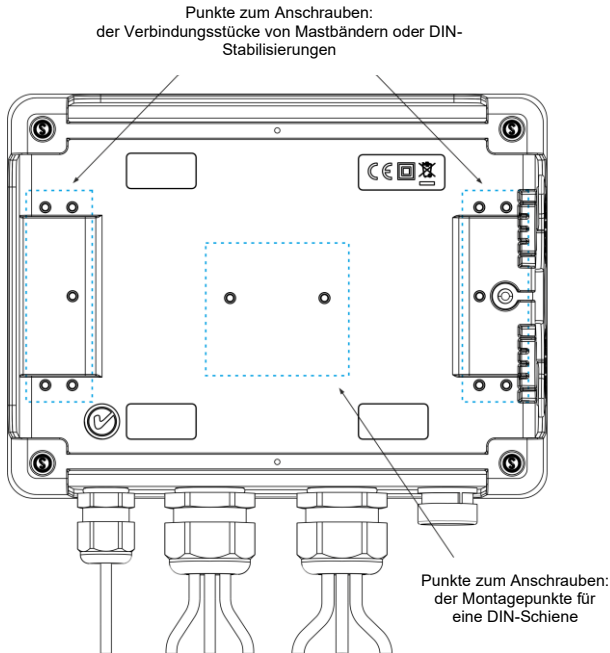


Abb. 2. Die Rückseite des Analysators PQM-700.

Die aufgenommenen Parameter werden in Gruppen aufgeteilt, die unabhängig voneinander für die Aufzeichnung ein- oder ausgeschaltet werden können, was eine effiziente Nutzung des Speicherplatzes ermöglicht. Somit wird kein Speicherplatz für die Aufzeichnung der Parameter, die nicht benötigt werden verschwendet und dadurch kann die Aufzeichnungszeit der anderen Parameter verlängert werden.

Der Analysator PQM-700 verfügt über ein internes Netzteil mit einem weiten Eingangsspannungsbereich 100...415 V AC (140...415 V DC), das unabhängig ausgeführte Kabel mit Bananensteckern hat.

Ein wichtiges Merkmal ist, dass das Gerät unter schlechten Wetterbedingungen verwendet werden darf - es kann direkt an am Strommast installiert werden. Das Gerät bietet eine Abdichtung der Klasse IP65, und hat einen Betriebstemperaturbereich von -20°C...+55°C.

Dank des eingebauten Lithium-Ionen-Akkus wird ein unterbrechungsfreier Betrieb gewährleistet.

Die Benutzeroberfläche ist mit 5 LEDs und 2 Tasten ausgestattet.

Dank der speziell für das Gerät entwickelten Software *PC Sone/Analysis* kann die volle Funktionalität des Geräts genutzt werden.

Die Kommunikation mit dem PC ist möglich über einen USB-Anschluss mit einer Übertragungsgeschwindigkeit bis zu 921,6 kbit/Sek.

1.3 Stromversorgung für den Analysator

Der Analysator verfügt über eine integrierte Stromversorgung mit einem Nennspannungsbereich von 100...415 V AC oder 140...415 V DC. Das Netzteil verfügt über unabhängige Leitungen (in rot), markiert mit dem Buchstaben P (eng. *power* - Stromversorgung). Um das Netzteil vor Beschädigungen zu schützen im Falle eines Versuchs der Versorgung mit einer Spannung unterhalb des angegebenen Bereichs, wird es ausgeschaltet, wenn die Eingangsspannungen unter ca. 80V AC (ca. 110V DC) liegen.

1 Allgemeine Angaben

Dank des eingebauten Akkus wird die Stromversorgung bei Energieausfall aufrecht erhalten. Es lädt, wenn Spannung an den Klemmen des AC-Adapter vorhanden ist. Es hält die Stromversorgung für 6 h bei einer Temperatur von -20°C...+55°C aufrecht. Nachdem der Akku leer ist, wird das Gerät alle Vorgänge abbrechen (z.B. die Aufzeichnung) und in den Not-Modus umschalten. Nachdem die Spannung wieder hergestellt wurde, wenn das Gerät zuvor im Aufzeichnungsmodus war, wird der Analysator mit der Aufzeichnung fortfahren.

Hinweis

Der Akku darf nur in autorisierten Servicestellen ausgetauscht werden.

1.4 Dichtheit und die Arbeit draußen

Der Analysator PQM-700 darf unter schlechten Wetterbedingungen verwendet werden - es kann direkt an am Strommast installiert werden. Zur Montage dienen zwei Bänder mit Schnallen und zwei Kunststoffverbindungsstücke. Die Verbindungsstücke werden an die Rückwand des Gehäuses geschraubt, und durch die Schlitze sind die Bänder durchzuführen.

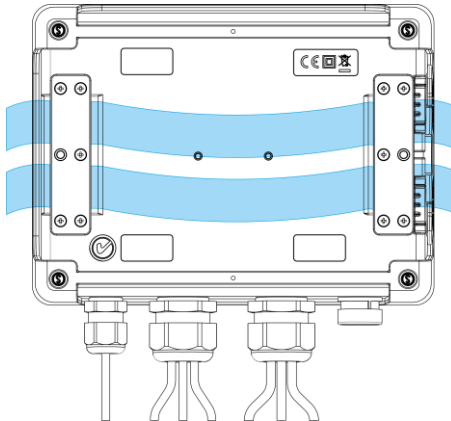


Abb. 3. Verbindungsstücke und Bänder zur Montage des Analysators auf einer Stange.

Das Messgerät bietet eine Abdichtung der Klasse IP65, und hat einen Betriebstemperaturenbereich von -20°C...+55°C.

Hinweis

Um die angegebene Dichteklasse IP65 zu gewährleisten, müssen unbedingt folgende Regeln beachtet werden:

- Verschließen Sie die Abdeckungen der USB-Schnittstelle und microSD-Schnittstelle,
- Ungenutzte Anschlussbuchsen müssen mit Silikonstöpseln gesichert werden.



Bei einer Umgebungstemperatur von weniger als 0°C und wenn die Innentemperatur auch unterhalb dieser Schwelle fällt, wird die Heizung des Geräts eingeschaltet, deren Aufgabe es ist eine betriebsgerechte Innentemperatur bei einer Umgebungstemperatur von -20°C...0°C zu gewährleisten.

Die Heizung wird über den eingebauten Netzadapter versorgt, und ihre Leistung ist auf ca. 5 W begrenzt.

Aufgrund der Eigenschaften des eingebauten Lithium-Ionen-Akkus ist deren Aufladen deaktiviert, wenn die Temperatur des Akkus sich außerhalb des Bereichs von -10°C ... 60°C befindet (der Ladezustand in *Sonel Analysis* wird dann als „*Ladevorgang eingestellt*“ ausgegeben).

1.5 Hutschienenmontage

Zusammen mit dem Analysator wird ein Halter zur Montage des Analysators auf einer Standard DIN-Schiene geliefert. Die Halterung muss an die Rückwand des Analysators mithilfe der Schrauben geschraubt werden. Zum Lieferumfang gehören auch Positionierungshalterungen (außer Montagehalterungen zur Montage des Analysators an einem Mast), die montiert werden sollten, um die Stabilität zu steigern. Die Halterungen verfügen über spezielle Haken, die sich an die DIN-Schiene lehnen.

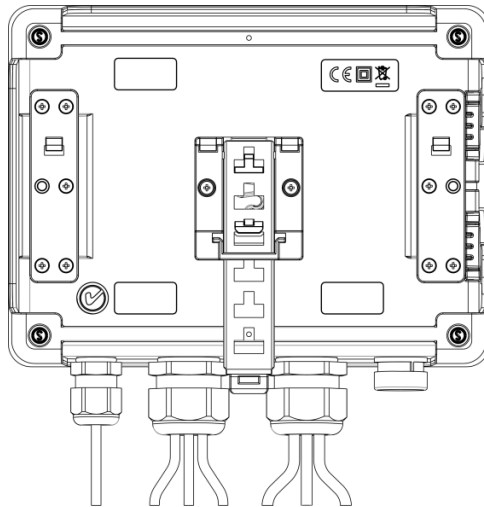


Abb. 4. Die Rückseite des Analysators mit Montageelementen für DIN-Schienen.

1.6 Gemessene Parameter

Der Analysator PQM-700 ermöglicht die Messung und Aufzeichnung folgender Parameter:

- effektive Phasenspannungen und Leiterspannungen im Bereich bis 760 V (max. bis ± 1500 V),
- effektive Ströme:
 - bis 6000 A (max. ± 20 kA) bei Verwendung der flexiblen Zangen,
 - bis 1400 A mit harten Zangen,
- maximaler Strom- und Spannungsfaktor,
- die Frequenz des Netzes im Bereich von 40 Hz...70 Hz
- Wirk-, Blind-, Scheinleistungen und -energien und Leistungen und Energien der Verzerrung,
- harmonische Komponente der Spannungen und Ströme (bis zur 50.),
- gesamte harmonische Verzerrung THD_F und THD_R für Strom und Spannung,
- Leistungsfaktor, $\cos\varphi$, $\tan\varphi$,
- Unsymmetriefaktor der Dreiphasennetzwerke und symmetrische Komponenten,
- Flicker-Faktor P_{st} und P_{lt} ,
- Einschaltstrom bis 60 Sek.

Die ausgewählten Parameter werden aggregiert (Durchschnittswert), gemäß der vom Benutzer ausgewählten Zeit, und können auf der Speicherkarte gespeichert werden. Zusätzlich zu dem Durchschnittswert kann der minimale und maximale Wert innerhalb der Zeitspanne des Durchschnittswerts und der momentane Wert, zum Zeitpunkt der Speicherung des Datensatzes, aufgezeichnet werden.

Der Bereich der Ereigniserkennung wurde auch erweitert. Typische Ereignisse im Standard EN 50160 sind für die Spannung: der Spannungseinbruch (sog. Dips, d.h. Verringerung des effektiven Wertes der Spannung unter 90% der Nennspannung), Überspannung (sog. Swells, d.h. 110% Steigerung gegenüber dem Nennwert) und der Spannungsausfall (sog. Interruptions, d.h. Reduzierung der Spannung unter die Schwelle von 5% des Nennwertes). Der Benutzer muss die in der Norm EN 50160 definierten Einstellungen nicht selbstständig ändern – die Software erlaubt eine automatische Konfiguration des Geräts für den Messmodus der Energiequalität nach EN 50160. Dem Benutzer steht auch die Möglichkeit der selbstständigen Konfiguration zur Verfügung – die Software bietet in dieser Hinsicht volle Flexibilität. Die Spannung ist einer der vielen Parameter, für die die Schwellenwerte der Ereigniserkennung definiert werden können. Somit ist es z.B. möglich den Analysator so zu konfigurieren, dass er den Fall des Leistungsfaktors ab einem bestimmten Schwellenwert, die Überschreitung eines Schwellenwerts durch die THD-Schwelle und ähnlich die Überschreitung durch die 9. Oberwellen der Spannung des Prozentwerts, den der Benutzer definiert hat, erkennt. Das Ereignis wird zusammen mit dem Zeitpunkt des Auftretens erfasst. Im Falle von Ereignissen, die die Überschreitung von Schwellenwerten des Falls, der Unterbrechung und Steigerung betreffen, und bei der Überschreitung des Minimal- und Maximalwerts des Stromes, kann die Information zum Auftreten des Ereignisses um ein Oszillogramm des Spannungs- und Stromverlaufs ergänzt werden. Es ist möglich, die beiden Zeiträume vor dem Zwischenfall und vier nach ihm zu speichern.

Die umfangreichen Konfigurationsmöglichkeiten zusammen mit einer Vielzahl der gemessenen Parameter tragen dazu bei, dass der Analysator PQM-700 ein unglaublich nützliches und leistungsfähiges Werkzeug zur Messung und Analyse aller Arten von Stromversorgungsnetzen und Netzstörungen ist. Einige der einzigartigen Funktionen dieses Tools heben dieses Gerät von anderen auf dem Markt erhältlichen Analysatoren ab.

Die Tab. 1 enthält eine Zusammenfassung der Parameter, die der Analysator PQM-700, abhängig von der Netzwerkart, erfassen kann.

Tab. 1. Gemessene Parameter für verschiedene Netzwerk-Konfigurationen.

Parameter		Netzwerkart Kanal		1-Pha- sen		2-Phasen				3-Phasen-Stern mit N					3-Phasen-Drei- eck 3-Phasen-Stern ohne N			
				L1	N	L1	L2	N	Σ	L1	L2	L3	N	Σ	L12	L23	L31	Σ
U	Effektive Spannung			•		•	•			•	•	•			•	•	•	
U _{DC}	Konstante Komponente der Spannung			•		•	•			•	•	•			•	•	•	
I	Effektiver Strom			•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
I _{DC}	Konstante Komponente des Stromes			•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
f	Frequenz			•		•				•					•			
CF U	Scheitelfaktor der Spannung (Crestfaktor)			•		•	•			•	•	•			•	•	•	
CF I	Scheitelfaktor des Stromes			•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
P	Wirkleistung			•		•	•		•	•	•	•	•	•				•
Q ₁ , Q _B	Blindleistung			•		•	•		•	•	•	•	•	•				• ⁽¹⁾
D, S _N	Leistungen der Verzerrung			•		•	•		•	•	•	•	•	•				
S	Scheinleistung			•		•	•		•	•	•	•	•	•				•
PF	Leistungsfaktor			•		•	•		•	•	•	•	•	•				•
cosφ	Phasenverschiebungsfaktor			•		•	•		•	•	•	•	•	•				
tgφ _{C-} , tgφ _{L+} tgφ _{L-} , tgφ _{C+}	Tangens-Faktor φ (Vierquadranten)			•		•	•		•	•	•	•	•	•				• ⁽¹⁾
THD U	Faktor des Inhalts der Oberwellen des Stromes			•		•	•			•	•	•			•	•	•	
THD I	Faktor des Inhalts der Oberwellen des Stromes			•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
E _{P+} , E _{P-}	Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)			•		•	•		•	•	•	•	•	•				•
E _{OC-} , E _{OL+} E _{OL-} , E _{OC+}	Blindenergie (Vierquadranten)			•		•	•		•	•	•	•	•	•				• ⁽¹⁾
E _S	Scheinenergie			•		•	•		•	•	•	•	•	•				•
U _{h1...} U _{h50}	Amplituden der Oberwellen der Spannung			•		•	•			•	•	•			•	•	•	
I _{h1...} I _{h50}	Amplituden der Oberwellen des Stromes			•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
Unsymmetrie U, I	Symmetrischen Komponenten und die Unsymmetriefaktoren													•				•
P _{st} , P _{It}	Flicker-Faktor			•		•	•			•	•	•			•	•	•	

Erläuterung:

L1, L2, L3 (L12, L23, L31) bezeichnen die folgenden Phasen,

N bezeichnet eine Messung für den Stromkanal I_N, abhängig von der Art des Parameters,

Σ ist es der Gesamtwert des Systems.

- (1) In 3-Phasennetzwerken wird als gesamte Blindleistung die inaktive Leistung berechnet $N = \sqrt{S_e^2 - P^2}$ (siehe die Diskussion bezüglich der Blindleistung im Dokument „Qualität der Stromversorgung – Leitfa-den“)

1.7 Übereinstimmung mit den Normen

Der Analysator PQM-700 wurde so entworfen, dass er die Anforderungen der unten genannten Normen erfüllt.

Standards für die Messung der Netzwerk-Parameter:

- IEC 61000-4-30:2011 - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüf- und Messverfahren - Methoden der Messung der Netzqualität,
- IEC 61000-4-7:2007 - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüf- und Messverfahren - Allgemeiner Leitfadens für Oberwellen und Interharmonische und für die Zwecke von Messgeräten für Stromversorgungssysteme und an sie angeschlossenen Geräte verwendet werden,
- IEC 61000-4-15:2011 - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüf- und Messverfahren - Meter flackern - Funktionelle und Design,
- EN 50160:2010 - Merkmale der Versorgungsspannung in öffentlichen Netzen.

Sicherheitsnormen:

- IEC 61010-1 - Sicherheitstechnische Anforderungen für elektrische Mess-, Regel- und Laborgeräte. Teil 1: Allgemeine Anforderungen

Standards für elektromagnetische Verträglichkeit:

- IEC 61326 – Elektrische Ausrüstung zur Messung, Steuerung und Nutzung in Labors. Anforderungen an Standards für elektromagnetische Verträglichkeit (EMC).

Das Gerät erfüllt in vollem Umfang die Anforderungen der Klasse S nach IEC 61000-4-30. Diese sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 2. Zusammenfassung der Einhaltung der Standards für ausgewählte Parameter

Aggregation der Messungen in Zeitabständen	IEC 61000-4-30 Klasse S • Die grundlegende Messzeit der Werte (Spannung, Strom, Oberwellen, Unsymmetrie) ist ein Bereich von 10 Zeitabschnitten für ein 50 Hz Versorgungssystem und von 12 Zeitabschnitten für ein 60 Hz Versorgungssystem, • Intervall von 3 s (150 Perioden für Nennfrequenzen 50 Hz und 180 Perioden für 60 Hz) • Intervall von 10 min.
Die Unsicherheit der Uhrzeit	IEC 61000-4-30 Klasse S • Eingebaute Echtzeituhr, die über das Programm „Sone! Analysis“, keine GPS oder Funk-Synchronisation, • Genauigkeit der Uhr besser als $\pm 0,3$ Sek. / Tag
Frequenz	Die Anforderungen der Norm IEC 61000-4-30 Klasse S für Methoden und die Messunsicherheit werden erfüllt
Wert der Versorgungsspannung	Die Anforderungen der Norm IEC 61000-4-30 Klasse S für Methoden und die Messunsicherheit werden erfüllt
Spannungsschwankungen (Lichtflimmern)	Die Methode der Messung und die Unsicherheit erfüllt die Anforderungen der Norm IEC 61000-4-15
Einbrüche, Überspannungen und Unterbrechungen der Versorgungsspannung	Die Anforderungen der Norm IEC 61000-4-30 Klasse S für Methoden und die Messunsicherheit werden erfüllt
Unsymmetrie der Versorgungsspannung	Die Anforderungen der Norm IEC 61000-4-30 Klasse S für Methoden und die Messunsicherheit werden erfüllt
Oberwellen der Spannung und des Stromes	Die Methode und die Messunsicherheit erfüllen die Anforderungen IEC 61000-4-7 Klasse I
Effektivwert des Stromes	Die Anforderungen der Norm IEC 61000-4-30 Klasse A für Methoden und die Messunsicherheit werden erfüllt

2 Bedienung des Analysators

2.1 Tasten

Die Tastatur des Analysators besteht aus zwei Tasten: EIN/AUS  und START/STOP . Um den Analysator einzuschalten drücken Sie die Taste EIN/AUS. Die Taste START/STOP dient zum Starten und Stoppen der Aufnahme.

2.2 Signal-LEDs

Der Analysator ist mit fünf LEDs ausgestattet, die verschiedene Betriebszustände anzeigen:

- **ON** (grün) – die Diode leuchtet, wenn der Analysator eingeschaltet ist. Während der Aufzeichnung mit aktivem Schlafmodus ist die LED aus.
- **LOG** (gelb) – zeigt eine laufende Aufzeichnung an. Während Sie darauf warten, dass die Aufzeichnung ausgelöst wird, leuchtet die LED dauerhaft. Während der Aufzeichnung blinkt sie. Während der Aufzeichnung mit aktivem Schlafmodus schaltet sie sich im 10-Sekunden-Intervall aus und wieder kurz ein.
- **ERROR** (rot) – das Blinken dieser LED zeigt ein mögliches Problem mit der Verbindung zum geprüften Netzwerk oder eine Inkompatibilität der eingestellten aktiven Konfiguration mit den Netzwerkparametern an. Die Kontrollkriterien sind im Abschnitt 2.6 angegeben. Dauerleuchten weist auf einen möglichen internen Fehler des Analysators hin (siehe auch die Beschreibung weiterer Zustände weiter unten).
- **MEM** (rot) – wenn sie leuchtet, bedeutet dies, dass keine Daten auf der Speicherkarte aufgezeichnet werden können. Die **MEM**-LED leuchtet dauerhaft, wenn der gesamte Speicherplatz auf der Speicherkarte voll ist. Siehe auch die Beschreibung weiterer Zustände weiter unten.
- **BATT** (rot) – Batteriestatus. Blinken bedeutet, dass der Akku fast leer ist (20% Kapazität oder weniger). Wenn der Akku vollständig entladen ist, leuchtet die Diode für 5 Sekunden auf (zusammen mit einem akustischen Signal) und dann schaltet das Analysator im Notmodus ab.

Zusätzliche Zustände, die durch LEDs angezeigt werden:

- Dauerleuchten von **MEM** und **ERROR** – keine Speicherkarte, beschädigte Karte oder Kartenfehler. Wenn diese LEDs nach dem Einsetzen der Speicherkarte in den Steckplatz leuchten, kann dies bedeuten, dass die Speicherkarte nicht mit dem Analysator kompatibel ist. In einem solchen Fall ist ein Weiterarbeiten mit dem Analysator nicht möglich. Die Taste START  ist inaktiv.
- Die **ERROR**-LED leuchtet dauerhaft und die **MEM**-LED blinkt – die Speicherkarte ist unformatiert (vom Analysator benötigte Dateien fehlen oder sind beschädigt) – in diesem Fall können Sie die START-Taste drücken  (sie ist aktiv), wo die Karte formatiert wird. (HINWEIS: Alle Daten auf der Karte werden gelöscht.) Der Analysator bestätigt den Beginn der Formatierung durch einen dreifachen Signalton. Ist dieser Vorgang erfolgreich, erlöschen die **MEM**- und **ERROR**-LEDs und der Analysator ist für den weiteren Betrieb bereit.
- Blinkende **ON**-LED – die Datei FIRMWARE.PQF mit der richtigen Firmware-Aktualisierungsdatei für den Analysator wurde auf der Speicherkarte erkannt. Der Benutzer kann die START-Taste drücken  um den Update-Vorgang zu starten. Während des Updates blinken die **ON**- und **MEM**-LEDs gleichzeitig. Nach Abschluss dieses Vorgangs startet das Messgerät neu. Das Firmware-Update kann durch Drücken der ON/OFF-Taste  oder mit 10 Sekunden Wartezeit übersprungen werden.

2.3 Ein- und Ausschalten

- Der Analysator wird durch einen Tastendruck eingeschaltet . Die grüne LED **ON** leuchtet auf. Danach führt der Analysator einen Autotest durch und im Falle des Erkennens von internen Fehlern leuchtet die LED **ERROR**, begleitet von einem langen Tonsignal (3 Sekunden) – die Messungen werden blockiert. Nach dem Selbsttest beginnt das Messgerät, die Richtigkeit der Verbindung zu testen; wird ein Fehler erkannt, beginnt die **ERROR**-LED alle 0,5 s zu blinken, was die Möglichkeit weiterer Messungen nicht blockiert, sondern nur die inkompatible Konfiguration des Analysators mit den Parametern des angeschlossenen Netzwerks signalisiert.
- Wenn nach Einschalten das Messgerät einen vollen Speicher erkennt, leuchtet die LED **MEM** auf – die Messungen werden blockiert, und nur der Modus der Ablesung der aktuellen Daten funktioniert.
- Falls das Messgerät die microSD-Karte nicht erkennt oder entdeckt, dass sie beschädigt ist, leuchtet die LED **ERROR** und **MEM** auf und die Messungen werden blockiert.
- Falls der Verbindungs-Test erfolgreich war,  wechselt das Messgerät in den Aufnahmemodus gemäß des programmierten Modus im PC.
- Der Analysator wird durch halten der Taste  für 2 Sekunden ausgeschaltet, wenn die Tastensperre oder eine Aufnahme nicht aktiv ist.

2.4 Automatische Abschaltung

Wenn der Analysator mindestens 30 Minuten im Akku-betriebenen Modus (ohne Netzteil) arbeitet und sich nicht im Aufzeichnungsmodus befindet und keine Verbindung zu einem Computer besteht, wird das Gerät automatisch abgeschaltet, um so den Akku vor Entladen zu schützen.

Die Automatische Abschaltung des Analysators erfolgt auch nach dem vollständigen Entladen des Akkus. Ein solches Notausschalten wird durch Aufleuchten der LED **BATT** 5 Sek. lang vorangegangen und wird unabhängig vom Modus, in dem sich der Analysator befindet durchgeführt. Im Falle einer aktiven Aufzeichnung wird diese unterbrochen. Nach der Rückkehr der Versorgungsspannung wird die Aufzeichnung wieder fortgesetzt.

2.5 PC-Verbindung und Datenübertragung

Nach Einschalten des Messgerätes mit der Taste  ist der USB-Anschluss dauerhaft aktiv.

- Im Lesemodus für aktuelle Daten, erfolgt die Aktualisierung der Daten im PC-Programm öfter als jede 1 Sek.
- Während der Aufnahme ist die Datenübertragung der bereits gespeicherten Daten. Die Daten werden bis zum Beginn der Übertragung gelesen.
- Während der Aufnahme ist die Vorschau der Netzparameter auf dem PC möglich:
 - Momentwerte des Stroms, der Spannung, aller Leistungen, Gesamtwerte der 3 Phasen,
 - Oberwellen und THD,
 - Asymmetrie,
 - Zeigerdiagramme für Spannung und Strom,
 - Spannungs- und Stromverlauf in Echtzeit.
- Während der Verbindung zum PC ist die Taste  gesperrt, es sei denn der Analysator arbeitet im Modus der Tastensperre (z.B. bei der Aufzeichnung), in so einem Fall ist auch die Taste  gesperrt.
- Um mit dem Analysator eine Verbindung aufzubauen, muss die PIN eingegeben werden. Standardmäßig wird der PIN-Code 000 (drei Nullen) eingestellt. Der PIN-Code kann in dem Programm *SoneI Analysis* individuell eingestellt werden.
- Nachdem der PIN-Code dreimal falsch eingegeben wird, wird die Datenübertragung für 10 Minuten gesperrt. Erst nach Ablauf dieser Zeit ist es möglich den PIN-Code erneut einzugeben.
- Wenn nach dem Verbinden mit dem PC keine Datenübertragung innerhalb von 30 Sekunden stattgefunden hat, wird der Analysator den Datenübertragungsmodus verlassen und die Verbindung abbrechen..

Hinweise

- Wenn die Tasten  und  5 Sekunden lang gehalten werden, wird der Standard-PIN-Code (000) eingestellt.
- Wenn die Tastensperre während der Aufzeichnung eingeschaltet ist, hat diese Funktion Vorrang (zuerst muss die Tastensperre aufgehoben werden, um die PIN zurückzusetzen). Die Vorgehensweise ist in einem separaten Abschnitt beschrieben.

USB ist eine ständig aktive Schnittstelle und es ist nicht möglich sie zu deaktivieren. Um mit dem Analysator eine Verbindung aufzubauen, schließen Sie das USB-Kabel an den Computer an (die USB-Buchse am Gerät befindet sich auf der linken Seite und wird durch einen Verschlussstopfen geschützt). Auf dem Computer muss zuvor das Programm *Sonel Analysis* zusammen mit den Treibern installiert werden.

Übertragungsgeschwindigkeit bis zu 921,6 kbit/Sek.

2.6 Signalisierung einer fehlerhaften Verbindung

Während des Betriebs überprüft der Analysator kontinuierlich die gemessenen Parameter auf Übereinstimmung mit der aktuellen Konfiguration. Anhand mehrerer unten aufgeführter Kriterien steuert das Analysegerät das Aufleuchten der **ERROR**-LED. Wenn der Analysator keinen Verstoß festgestellt hat, bleibt diese LED aus. Wenn mindestens eines der Kriterien ein potenzielles Problem anzeigt, beginnt die **ERROR**-Diode zu blinken.

Kriterien, die vom Analysator verwendet werden, die dazu führen, dass ein Verbindungsfehler erkannt wird, sind wie folgt:

- die Abweichung des effektiven Spannungswerts um mehr als $\pm 15\%$ vom Nennwert,
- Abweichung des Phasenwinkels der grundlegenden Komponente der Spannung um mehr als $\pm 30^\circ$ vom theoretischen Wert unter Widerstandslast und bei einem symmetrischen Netz (siehe unten),
- Abweichung des Phasenwinkels der grundlegenden Komponente des Stromes um mehr als $\pm 55^\circ$ vom theoretischen Wert unter Widerstandslast und bei einem symmetrischen Netz (siehe unten),
- Frequenzabweichung des Netzes um mehr als $\pm 10\%$ von der Nennfrequenz,
- In 3-Phasen-, 3- und 4-Leitersystemen berechnet der Analysator zusätzlich die Summe aller Ströme (Momentanwerte) und prüft, ob diese Null ist. Dadurch lässt sich feststellen, ob alle Stromzangen richtig angeschlossen sind (d.h. die Pfeile auf den Zangen zeigen in Richtung Empfänger). Wenn der berechnete RMS-Wert der Summe höher als $0,3\% I_{nom}$ ist, wird dies als Fehler behandelt und die **ERROR**-LED blinkt.

Hinweis

Die Fehlererkennung der Phase setzt voraus, dass die grundlegende Komponente des Verlaufs größer oder gleich 5% der Nennspannung, oder 1% des gesamten Bereichs des Nennstromes ist. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, wird die Richtigkeit der Winkel nicht geprüft.

2.7 Warnung vor zu hoher Spannung oder Strom

Während des Betriebs überwacht der Analysator kontinuierlich die Werte der an den Messeingängen angeschlossenen Spannungen und Ströme. Wenn die Spannung in einer der aktiven Phasen den in der Messkonfiguration eingestellten Nennspannungswert ($>120\% U_{\text{NOM}}$) um 20% überschreitet, wird ein kontinuierliches Zweiton-Tonsignal aktiviert. Bei Strömen ist die Situation ähnlich: Das Alarmsignal wird aktiviert, wenn der gemessene Strom in einem der aktiven Kanäle den Nennstrom um 20% überschreitet (Zangenbereich; $>120\% I_{\text{NOM}}$). Überprüfen Sie in einer solchen Situation, ob die Spannung und der Strom im gemessenen Netzwerk innerhalb des vom Analysator zulässigen Spannungs- und Strombereichs liegen, oder prüfen Sie, ob die Konfiguration des Analysators korrekt ist, und ändern Sie diese ggf.

2.8 Drchführen von Messungen

2.8.1 Starten und Stoppen der Aufnahme

Es gibt drei Möglichkeiten, um die Aufnahme auszulösen:

- sofortige Auslösung - manuell durch Drücken der Taste  nach voriger Konfiguration des Messgerätes aus der Ebene des PC, leuchtet die LED **LOG** auf,
- gemäß der Zeit, die im PC-Programm eingestellt wurde, verursacht das Drücken von  keine Aufnahme (das Messgerät wartet bis zur ersten Zeit und startet von selbst). Die **LOG**-LED leuchtet im Wartemodus und blinkt bei Auslösung,
- nach Schwellenwert - nach Überschreitung eines voreingestellten Schwellenwerts - durch Drücken  der Taste wird das Gerät in den normalen Messmodus umgeschaltet, jedoch die Speicherung von Dateien (die eigentliche Aufzeichnung) wird erst nach dem Überschreiten eines Schwellenwerts vorgenommen, blinkt bei Auslösung.

Das Messgerät kann durch ein Ereignis des Stroms oder der Spannung ausgelöst werden, das im PC eingestellt wird. Schwellenwerte der Ereignisse für die Auslösung sind die gleichen wie die Schwellenwerte für die Aufnahme der Ereignisse.

Abschluss der Aufzeichnung:

- Die manuelle Aufnahme wird gestoppt, indem Sie die Taste  eine Sekunde lang gedrückt halten oder über die PC-Anwendung.
- Die Aufzeichnung im Zeitplan-Modus automatisch beendet (wenn die Zeit eingestellt wurde), in den anderen Fällen wird sie vom Benutzer beendet (mit der Taste  oder über die Software).
- Die Aufnahme endet automatisch, wenn die Speicherkarte voll ist.
- Nach Abschluss der Aufnahme, wenn das Messgerät nicht im Schlafmodus war, erlischt die LED **LOG** und das Messgerät wartet auf die entsprechenden Befehle des Benutzers.
- Wenn die LEDs des Messgeräts ausgelöscht waren während der Aufnahme, leuchten nach Beenden der Aufnahme keine LEDs; das Drücken der Taste verursacht das die LED **ON** aufleuchtet.

2.8.2 Ungefähre Aufzeichnungszeiten

Die maximale Aufzeichnungsdauer hängt von vielen Faktoren ab, wie die Größe des Speicherplatzes, Mittelungszeit, Netzwerk-Typ, Anzahl der aufgezeichneten Parameter, Aufzeichnung von Oszillogrammen und Erkennung von Ereignissen und der Schwellenwerte. Einige ausgewählte Konfigurationen wurden in Tab. 3 dargestellt. In der letzten Registerkarte sind die ungefähren Messzeiten angegeben, wenn dem jeweiligen Messpunkt ca. 2 GB Arbeitsspeicher zugewiesen wurde. Die Beispiele von Konfigurationen setzen die Messung des Stromes I_N voraus.

Tab. 3. Die ungefähren Aufzeichnungszeiten für mehrere Beispiel-Konfiguration.

Konfigurationstyp/ Aufgezeichnete Parameter	Mittelungszeit	Netzwerkart (Strommessung aktiv)	Ereignisse	Oszillogramme der Ereignisse	Oszillogramme nach der Mittelungszeit	Ungefähre Registrierungszeit bei 2 GB zugewiesenem Speicherplatz
nach EN 50160	10 min	3-Phasen-Stern	• (1000 Ereignisse)	• (1000 Ereignisse)		60 Jahre
entsprechend dem Profil „Spannungen und Strom“	1 s	3-Phasen-Stern				270 Tage
nach dem Profil „Leistungen und Oberwellen“	1 s	3-Phasen-Stern				23 Tage
nach dem Profil „Leistungen und Oberwellen“	1 s	3-Phasen-Stern	• (1000 Ereignisse)	• (1000 Ereignisse)		22,5 Tage
alle möglichen Parameter eingeschaltet	10 min	3-Phasen-Stern				4 Jahre
alle möglichen Parameter eingeschaltet	10 s	3-Phasen-Stern				25 Tage
alle möglichen Parameter eingeschaltet	10 s	1-Phasen				64 Tage
alle möglichen Parameter eingeschaltet	10 s	1-Phasen	• (1000 Ereignisse/Tag)	• (1000 Ereignisse/Tag)	•	22 Tage

2.9 Messsysteme

Der Analysator kann direkt oder indirekt an folgende Netzwerke angeschlossen werden:

- 1-Phasen (Abb. 5)
- 2-Phasen (mit geteilter Wicklung des Transformators, eng. *split phase*) (Abb. 6),
- 3-Phasen des Typs Stern mit neutraler Leitung (Abb. 7 , Abb. 12),
- 3-Phasen des Typs Stern ohne neutrale Leitung (Abb. 8),
- 3-Phasen des Typs Dreieck (Abb. 9 , Abb. 13).

In 3-Phasen-Systemen ist die Messung mit der Aron-Methode möglich, unter Verwendung von nur zwei Messzangen, die die Linienströme I_{L1} und I_{L3} messen. Der Strom I_{L2} wird nach folgender Formel berechnet:

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

Diese Methode kann in einem Dreieck-System (Abb. 10) und in einem Stern-System ohne neutrale Leitung (Abb. 11) verwendet werden.

Hinweis

Weil die Messkanäle der Spannung im Analysator sich auf den Eingang N, in Systemen ohne neutrale Leitung, beziehen, ist es notwendig den Eingang N und L3 des Analysators zu verbinden. Es ist in diesem Fall nicht nötig den L3-Eingang des Analysators an das geprüfte Netz anzuschließen. Dies wird auf Abb. 8, Abb. 9, Abb. 10, Abb. 11 und Abb. 13 (3-Phasen-Systeme des Typs Stern und Dreieck) dargestellt.

In Systemen mit neutraler Leitung kann zusätzlich die Strommessung auf dieser Leitung eingeschaltet werden, nachdem ein zusätzlicher Satz Messzangen im Kanal I_N angeschlossen wurde. Diese Messung wird durchgeführt, wenn in der Konfiguration des Messpunktes die Option **N-LEITER STROM** mit der Option **GEMESSEN**.

Hinweis

Zur Berechnung der gesamten Scheinleistung S_0 und des gesamten Leistungsfaktors PF in einem 3-Phasen-System mit 4 Leitungen, ist die Messung des Stromes der neutralen Leitung notwendig. In solch einem Fall sollte immer die Option **N-LEITER STROM** aktiviert sein und es sollten 4 Messzangen verwendet werden. Mehr Informationen finden Sie im Dokument „Qualität der Stromversorgung – Leitfaden“.

Beachten Sie die Richtung in der Sie die Zangen (flexible und CT) anschließen. Die Zangen müssen so montiert werden, dass der Pfeil auf den Zangen in Richtung der Belastung zeigt. Dies kann überprüft werden, indem eine Messung der Wirkleistung durchgeführt wird – in den meisten passiven Empfängern ist die Wirkleistung positiv. Falls die Zangen verkehrt angeschlossen werden, ist es möglich die Polarisierung über die Software *Sonel Analysis* umzukehren.

Die folgenden Abbildungen zeigen schematisch, wie ein Netzwerk-Analysator zum Test, abhängig vom Netz-Typ, angeschlossen werden sollte.

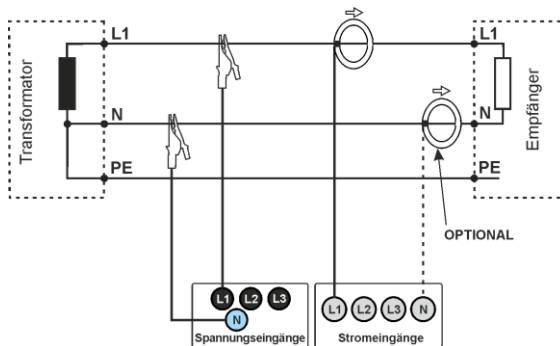


Abb. 5. Anschlussschaltbild - 1-Phasen-System.

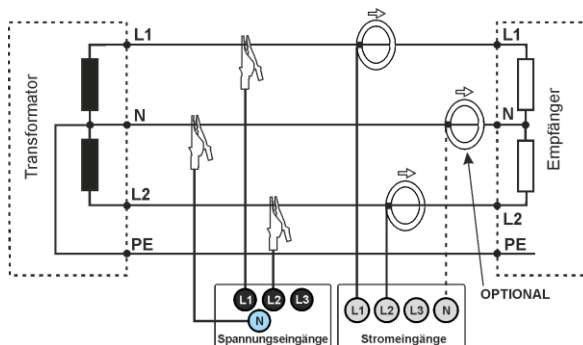


Abb. 6. Anschlussschaltbild - 2-Phasen-System.

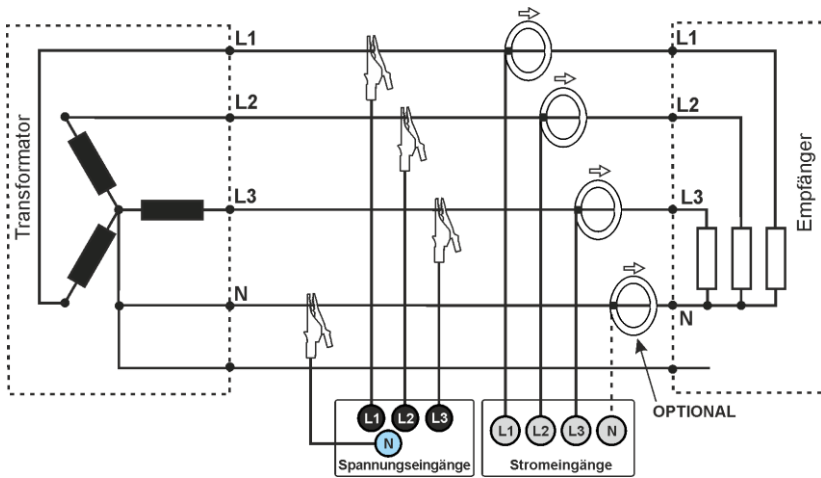


Abb. 7. Anschlussschaltbild – 3-Phasen-Stern-System mit neutraler Leitung.

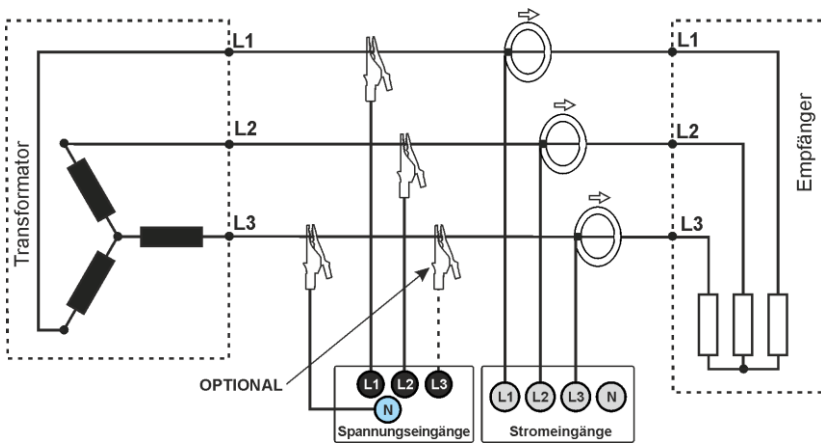


Abb. 8. Anschlussschaltbild – 3-Phasen-Stern-System ohne neutraler Leitung.

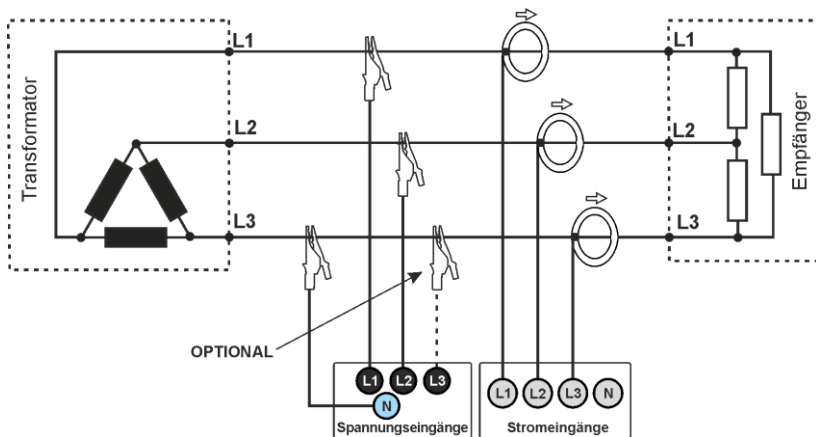


Abb. 9. Anschlussschaltbild - 3-Phasen-Dreieck-System.

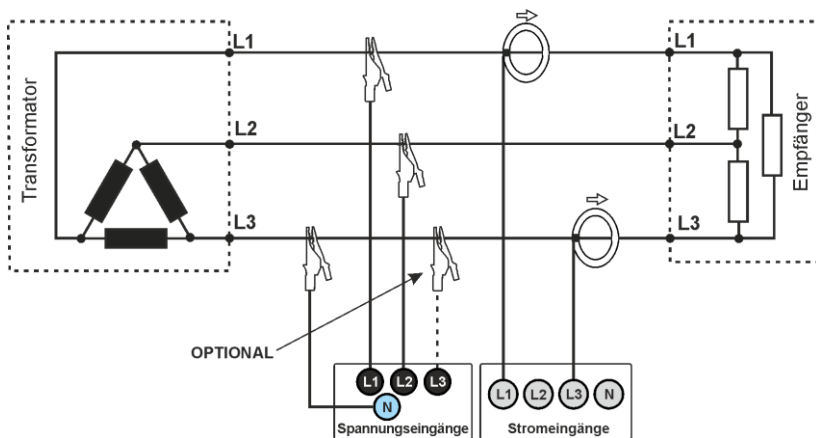


Abb. 10. Anschlussschaltbild - 3-Phasen-Dreieck-System (Messung mit der Aron-Methode).

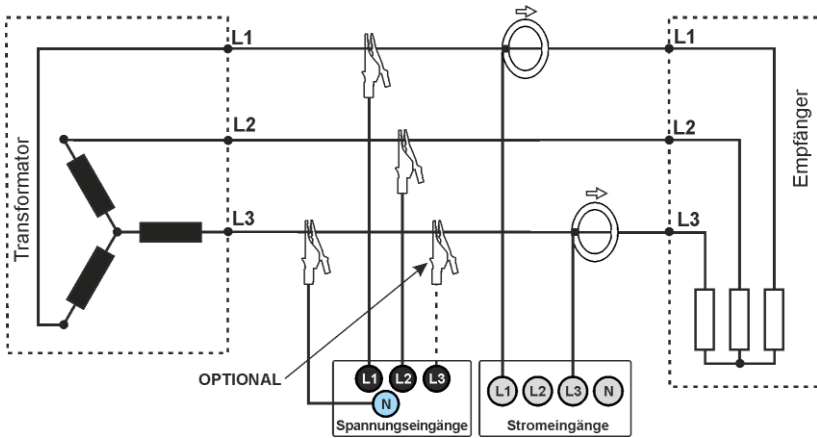


Abb. 11. Anschluss Schaltbild – 3-Phasen-Stern-System ohne neutraler Leitung (Messung mit der Aron-Methode).

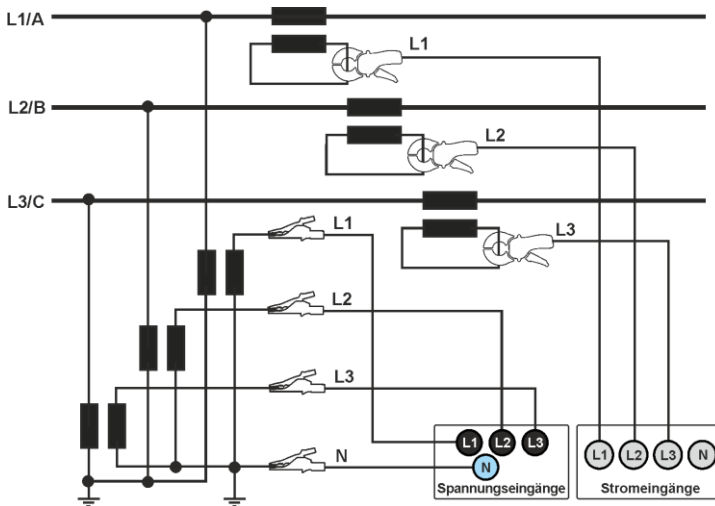


Abb. 12. Anschluss Schaltbild – indirekte Messung von MS in einem 3-Phasen-Stern-System.

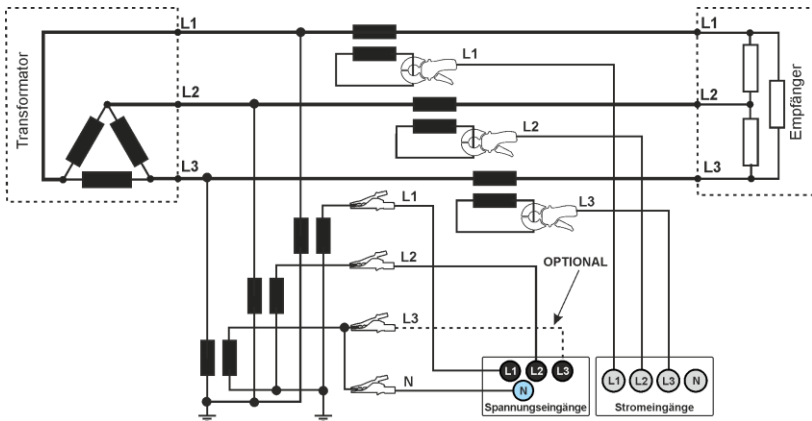


Abb. 13. Anschlusschaltbild – indirekte Messung von MS in einem 3-Phasen-Dreieck-System.

2.10 Einschaltstrom

Diese Funktion ermöglicht die Aufnahme von Halbperiodenwerten der Spannung und des Stroms mit 60 Sek.-Zeiten. Nach dieser Zeit wird die Aufnahme automatisch beendet. Vor der Aufnahme sollte die Aggregationszeit als *Halbperiodenwert* eingestellt werden. Weitere Einstellungen und Messsysteme sind zugelassen.

2.11 Tastensperre

Die PC-Anwendung bietet die Möglichkeit die Tastensperre so einzustellen, dass die Tasten nach dem Start der Aufzeichnung gesperrt werden. Dies hat zum Ziel den Analysator vor dem Ausschalten der Aufzeichnung durch unbefugte Personen zu schützen.

Um die Tasten zu entsperren, gehen Sie folgendermaßen vor:

- drücken Sie dreimal in Folge die Taste **①** in Abständen von 0,5 bis 1 Sek.,
- drücken Sie danach die Taste **START STOP** in einem Zeitabstand von 0,5 bis 1 Sek.,

Beim Drücken der Tasten werden Geräusche ausgelöst wie für inaktive Tasten, und nach der gesamten Sequenz gibt das Messgerät ein Doppeltonsignal aus.

2.12 Sleep-Modus

Im PC-Programm befindet sich eine Option, die das Einschalten des Ruhemodus zur Folge hat. Nach dem Starten der Aufnahme löscht das Messgerät die LEDs nach 10 Sek. Von diesem Zeitpunkt an sind folgende Fälle möglich:

- sofortige Auslösung – nach Löschen der LEDs blinkt alle 10 Sek. (eine 0,5 Sek. lang) die LED **LOG**, die die Aufnahme signalisiert,
- Auslösen bei Ereignissen – nach Löschen blinkt die LED **LOGG** alle 30 Sek. im Standby-Modus, beim Start der Aufnahme blinkt die LED **LOG** alle 10 Sek.,
- Auslösen nach Zeitplan – nach Löschen blinkt die LED **LOG** alle 30 Sek. im Standby-Modus, beim Start der Aufnahme blinkt die LED **LOG** alle 10 Sek.

Zusätzlich zu den oben genannten Fällen:

- Wenn der Benutzer die Aufnahme selbst unterbricht durch Drücken von **START STOP**, schalten sich die LEDs aus, es sei denn, der Benutzer schaltet eine erneute Aufnahme ein,
- Wenn der Analysator die Aufnahme selbst beendet, weil die Speicherkarte voll ist oder der Zeitplan abgelaufen ist, bleiben die LEDs ausgeschaltet.

Das Drücken einer beliebigen Taste (kurz) führt zum Aufleuchten der LED **ON** (und ev. anderer, z.B. **MEM** abhängig vom Zustand) und die Aktivierung der jeweiligen Funktio, falls verfügbar.

2.13 Firmware aktualisieren

Die Software des Analysators (eng. *Firmware*) sollte regelmäßig aktualisiert werden, da Updates die festgestellten Fehler beheben oder neue Funktionen einführen. Wenn Sie die Software des Analysators aktualisieren, stellen Sie sicher, dass auch eine neue Version von *Sonel Analysis* (und umgekehrt) verfügbar ist, und wenn ja, führen Sie auch hierfür ein Update durch.

2.13.1 Automatische Aktualisierung

Die automatische Methode (empfohlen) wird mit der *Sonel Analysis*-Software durchgeführt. Wenn der Benutzer in der Programmkonfiguration die Option **Nach Online Updates suchen**, aktiviert hat, stellt die Anwendung beim Start eine Verbindung zum Update-Server her. Wenn Updates verfügbar sind, werden diese (zusammen mit einer Liste der Änderungen) angezeigt, woraufhin der Benutzer den Download bestätigen kann. Sie können die Update-Prüfung auch manuell durchführen, indem Sie im Menü **Hilfe** → **Online-Update** auswählen. Wenn ein Firmware-Update verfügbar ist und heruntergeladen wurde, können Sie die interne Software des Messgeräts aktualisieren. Dazu:

1. Bevor Sie mit der Aktualisierung beginnen, laden Sie alle Daten vom Analysegerät auf den Computer herunter (laden Sie die aufgezeichneten Daten herunter und speichern Sie sie auf der Festplatte).
2. Schließen Sie den Analysator an das Stromnetz an.
3. Verbinden Sie den Analysator mit einem USB-Kabel mit dem Computer und stellen Sie die Verbindung zwischen der Anwendung und dem Analysator her. Unmittelbar nach der Verbindung sollte die *Sonel Analysis*-Software eine Meldung über die Möglichkeit eines Firmware-Updates anzeigen (dazu muss in der Programmkonfiguration die Option „**Firmware Version während des Verbindungsablaufs überprüfen**“ aktiv sein).
4. Nachdem Sie bestätigt haben, dass Sie aktualisieren möchten, warten Sie, bis der Vorgang abgeschlossen ist.
5. **HINWEIS:** Nach einer erfolgreichen Aktualisierung ist es notwendig, den Analysator vor Beginn der Aufzeichnung neu zu programmieren, um Inkonsistenzen in den aufgezeichneten Daten zu vermeiden.

2.13.2 Manuelle Aktualisierung

Bei der manuellen Aktualisierung muss die entsprechende Firmware-Datei auf der Speicherkarte gespeichert und die Aktualisierung durch Drücken der Taste gestartet werden.

1. Bevor Sie mit der Aktualisierung beginnen, laden Sie alle Daten vom Analysegerät auf den Computer herunter (laden Sie die aufgezeichneten Daten herunter und speichern Sie sie auf der Festplatte).
2. Schließen Sie den Analysator an das Stromnetz an.
3. Laden Sie die Datei mit der neuen Firmware von der Website des Herstellers www.sonel.com herunter. Wenn die Datei gepackt ist, extrahieren Sie die Datei FIRMWARE.PQF aus dem Archiv.
4. Die Datei FIRMWARE.PQF sollte mit einem externen Kartenleser im Hauptordner der microSD-Karte gespeichert werden.
5. Stecken Sie die Karte in den Analysator. Die **ON**-LED sollte blinken, was anzeigt, dass die Firmware-Datei erkannt wurde und zur Ausführung des Updates bereit ist.
6. Drücken Sie **START**  um das Update zu starten. Wird die **START**-Taste nicht innerhalb von 10 Sekunden gedrückt, wird das Update übersprungen. Der Vorgang wird durch Blinken der **ON**- und **MEM**-LEDs signalisiert.
7. **HINWEIS:** Nach einer erfolgreichen Aktualisierung ist es notwendig, den Analysator vor Beginn der Aufzeichnung neu zu programmieren, um Inkonsistenzen in den aufgezeichneten Daten zu vermeiden.

3 Programm „Sonel Analysis“

Die Software *Sonel Analysis* ist eine Anwendung, die für die Arbeit mit dem Analysator PQM-700 erforderlich ist. Möglichkeiten und Funktionen:

- Konfiguration des Analysators,
- Ablesen der Daten aus dem Recorder,
- Echtzeit-Vorschau des Netzwerks,
- Löschen von Daten in dem Analysator,
- Präsentation von Daten in tabellarischer Form,
- Präsentation von Daten als Diagramm,
- Analyse von Daten in Bezug auf die Norm EN 50160 (Berichte), der Systemregelung und andere benutzerdefinierte Bezugspunkte und Richtlinien,
- unabhängige Bedienung für mehrere Geräte,
- Aktualisierung zu einer neueren Softwareversion des Analysators und derselben Anwendung.

Eine detaillierte Anleitung für das Programm *Sonel Analysis* ist in einem gesonderten Dokument erhältlich (auch zum Download von der Herstellerwebsite www.sonel.com).

4 Aufbau und Messmethoden

4.1 Spannungseingänge

Der Bau von Spannungseingängen wurde schematisch auf der Abb. 14 gezeigt. Drei Phaseneingänge L1, L2, L3 haben eine gemeinsame Bezugslinie, die die Leitung N (neutral) bildet. Diese Konfiguration reduziert auf vier die Anzahl der Leitungen, die benötigt sind, um den Analysator in der erweiterten Option anzuschließen. Diese Abbildung zeigt auch, dass der Stromversorgungskreis des Analysators unabhängig von den Messleitungen ist. Das Netzteil verfügt über einen nominalen Eingangsspannungsbereich von 100 V...415 V AC und hat eine separate Klemmen.

Der Analysator verfügt über einen Spannungsbereich mit der Spitzenspannung von 1150 V (ohne Abschneiden).

4.2 Stromeingänge

Der Analysator verfügt über vier unabhängige Stromeingänge mit den gleichen Parametern. An jeden von ihnen können harte Stromzangen (Typ CT), mit einem Stromausgang im Standard 1 V, oder mehrere flexible Rogowski-Stromzangen angeschlossen werden.

Eine typische Situation ist die Verwendung von flexiblen Stromzangen zusammen mit dem eingebauten elektronischen Integrator. Allerdings kann der PQM-700 direkt an den Eingang des Stromkanals der Rogowski-Spule angeschlossen werden, und die Integration des Signals erfolgt digital.

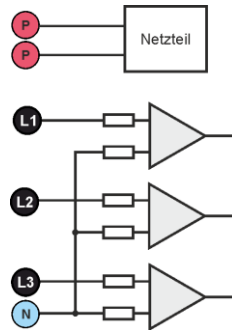


Abb. 14. Spannungseingänge und Netzteil

4.2.1 Digitaler Integrator

Im Analysator PQM-700 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, auszuweichen. 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 sowohl Eingangsverstärker, als auch Analog-Digital-Wandler einen bestimmten endlichen und unerwünschten Vorspannung besitzen, die vor der Integration entfernt werden muss. In der Software des Analysators PQM-700 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 60 Hz 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 ¹ ausgedrückt werden kann:

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

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 $\cos\varphi=0,5$ beträgt der Fehler 0,3%. Wie auch immer, damit die Leistungsmessungen genau sind, muss die Übereinstimmung der Phasen der Strom und Spannungskreise bestmöglich sein.

4.3 Signalabtastung

Das Signal wird abgetastet in allen acht Kanälen gleichzeitig abgetastet mit der Versorgungsspannungsfrequenz des Referenzkanals. Die Frequenz beträgt 10,24 kHz für die Frequenz 50 Hz und 60 Hz. Eine einzelne Periode hat daher 204,8 Proben für die Frequenz 50 Hz und 170,67 für 60 Hz. Es wurde ein 16-Bit-Analog-Digital-Wandler eingesetzt, 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 im Bezug auf die Oberwellen des Stromes ist die absolute Phasenverschiebung im 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.

4.4 PLL-Synchronisation

Die Synchronisierung der Abtastfrequenz wurde je nach Hardwareversion des Analysators durch Hardware umgesetzt. 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-Wandler notwendig ist.

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. Für den ordnungsgemäßen Betrieb des PLL-Systems benötigt der PQM-700-Analysator eine Spannung über ca. 10 V am L1-N-Eingang.

4.5 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 der L1-bahn 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.

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

4.6 Erkennung der Ereignisse

Der Analysator PQM-700 bietet viele Möglichkeiten zur Erkennung von Ereignissen im gemessenen Netzwerk. Als Ereignis wird eine Situation bezeichnet, deren Wert des ausgewählten Netzwerk-Parameters den vom Benutzer bestimmten Schwellenwert überschreitet.

Das Auftreten eines Ereignisses wird auf der SD-Karte in Form eines Eintrages gespeichert, der folgende Informationen enthält:

- Parameter,
- Kanal, in dem Ereignis festgestellt wurde,
- Start- und Endzeiten des Ereignisses,
- der Schwellenwert, der vom Benutzer bestimmt wurde,
- Extremwert des Parameters, der während des Ereignisses gemessen wurde,
- Durchschnittswert des Parameters der während des Ereignisses gemessen wurde.

Je nach Art des Parameters können ein, zwei oder drei Schwellenwerte eingestellt werden, die der Analysator überprüfen wird. Die Tab. 4 listet alle Parameter, für die Ereignisse mit Unterscheidung der Art des Schwellenwerts festgestellt werden können.

Tab. 4. Arten der Schwellenwerte für die jeweiligen Parameter.

Parameter	Untere- bre- chung	Ein- bruch	Wachs- tum	Mini- mum	Maxi- mum
U	Effektivwert der Spannung	•	•		• ⁽¹⁾
U_{DC}	Konstante Komponente der Spannung				•
f	Frequenz			•	•
CF U	Scheitelfaktor der Spannung (Crestfaktor)			•	•
u_2	Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente der Spannung				•
P_{st}	Flickerfaktor P_{st}				•
P_{It}	Flickerfaktor P_{It}				•
I	Effektivwert des Stromes			•	•
CF I	Scheitelfaktor des Stromes				
i_2	Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente des Stromes				•
P	Wirkleistung			•	•
Q_1, Q_B	Blindleistung			•	•
S	Scheinleistung			•	•
D, S_N	Leistungen der Verzerrung			•	•
PF	Leistungsfaktor			•	•
$\cos\varphi$	Phasenverschiebungsfaktor			•	•
$\tan\varphi$	Tangens-Faktor φ (Vierquadranten)			•	•
E_{P+}, E_{P-}	Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)				•
E_{Q+}, E_{Q-}	Blindenergie (aufgezeichnet und abgegeben, Vierquadranten)				•
E_S	Scheinenergie				•
THD _F U	THD _F -Faktor der Spannung				•
$U_{h2}..U_{h50}$	Amplituden der Oberwellen der Spannung (Ordnung n = 2...50)				•
THD _F I	THD _F -Faktor des Stromes				•
$I_{h2}..I_{h50}$	Amplituden der Oberwellen des Stromes (Ordnung n = 2...50)				•

Einige der Parameter können sowohl positive und negative Werte annehmen. Ein Beispiel wäre die Wirkleistung, Blindleistung und der Leistungsfaktor. Da der Schwellenwert für ein Ereignis nur positiv sein kann, vergleicht der Analysator für die genannten Parameter die absoluten Werte der Parameter mit dem eingestellten Schwellenwert.

Beispiel

Der eingestellte Schwellenwert für die Wirkleistung beträgt 10 kW. Wenn die Belastung den Charakter eines Generators hat, wird die Wirkleistung bei korrekt angeschlossenen Stromzangen negativ sein. Wenn der gemessene absolute Wert der Wirkleistung den Schwellenwert überschreitet, also 10 kW (z.B. -11 kW) wird ein Ereignis aufgezeichnet - in diesem Fall das Überschreiten der maximalen Wirkleistung.

Zwei Arten von Parameter: sowohl der effektive Wert der Spannung, als auch der Effektivwert des Stromes können ein Ereignis auslösen, das der Benutzer um die Aufzeichnung der Momentverläufe (Oszillogramme).

Verläufe der aktiven Spannungs- und Stromkanäle werden vom Analysator bei Beginn und Ende des Ereignisses aufgezeichnet. In beiden Fällen werden sechs Perioden aufgezeichnet: zwei vor dem Start (Ende) des Ereignisses und vier nach dem Start (Ende). Oszillogramme werden im 8-bitformat mit einer Abtastrate von 10,24 kHz gespeichert.

Die Information über das Ereignis wird nach Abschluss des Ereignisses gespeichert. In einigen Fällen kann es vorkommen, dass beim Beenden der Aufzeichnung ein Ereignis aktiv war (z.B. ein Spannungseinbruch stattfand). Die Information über ein solches Ereignis wird ebenfalls aufgezeichnet, jedoch mit den folgenden Änderungen:

- die Zeitangabe über das Ende des Ereignisses fehlt,
- der Extremwert wird nur bis zum Anhalten der Aufzeichnung gezählt,
- der Durchschnittswert wird nicht angegeben,
- für Ereignisse im Zusammenhang mit der effektiven Spannung und dem effektiven Strom ist nur für den Anfang ein Oszillogramm verfügbar.

Um eine mehrfache Erkennung eines Ereignisses zu vermeiden, wenn der Parameterwert um den Schwellenwert schwankt, wurde eine vom Benutzer definierte Hysterese der Ereigniserkennung eingeführt. Es wird als Prozentsatz wie folgt definiert:

- für Ereignisse auf den Effektivwert der Spannung bezogen, ist dies ein Prozentsatz des Nennwerts der Spannung (z.B. 2% von 230 V, also 4,6 V),
- für Ereignisse auf den Effektivwert des Stromes bezogen, ist dies ein Prozentsatz des Nennbereichs des Stromes (z.B. für die Zangen C-4(A) und bei keinen Stromwandlern, ist die Hysterese 2% gleich $0,02 \times 1000 \text{ A} = 20 \text{ A}$,
- für alle anderen Parameter wird die Hysterese als Prozentsatz des maximalen Schwellenwerts bestimmt (z.B. wenn der maximale Schwellenwert für den Scheitelfaktor auf den Wert 4,0 bestimmt wurde, wird die Hysterese $0,02 \times 4,0 = 0,08$ betragen).

5 Berechnungsformeln

5.1 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 Spannungssprobe ist U_{A-N} $M = 2048$ für 50 Hz und 60 Hz Netze
Konstante Komponente der Spannung	U_{ADC}	V	$U_{ADC} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i$ wo U_i die folgende Spannungssprobe ist U_{A-N} $M = 2048$ für 50 Hz und 60 Hz Netze
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 $M = 2048$ für 50 Hz und 60 Hz Netze
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 $M = 2048$ für 50 Hz und 60 Hz Netze
Wirkleistung	P	W	$P = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i I_i$ wo U_i die folgende Spannungssprobe ist U_{A-N} I_i die folgende Stromprobe ist I_A $M = 2048$ für 50 Hz und 60 Hz Netze
Blindleistung nach Budeanu	Q_B	var	$Q_B = \sum_{h=1}^{50} U_h I_h \sin \varphi_h$ wo U_h die h -te Oberwelle der Spannung U_{A-N} ist I_h ist die h -te Oberwelle des Stromes 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 des Stromes 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	$S_N = \sqrt{s^2 - (U_1 I_1)^2}$
Verzerrungsleistung nach Budeanu	D_B	var	$D_B = \sqrt{s^2 - P^2 - Q_B^2}$
Leistungsfaktor	PF	-	$PF = \frac{P}{S}$ Wenn $PF < 0$ hat die Belastung den Charakter eines Generators Wenn $PF > 0$ hat die Belastung den Charakter eines Empfängers

5 Berechnungsformeln

Phasenverschiebungsfaktor	$\cos \varphi$ DPF	-	$\cos \varphi = DPF = \cos(\varphi_{U_1} - \varphi_{I_1})$ wobei 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
Tangens φ (Vierquanten)	$tg \varphi_{(L+)}$	-	$tg \varphi_{(L+)} = \frac{\Delta E_{Q(L+)}}{\Delta E_{P+}}$ wo: $\Delta E_{Q(L+)}$ ist die Zunahme der Blindenergie $E_{Q(L+)}$ (Budeanu/IEEE-1459) in einem bestimmten Mittelungsintervall, ΔE_{P+} ist die Zunahme der aufgenommenen Wirkenergie E_{P+} in einem bestimmten Mittelungsintervall
	$tg \varphi_{(C-)}$	-	$tg \varphi_{(C-)} = -\frac{\Delta E_{Q(C-)}}{\Delta E_{P+}}$ wo: $\Delta E_{Q(C-)}$ ist die Zunahme der Blindenergie $E_{Q(C-)}$ (Budeanu/IEEE-1459) in einem bestimmten Mittelungsintervall, ΔE_{P+} ist die Zunahme der aufgenommenen Wirkenergie E_{P+} in einem bestimmten Mittelungsintervall
	$tg \varphi_{(L-)}$	-	$tg \varphi_{(L-)} = \frac{\Delta E_{Q(L-)}}{\Delta E_{P+}}$ wo: $\Delta E_{Q(L-)}$ ist die Zunahme der Blindenergie $E_{Q(L-)}$ (Budeanu/IEEE-1459) in einem bestimmten Mittelungsintervall, ΔE_{P+} ist die Zunahme der aufgenommenen Wirkenergie E_{P+} in einem bestimmten Mittelungsintervall
	$tg \varphi_{(C+)}$	-	$tg \varphi_{(C+)} = -\frac{\Delta E_{Q(C+)}}{\Delta E_{P+}}$ wo: $\Delta E_{Q(C+)}$ ist der Blindenergiegewinn von $E_{Q(C+)}$ (Budeanu/IEEE-1459) über ein bestimmtes Mittelungsintervall, ΔE_{P+} ist die Zunahme der aufgenommenen Wirkenergie E_{P+} in einem bestimmten Mittelungsintervall
Komponenten der Oberwellen der Spannung und des Stroms	U_{hx} I_{hx}	V A	Methode der harmonischen Untergruppen nach IEC 61000-4-7 x (Ordnung der Oberwelle) = 1..50
Klirrfaktor bezogen auf die grundlegende Komponente	$THDU_F$	-	$THDU_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}}{U_1} \times 100\%$ oder $THDU_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} U_h^2}}{U_1} \times 100\%$ wo U_h die h-te Oberwelle der Spannung U_{A-N} ist U_1 ist die Grundkomponente der Spannung U_{A-N}
Klirrfaktor der harmonischen Verzerrung für Spannung bezogen auf den Effektivwert	$THDU_R$	-	$THDU_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2}}{U_{ARMS}} \times 100\%$ oder $THDU_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} U_h^2}}{U_{ARMS}} \times 100\%$ wo U_h die h-te Oberwelle der Spannung U_{A-N} ist

Klirrfaktor der harmonischen Verzerrung für Strom bezogen auf die grundlegende Komponente	$THDI_F$	-	$THDI_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$ oder $THDI_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$ wo I_h ist die h-te Oberwelle des Stromes I_A I_1 ist die Grundkomponente des Stromes I_A
Klirrfaktor der harmonischen Verzerrung für Strom bezogen auf den Effektivwert	$THDI_R$	-	$THDI_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_{ARMS}} \times 100\%$ oder $THDI_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_{ARMS}} \times 100\%$ wo I_h ist die h-te Oberwelle des Stromes I_A
TDD-Faktor	TDD	-	$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{40} I_h^2}}{I_L} \times 100\%$ wo I_h ist die h-te Oberwelle des Stromes I_A I_L ist der geforderte Strom (im Automatikmodus ist I_L der maximale Mittelwert der Grundschwingung des Stroms aller gemessenen Stromkanäle über das gesamte Aufzeichnungsintervall)
Scheitelfaktor der Spannung (Crestfaktor)	CFU	-	$CFU = \frac{\max. U_i }{U_{ARMS}}$ wo der Operator $\max. U_i$ für den größten Wert unter den absoluten Werten der Spannungspben U_{A-N} steht $i = 2048$ für 50 Hz und 60 Hz Netze
Scheitelfaktor des Stromes	CFI	-	$CFI = \frac{\max. I_{ind} }{I_{ARMS}}$ wo der Operator $\max. I_i$ für den größten Wert unter den absoluten Werten der Stromproben I_A steht $i = 2048$ für 50 Hz und 60 Hz Netze
Kurzfristiger Flickerfaktor	P_{st}	-	berechnet nach IEC 61000-4-15
Langfristiger Flickerfaktor	P_{lt}	-	$P_{LT} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{STi}^3}{N}}$ wo P_{STi} der i-te kurzfristige Flickerfaktor ist

5 Berechnungsformeln

Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	E_{P+} E_{P-}	Wh	$E_{P+} = \sum_{i=1}^M P_+(i)T(i)$ $P_+(i) = \begin{cases} P(i) & \text{für } P(i) > 0 \\ 0 & \text{für } P(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{P-} = \sum_{i=1}^M P_-(i)T(i)$ $P_-(i) = \begin{cases} P(i) & \text{für } P(i) < 0 \\ 0 & \text{für } P(i) \geq 0 \end{cases}$ 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
Blindenergie (Vierquadranten)	$E_{Q(L+)}$ $E_{Q(C-)}$ $E_{Q(L-)}$ $E_{Q(C+)}$	varh	$E_{Q(L+)} = \sum_{i=1}^M Q_{L+}(i)T(i)$ $Q_{L+}(i) = Q(i) \text{ wenn } Q(i) > 0 \text{ und } P(i) > 0$ $Q_{L+}(i) = 0 \text{ ansonsten}$ $E_{Q(C-)} = \sum_{i=1}^M Q_{C-}(i)T(i)$ $Q_{C-}(i) = Q(i) \text{ wenn } Q(i) > 0 \text{ und } P(i) < 0$ $Q_{C-}(i) = 0 \text{ ansonsten}$ $E_{Q(L-)} = \sum_{i=1}^M Q_{L-}(i)T(i)$ $Q_{L-}(i) = Q(i) \text{ wenn } Q(i) < 0 \text{ und } P(i) < 0$ $Q_{L-}(i) = 0 \text{ ansonsten}$ $E_{Q(C+)} = \sum_{i=1}^M Q_{C+}(i)T(i)$ $Q_{C+}(i) = Q(i) \text{ wenn } Q(i) < 0 \text{ und } P(i) > 0$ $Q_{C+}(i) = 0 \text{ ansonsten}$ wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters <i>Q(i)</i> steht für den Wert der Blindleistung (Budeanu oder IEEE1459), der in dem <i>i</i>-ten Messfenster berechnet wurde <i>P(i)</i> steht für die berechnete Wirkleistung im <i>i</i>-ten Messfenster <i>T(i)</i> steht für die Laufzeit des <i>i</i>-ten Messfensters in Stunden
Scheinenergie	E_s	VAh	$E_s = \sum_{i=1}^M s(i)T(i)$ wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters <i>S(i)</i> steht für den Wert der Scheinleistung <i>S</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

5.2 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 Verzerrungsleistung 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 (Vierquadranten)	$tg \varphi_{tot(L+)}$	-	$tg \varphi_{tot(L+)} = \frac{\Delta E_{Q_{tot}(L+)}}{\Delta E_{P_{tot+}}}$ wo: $\Delta E_{Q_{tot}(L+)}$ ist die Zunahme der gesamten Blindenergie $E_{Q_{tot}(L+)}$ (Budeanu/IEEE-1459) in einem bestimmten Mittelungsintervall, $\Delta E_{P_{tot+}}$ ist die Zunahme der aufgenommenen gesamten Wirkenergie $E_{P_{tot+}}$ in einem bestimmten Mittelungsintervall
	$tg \varphi_{tot(C-)}$	-	$tg \varphi_{tot(C-)} = - \frac{\Delta E_{Q_{tot}(C-)}}{\Delta E_{P_{tot+}}}$ wo: $\Delta E_{Q_{tot}(C-)}$ ist die Zunahme der gesamten Blindenergie $E_{Q_{tot}(C-)}$ (Budeanu/IEEE-1459) in einem bestimmten Mittelungsintervall, $\Delta E_{P_{tot+}}$ ist die Zunahme der aufgenommenen gesamten Wirkenergie $E_{P_{tot+}}$ in einem bestimmten Mittelungsintervall
	$tg \varphi_{tot(L-)}$	-	$tg \varphi_{tot(L-)} = \frac{\Delta E_{Q_{tot}(L-)}}{\Delta E_{P_{tot+}}}$ wo: $\Delta E_{Q_{tot}(L-)}$ ist die Zunahme der gesamten Blindenergie $E_{Q_{tot}(L-)}$ (Budeanu/IEEE-1459) in einem bestimmten Mittelungsintervall, $\Delta E_{P_{tot+}}$ ist die Zunahme der aufgenommenen gesamten Wirkenergie $E_{P_{tot+}}$ in einem bestimmten Mittelungsintervall
	$tg \varphi_{tot(C+)}$	-	$tg \varphi_{tot(C+)} = - \frac{\Delta E_{Q_{tot}(C+)}}{\Delta E_{P_{tot+}}}$ wo: $\Delta E_{Q_{tot}(C+)}$ ist die Zunahme der gesamten Blindenergie $E_{Q_{tot}(C+)}$ (Budeanu/IEEE-1459) in einem bestimmten Mittelungsintervall, $\Delta E_{P_{tot+}}$ ist die Zunahme der aufgenommenen gesamten Wirkenergie $E_{P_{tot+}}$ in einem bestimmten Mittelungsintervall

5 Berechnungsformeln

Gesamte Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	$E_{P_{tot+}}$ $E_{P_{tot-}}$	Wh	$E_{P_{tot+}} = \sum_{i=1}^M P_{tot+}(i)T(i)$ $P_{tot+}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{für } P_{tot}(i) > 0 \\ 0 & \text{für } P_{tot}(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{P_{tot-}} = \sum_{i=1}^M P_{tot-}(i)T(i)$ $P_{tot-}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{für } P_{tot}(i) < 0 \\ 0 & \text{für } P_{tot}(i) \geq 0 \end{cases}$ wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters <i>P_{tot}(i)</i> steht für den gesamten Wert der Wirkleistung <i>P_{tot}</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
Gesamte Blindenergie nach Budeanu (Vierquadranten)	$E_{Q_{tot}(L+)}$ $E_{Q_{tot}(C-)}$ $E_{Q_{tot}(L-)}$ $E_{Q_{tot}(C+)}$	varh	$E_{Q_{tot}(L+)} = \sum_{i=1}^M Q_{L+}(i)T(i)$ $Q_{L+}(i) = Q(i) \text{ wenn } Q(i)>0 \text{ und } P(i)>0$ $Q_{L+}(i) = 0 \text{ ansonsten}$ $E_{Q_{tot}(C-)} = \sum_{i=1}^M Q_{C-}(i)T(i)$ $Q_{C-}(i) = Q(i) \text{ wenn } Q(i)>0 \text{ und } P(i)<0$ $Q_{C-}(i) = 0 \text{ ansonsten}$ $E_{Q_{tot}(L-)} = \sum_{i=1}^M Q_{L-}(i)T(i)$ $Q_{L-}(i) = Q(i) \text{ wenn } Q(i)<0 \text{ und } P(i)<0$ $Q_{L-}(i) = 0 \text{ ansonsten}$ $E_{Q_{tot}(C+)} = \sum_{i=1}^M Q_{C+}(i)T(i)$ $Q_{C+}(i) = Q(i) \text{ wenn } Q(i)<0 \text{ und } P(i)>0$ $Q_{C+}(i) = 0 \text{ ansonsten}$ wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters <i>Q(i)</i> steht für den gesamten Wert der Blindleistung (Budeanu oder IEEE1459), der in dem <i>i</i>-ten Messfenster berechnet wurde <i>P(i)</i> steht für die berechnete Wirkleistung im <i>i</i>-ten Messfenster <i>T(i)</i> steht für die Laufzeit des <i>i</i>-ten Messfensters in Stunden
Gesamte Scheinenergie	E_{Stat}	VAh	$E_{Stat} = \sum_{i=1}^M s_{tot}(i)T(i)$ wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters <i>S_{tot}(i)</i> steht für den gesamten Wert der Scheinleistung <i>S_{tot}</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

5.3 Dreiphasen-Stern-Netzwerk mit N

Dreiphasen-Stern-Netzwerk mit N (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_{I^+}	var	$Q_{I^+} = 3U_{I_1^+} \sin \varphi_{I^+}$ wo: U_{I^+} ist die Gleichkomponente der Spannung (der Grundkomponente) I_{I^+} ist die Gleichkomponente des Stromes (der Grundkomponente) φ_{I^+} ist der Winkel zwischen den Komponenten U_{I^+} und I_{I^+}
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 Verzerrungsleistung 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 (Vierquadranten)	$tg(\varphi_{tot(L+)})$ $tg(\varphi_{tot(C-)})$ $tg(\varphi_{tot(L-)})$ $tg(\varphi_{tot(C+)})$	-	Abhängigkeit wie für ein 2-Phasen-Netzwerk
Gesamte Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	E_{P+tot} E_{P-tot}	Wh	Abhängigkeit wie für ein 2-Phasen-Netzwerk
Gesamte Blindenergie nach Budeanu (Vierquadranten)	$E_{Qtot(L+)}$ $E_{Qtot(C-)}$ $E_{Qtot(L-)}$ $E_{Qtot(C+)}$	varh	Abhängigkeit wie für ein 2-Phasen-Netzwerk

5 Berechnungsformeln

Gesamte Scheinenergie	E_{Stot}	VAh	$E_{Stot} = \sum_{und=1}^M s_e(i)T(i)$ wo: i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $S_e(i)$ steht für den gesamten Wert der effektiven Scheinleistung S_e, die in dem i-ten Messfenster berechnet wurde, $T(i)$ 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 $\underline{U}_{A1}$, $\underline{U}_{B1}$, $\underline{U}_{C1}$ sind Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen 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 $\underline{U}_{A1}$, $\underline{U}_{B1}$, $\underline{U}_{C1}$ sind Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen 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 $\underline{U}_{A1}$, $\underline{U}_{B1}$, $\underline{U}_{C1}$ sind Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen 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 der Gegenkomponente	u_2	%	$u_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\%$
Nullkomponente des Stromes	I_0	A	$\underline{I}_0 = \frac{1}{3}(\underline{I}_{A1} + \underline{I}_{B1} + \underline{I}_{C1})$ $I_0 = \text{mag}(\underline{I}_0)$ wo $\underline{I}_{A1}$, $\underline{I}_{B1}$, $\underline{I}_{C1}$ sind Vektoren der Grundkomponenten der Phasenströme I_A, I_B, I_C Operator $\text{mag}()$ bezeichnet den Modul des Vektors

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

5.4 Dreiphasen-Netzwerk Dreieck und Stern ohne N

Dreiphasen-Netzwerk Dreieck und Stern ohne N (Parameter: effektive Spannung und effektiver Strom, konstante Komponenten der Spannungen und Ströme, THD- und K-Faktor, symmetrische Komponenten und Unsymmetriefaktoren, Flickerfaktoren, werden wie für einphasige Stromkreise berechnet; statt der Phasenspannungen werden die Leiterspannungen verwendet)			
Parameter			Berechnungsmethode
Bezeichnung	Kennzeichnung	Einheit	
Leiterspannung U_{CA}	U_{CA}	V	$U_{CA} = -(U_{AB} + U_{BC})$
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_{AC} die folgende Spannungsprobe ist U_{A-C} U_{BC} die folgende Spannungsprobe ist U_{B-C} I_{iA} die folgende Stromprobe ist I_A I_{iB} die folgende Stromprobe ist I_B $M = 2048$ für 50 Hz und 60 Hz Netze
Gesamte Scheinleistung	S_e	VA	$S_e = 3 U_e I_e$ wo: $U_e = \sqrt{\frac{U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2}{9}}$ $I_e = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{3}}$
Gesamte Blindleistung (Budeanu und IEEE 1459)	Q_{Btot}	var	$Q = N = \text{sign} \sqrt{s_e^2 - p^2}$ wo sign 1 oder -1 gleich ist. Das Vorzeichen wird durch den Phasenverschiebungswinkel zwischen den normierten symmetrischen Gleichkomponenten der Spannungen und Ströme bestimmt.

5 Berechnungsformeln

Gesamte Verzerrungsleistung nach Budeanu	D_{Btot}	var	$D_{Btot} = 0$
Effektive Scheinleistung der Verzerrung	S_{eN}	VA	$s_{eN} = \sqrt{s_e^2 + s_{e1}^2}$ wo: $s_{e1} = 3U_{e1}I_{e1}$ $U_{e1} = \sqrt{\frac{U_{AB1}^2 + U_{BC1}^2 + U_{CA1}^2}{9}}$ $I_{e1} = \sqrt{\frac{I_{A1}^2 + I_{B1}^2 + I_{C1}^2}{3}}$
Gesamter Leistungsfaktor	PF_{tot}	-	$PF_{tot} = \frac{P_{tot}}{S_e}$
Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	$E_{P_{tot+}}$ $E_{P_{tot-}}$	Wh	$\sum_{i=1}^M P_{+tot}(i)T(i)$ $P_{+tot}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{für } P_{tot}(i) > 0 \\ 0 & \text{für } P_{tot}(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{P-tot} = \sum_{i=1}^M P_{-tot}(i)T(i)$ $P_{-tot}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{für } P_{tot}(i) < 0 \\ 0 & \text{für } P_{tot}(i) \geq 0 \end{cases}$ wo: i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $P_{tot}(i)$ steht für den Gesamtwert der Scheinleistung P_{tot} berechnet in dem i-ten Messfenster $T(i)$ steht für die Laufzeit des i-ten Messfensters in Stunden
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 gesamten Wert der Scheinleistung S_e, die in dem i-ten Messfenster berechnet wurde, $T(i)$ steht für die Laufzeit des i-ten Messfensters in Stunden

5.5 Mittelungsmethoden der Parameter

Mittelungsmethoden der Parameter	
Parameter	Mittelungsmethode
Effektive Spannung und effektiver Strom	RMS
Gleichspannung und Gleichstrom (DC)	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
Wirk-, Blind-, Scheinleistung, Leistung der Verzerrung	arithmetischer Mittelwert
Leistungsfaktor PF	errechnet aus den Mittelwerten der Leistung
cosφ	arithmetischer Mittelwert
tgφ	berechnet als Verhältnis des Anstiegs der Blindenergie (im entsprechenden Quadranten) zum Anstieg der verbrauchten Wirkenergie
THD 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

Anmerkungen:

Der RMS-Mittelwert wird gemäß der Formel berechnet:

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

Der arithmetische Mittelwert (AVG) wird nach der folgenden Formel berechnet:

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

wobei:

- X_i ist ein weiterer Parameterwert, der der Mittelung unterliegt,
- N die Ziffer des Wertes, der gemittelt werden soll.

6 Technische Daten

- Die Spezifikationen können ohne Ankündigung geändert werden. Die neuesten Versionen der Datenblätter sind auf der Website www.sonel.com erhältlich.
- Die grundlegende Unsicherheit ist die Unsicherheit des Messgeräts unter den Referenzbedingungen, die in der Tab. 5 aufgeführt sind.
- Die angegebenen Unsicherheiten betreffen den Analysator PQM-700 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,
 - s.Z. – Signifikante Ziffern – bedeutet in Bezug auf die Auflösung des Messergebnisses die Aufzeichnung eines Wertes mit der angegebenen Anzahl signifikanter Ziffern, z. B. beträgt die Auflösung für eine Spannung von 230 V und 4 Wechselstrom 0,1 V (Aufzeichnung 230,0 V); die Auflösung für einen Strom von 5 A und 4 Wechselstrom beträgt 0,001 A (Aufzeichnung 5,000 A),
 - 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	4 (L1, L2, L3, N - 3 Messkanäle)
Maximale Eingangsspannung (gegen Erde)	$U_{L-N} = 760 \text{ V}_{\text{RMS}}$ 40...70 Hz oder DC
Messkategorie	CAT IV 300 V / CAT III 600 V / CAT II 760 V
Peak-Eingangsspannung	$\pm 1150 \text{ V}$
Analoge Bandbreite (-3 dB)	12 kHz
Wandler	vom Benutzer bestimmt
Impedanz der Messeingänge	14 M Ω
CMRR	70 dB (50 Hz)

Stromeingänge	
Anzahl der Eingänge	4 (3 Phasen + Nullleiter) galvanisch nicht isoliert
Nennwert der Eingangsspannung (Kanal der harten Zangen)	1 V _{RMS}
Peak-Eingangsspannung (Kanal der harten Zangen; ohne Schneiden)	$\pm 3,6 \text{ V}$
Nennwert der Eingangsspannung (Kanal der flexiblen Zangen)	0,125 V _{RMS}
Peak-Eingangsspannung (Kanal der flexiblen Zangen; ohne Schneiden)	$\pm 0,45 \text{ V}$
Maximal zulässige Spannung am Zangeneingang gegen Erde	5 V _{RMS}
Analoge Bandbreite (-3 dB)	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 ($\pm 10 \text{ kA Peak}$, 50 Hz) Flexible Zangen F-2AHD/F-3AHD: 1..3000 A ($\pm 10 \text{ kA Peak}$, 50 Hz) Flexible Zangen F-1A6/F-2A6/F-3A6: 1..6000 A ($\pm 20 \text{ kA Peak}$, 50 Hz) Flexible Zangen F-1A1/F-2A1/F-3A1: 1..1500 A ($\pm 5 \text{ kA Peak}$, 50 Hz) Zangen C-4(A): 1..1200 A Zangen C-5A: 1..1400 A Zangen C-6(A): 0,01..12 A Zangen C-7(A): 0..100 A
Wandler	vom Benutzer bestimmt
CMRR	60 dB (50 Hz)

6.2 Abtastung und RTC-Uhr

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

6.3 Gemessene Parameter - Genauigkeit, Auflösung und Bereiche

6.3.1 Bezugsbedingungen

Tab. 5. Bezugsbedingungen.

Bezugsbedingungen	
Umgebungstemperatur	23°C ± 2°C
Relative Luftfeuchtigkeit	40...60%
Spannungsunsymmetrie	≤ 0,1% für den Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente (gilt nur für Dreiphasen-netze)
Äußeres konstantes Magnetfeld	≤ 40 A/m (konstant) ≤ 3 A/m (variabel) für eine Frequenz von 50/60 Hz
Konstante Komponente der Spannung und des Stromes	Null
Wellenformen	Sinusförmige
Frequenz	50 Hz ±0,2% oder 60 Hz ±0,2%

6.3.2 Spannung

Spannung	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
U _{RMS} (AC+DC)	20% U _{nom} ≤ U _{RMS} ≤ 120% U _{nom} Für U _{nom} ≥ 100 V	4 s.Z.	±0,5% U _{nom}
Scheitelfaktor	1..10 (1..1,65 für die Spannung 690 V) für U _{RMS} ≥ 10% U _{nom}	0,01	±5%

6.3.3 Strom

Strom	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
I_{RMS} (AC+DC)	Eingangskanal ohne Stromzangen		
	Kanal der harten Zangen: 0..1 V ($\pm 3,6$ V max.) Kanal der flexiblen Zangen: 0..125 mV (± 450 mV max.)	4 s.Z.	$\pm 0,2\% I_{nom}$
	Flexible Zangen F-1(A)/F-2(A)/F-3(A)		
	0..3000 A (± 10 kA)	4 s.Z.	Zusätzliche Messunsicherheit Siehe Bedienungsanleitung für die Zange
	Flexible Zangen F-2AHD/F-3AHD		
	0..3000 A (± 10 kA max.)	4 s.Z.	Zusätzliche Messunsicherheit Siehe Bedienungsanleitung für die Zange
	Flexible Zangen F-1A6/F-2A6/F-3A6		
	0..6000 A (± 20 kA max.)	4 s.Z.	Zusätzliche Messunsicherheit Siehe Bedienungsanleitung für die Zange
	Flexible Zangen F-1A1/F-2A1/F-3A1		
	0..1500 A (± 5 kA max.)	4 s.Z.	Zusätzliche Messunsicherheit Siehe Bedienungsanleitung für die Zange
	Harte Zangen C-4(A)		
	0..1200 A	4 s.Z.	Zusätzliche Messunsicherheit Siehe Bedienungsanleitung für die Zange
	Harte Zangen C-5A		
	0..1400 A	4 s.Z.	Zusätzliche Messunsicherheit Siehe Bedienungsanleitung für die Zange
	Harte Zangen C-6(A)		
	0..12 A	4 s.Z.	Zusätzliche Messunsicherheit Siehe Bedienungsanleitung für die Zange
	Harte Zangen C-7(A)		
	0..100 A	4 s.Z.	Zusätzliche Messunsicherheit Siehe Bedienungsanleitung für die Zange
Scheitelfaktor	1..10 (1..3,6 für I_{nom}) für $I_{RMS} \geq 1\% I_{nom}$	0,01	$\pm 5\%$

6.3.4 Frequenz

Frequenz	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
f	40..70 Hz $10\% U_{nom} \leq U_{RMS} \leq 120\% U_{nom}$	0,01 Hz	$\pm 0,05$ Hz

6.3.5 Oberwellen

Oberwellen	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
Ordnung der Oberwellen (n)	DC, 1..50, Gruppierung: Untergruppen der Oberwellen nach IEC 61000-4-7		
Amplitude U_{RMS}	$0..200\% U_{nom}$	4 s.Z.	$\pm 0,15\% U_{nom}$ wenn m.v. < 3% U_{nom} $\pm 5\%$ m.v. wenn m.v. $\geq 3\% U_{nom}$ (nach IEC 61000-4-7 Klasse II)
Amplitude I_{RMS}	Abhängig von den verwendeten Zangen (siehe Datenblatt I_{RMS})	4 s.Z.	$\pm 0,5\% I_{nom}$ wenn m.v. < 10% I_{nom} $\pm 5\%$ m.v. wenn m.v. $\geq 10\% I_{nom}$ (nach IEC 61000-4-7 Klasse II)
THD-R der Spannung (n = 2..40 oder n = 2..50)	$0,0...100,0\%$ für $U_{RMS} \geq 1\% U_{nom}$	0,1%	$\pm 5\%$
THD-R des Stromes (n = 2..40 oder n = 2..50)	$0,0...100,0\%$ für $I_{RMS} \geq 1\% I_{nom}$	0,1%	$\pm 5\%$
TDD (n = 2..40)	abhängig von I_L	abhängig von I_L	abhängig von I_L

6.3.6 Leistung und Energie

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

(1) Siehe Abschnitt 6.3.7.

6.3.7 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. 6 wurde der Fehler der Phasendifferenz zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes für den Analysator PQM-700 (ohne Zangen und Wandler) gezeigt.

Tab. 6. Fehler der Phase des Analysators PQM-700 abhängig von der Frequenz.

Frequenzbereich	0..200 Hz	200..500 Hz	500 Hz..1 kHz	1..2 kHz	2..3 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. Das wurde auf Abb. 15 gezeigt.

Beispiel

Berechnung der Messunsicherheit der Wirkleistung und der grundlegenden Komponente.

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

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

Für einen Frequenzbereich 0..200 Hz ist der Phasenfehler PQM-700 geringer als 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.

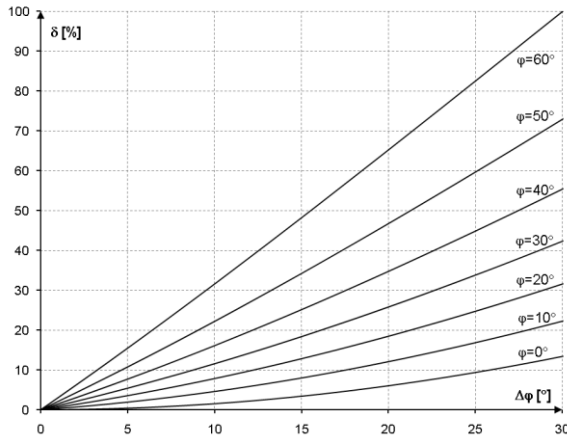


Abb. 15. Die zusätzliche Unsicherheit des Phasenfehlers in Abhängigkeit vom Winkel der Phasenverschiebung.

6.3.8 Lichtflimmern (Flicker)

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

6.3.9 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 – effektive Spannung und Strom

Spannung U_{RMS} (Einbrüche, Unterbrechungen, Überspannungen)	Bereich	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
$U_{RMS(1/2)}$	0,0%...120,0% U_{nom}	4 s.Z.	$\pm 1\% U_{nom}$
Erkennungsschwellen	Vom Benutzer in Prozentsätzen oder absoluten Werten eingestellt. Die Ereigniserkennung nach $U_{RMS(1/2)}$ (effektiver Wert 1. Periode, der jede ½ 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) 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}	4 s.Z.	$\pm 0,2\% I_{nom}$
Erkennungsschwellen	Vom Benutzer in Prozentsätzen oder absoluten Werten eingestellt. Die Ereigniserkennung nach $I_{RMS(1/2)}$ (effektiver Wert 1. Periode, der jede ½ 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) 204,8/170,67 (50 Hz/60 Hz) Proben je Periode		

6.5 Ereigniserkennung - sonstige Parameter

Parameter	Bereich	Erkennungsmethode
Frequenz (min., max.)	40...70 Hz (prozentual oder absolut)	Basisdetektion bei der 10-Sekunden-Messung (nach IEC 61000-4-30)
Scheitelfaktor der Spannung (Crestfaktor) (min., max.)	1,0...10,0	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
Scheitelfaktor des Stromes (min., max.)	1,0...10,0	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente der Spannung (max.)	0,0...20,0%	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente des Stromes (max.)	0,0...20,0%	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
Kurzfristiger Flickerfaktor P_{st} (max.)	0..20	Auf der Grundlage des 10-minütigen Werts
Langfristiger Flickerfaktor P_{lt} (max.)	0..20	Auf der Grundlage des 2-stündigen Werts
Wirkleistung P (min., max.)	Abhängig von der Konfiguration	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts (für die aufgenommene und abgegebene Leistung)
Blindleistung Q (min., max.)	Abhängig von der Konfiguration	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts (für die aufgenommene und abgegebene Leistung)
Scheinleistung S (min., max.)	Abhängig von der Konfiguration	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
Die Verzerrungsleistung D/Scheinleistung der Verzerrung S_N (min., max.)	Abhängig von der Konfiguration	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
PF Leistungsfaktor (min., max.)	0...1	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts

Phasenverschiebungsfaktor $\cos\varphi$ /DPF (min., max.)	0...1	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
4-Quadranten-tg ϕ (min., max.)	0...10	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
Wirkenergie E_p (max.)	Abhängig von der Konfiguration	Das Überschreiten wird in Abständen von 10/12-Perioden überprüft (für die aufgenommene und abgegebene Energie)
Blindenergie E_Q (max.)	Abhängig von der Konfiguration	Das Überschreiten wird in Abständen von 10/12-Perioden überprüft (für die aufgenommene und abgegebene Energie)
4-Quadranten-Blindenergie E_Q (max.)	Abhängig von der Konfiguration	Die Überschreitung wird alle 10/12-Periode überprüft
Faktor des Inhalts der Oberwellen THD-F der Spannung (max.)	0...100%	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
Faktor des Inhalts der Oberwellen THD-F des Stromes (max.)	0...200%	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
Amplituden der Oberwellen der Spannung (max.)	0...100% oder absolut	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts; Unabhängige Schwellenwerte für alle Oberwellen im Bereich von 2...50
Amplituden der Oberwellen des Stromes (max.)	0...200% oder absolut	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts; Unabhängige Schwellenwerte für alle Oberwellen im Bereich von 2...50

6.5.1 Hysterese der Ereigniserkennung

Hysterese der Ereigniserkennung	Bereich	Berechnungsmethode
Hysterese	0...10%	Für jeden Parameter wird sie als Prozentsatz des maximalen Schwellenwerts berechnet

6.6 Messung des Einschaltstroms

Bereich	Auflösung	Grundlegender Fehler
0...100% In	4 c.z.	$\pm 0,5\%$ In

- Spannungs- und Strommessung jede ½-Periode auf allen Kanälen (Mittelung alle ½-Periode),
- Zeitmessung maximal 60 Sek

6.7 Aufzeichnung

Recorder	
Mittelungszeit ⁽¹⁾	1 s, 3 s, 10 s, 30 s, 1 min, 5 min, 10 min, 15 min, 30 min. Sondermodus: ½ Periode (zur Aufnahme von Verläufen mit beschränkter Aufnahmezeit bis 60 Sek., z.B. Anlaufstrom) ⁽²⁾
Min./max. Mittelung für U_{RMS}	½ Periode, Periode, 200 ms, 1 s, 3 s, 5 s ⁽³⁾
Min./max. Mittelung für I_{RMS}	½ Periode, Periode, 200 ms, 1 s, 3 s, 5 s ⁽³⁾
Oszillogrammaufzeichnung	Möglichkeit 3 Perioden der Oszillogramme aktiver Kanäle nach jeder Mittelungszeit
Modus zum Start der Aufzeichnung	- manuell - ab dem ersten erkannten Ereignis - nach Zeitplan (vier vordefinierte Zeiträume)
Messkonfigurationen	1, unabhängige Benutzerkonfiguration
Aufzeichnungsdauer	Abhängig von der Konfiguration
Speicherplatz	integrierte 2 GB-Speicherkarte
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:

1 s – 50/60-Perioden, 3 s – 150/180-Perioden.

(2) $U_{RMS(1/2)}$ und $I_{RMS(1/2)}$ bezeichnen die Effektivwerte für 1 Periode, die alle ½ Periode aktualisiert werden

(3) Mittelungszeiten min./max. 1 s, 3 s gleichen in Wirklichkeit der Multiplizität der Periode des Netzwerks:
1 s – 50/60-Perioden, 3 s – 150/180-Perioden

6 Technische Daten

Aufgezeichnete Parameter	Durchschnittswert	Minimal-Wert	Maximal-Wert	Momentwert
Effektive Phasen-/Leiterspannung (abhängig von der Art des Systems) U_{RMS}	•	•	•	•
Effektive Leiterspannung (nur 3-Phasen-Stern mit N und 2-Phasen Netze) U_{RMS}	•			
Effektiver Strom I_{RMS}	•	•	•	•
Frequenz f	•	•	•	•
Spannung Crestfaktor CF U	•	•	•	•
Strom Crestfaktor 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	•	•	•	•
Flicker-Faktor 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	•	•	•	•
Die Verzerrungsleistung D/Scheinleistung der Verzerrung S_N	•	•	•	•
Leistungsfaktor PF	•	•	•	•
Phasenverschiebungsfaktor $\cos\phi/DPF$	•	•	•	•
Koeffizient $\tan\phi$ (4 Quadranten): $\tan\phi_{(L+)}, \tan\phi_{(C-)}, \tan\phi_{(L-)}, \tan\phi_{(C+)}$	•	•	•	•
Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben) E_{P+}, E_{P-}				•
Blindenergie (4 Quadranten): $E_{Q(L+)}, E_{Q(C-)}, E_{Q(L-)}, E_{Q(C+)}$				•
Scheinenergie E_S				•
Gesamte Oberwellen-Verzerrung THD-F der Spannung	•	•	•	•
Gesamte Oberwellen-Verzerrung THD- F des Stromes	•	•	•	•
Verzerrungsfaktor des Stromes TDD	•			
Amplituden der Oberwellen der Spannung $U_{h1} \dots U_{h50}$	•	•	•	•
Amplituden der Oberwellen des Stromes $I_{h1} \dots I_{h50}$	•	•	•	•

6.8 Netzstromversorgung, Akku, Heizung

Stromversorgung	
Eingangsspannungsbereich (Nennspannung)	100...415 V AC, 40...70 Hz 140...415 V DC
Eingangsspannungsbereich (mit Schwankungen)	90...460 V AC, 40...70 Hz 127...460 V DC
Überspannungskategorie des Netzteils	Höhe bis 4000 m: CAT IV 300 V / CAT III 415 V / CAT III 460 V (mit Schwankungen) Höhe bis 4000-5000 m: CAT III 300 V / CAT II 415 V / CAT II 460 V (mit Schwankungen)
Netzstromverbrauch (maximal)	30 VA
Netzstromverbrauch je nach Konfiguration (typisch)	keine Akkuladung, Heizung aus, Versorgungsspannung 230 V AC 6 VA / 3 W
	keine Akkuladung, Heizung ein, Versorgungsspannung 230 V AC 11 VA / 8 W
	Akkuladung, Heizung aus, Versorgungsspannung 230 V AC 14 VA / 11 W
	Akkuladung, Heizung ein, Versorgungsspannung 230 V AC 22 VA / 16 W
	Akkuladung, Heizung ein, Versorgungsspannung 400 V AC 27 VA / 16 W

Akku	
Typ	Li-Ion 4,4 Ah
Betriebsdauer mit Akku	> 6 h
Akkuladezeit (vollständig entladen)	bis 8 h
Zulässiger Ladetemperaturbereich	-10°C ...+60°C
Akkustromaufnahme bei ausgeschaltetem Analysator (ohne Netzversorgung)	< 1 mA

Heizung	
Temperaturschwellenwert für die Einschaltung der Heizung	+5°C
Stromversorgung der Heizung	über ein eingebautes Netzteil
Leistung der Heizung	max. 5 W

6.9 Unterstützte Netztypen

Arten von unterstützten Netzwerk (direkt und indirekt)	
1-Phasen-	Einphasennetz mit Nullleiter (Klemmen L1, N)
2-Phasen- (Split-Phase)	Zweiphasennetz mit Nullleiter (Klemmen L1, L2, N)
3-Phasen-Stern mit N	Dreiphasig 4-Leiter (Klemmen L1, L2, L3, N)
3-Phasen-Dreieck	Dreiphasig 3-Leiter (Klemmen L1, L2, L3, N mit L3 geschlossen)
3-Phasen-Aron-Dreieck	Dreiphasig 3-Leiter (Klemmen L1, L2, L3, N mit L3 geschlossen), mit zwei Stromzangen
3-Phasen-Stern ohne N	Dreiphasig von Typ Stern 3-Leiter (Klemmen L1, L2, L3, N mit L3 geschlossen)
3-Phasen-Aron-Stern ohne N	Dreiphasig von Typ Stern 3-Leiter (Klemmen L1, L2, L3, N mit L3 geschlossen), mit zwei Stromzangen

6.10 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}
F-2AHD	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 91,5 cm, Messbereich 3000 A _{RMS}
F-3AHD	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 45 cm, Messbereich 3000 A _{RMS}
F-1A6	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 120 cm, Messbereich 6000 A _{RMS}
F-2A6	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 80 cm, Messbereich 6000 A _{RMS}
F-3A6	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 45 cm, Messbereich 6000 A _{RMS}
F-1A1	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 120 cm, Messbereich 1500 A _{RMS}
F-2A1	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 80 cm, Messbereich 1500 A _{RMS}
F-3A1	Elastische Zangen (Rogowski-Spule), Umfang 45 cm, Messbereich 1500 A _{RMS}
C-4(A)	CT-Zangen, AC, Messbereich 1200 A _{RMS}
C-5A	CT-Zangen mit Hall-Sensor, AC/DC, Messbereich 1400 A _{RMS}
C-6(A)	CT-Zangen, AC, für kleine Ströme, Messbereich 12 A _{RMS}
C-7(A)	CT-Zangen, AC, Messbereich 100 A _{RMS}

HINWEIS: Zangen mit dem Buchstaben A in ihrer Bezeichnung (z. B. F-3A) sind eine Variante von Zangen mit automatischer Erkennung ihres Typs in kompatiblen Geräten. Die anderen Parameter sind identisch mit denen der Zangen ohne Unterstützung für diese Erkennung. Unterstützung für die Erkennung des Zangentyps bieten die Analysatoren PQM-700 mit den Hardware-Versionen HWc und höher sowie der Firmware 1.30 oder höher.

6.11 Kommunikation

Kommunikation	
USB	Max. Übertragungsgeschwindigkeit: 921,6 kbit/s USB 2.0 kompatibel

6.12 Umweltbedingungen und andere technische Daten

Umgebungsbedingungen	
Betriebstemperaturbereich	-20°C...+55°C
Lagerungstemperaturbereich	-30°C...+60°C
Feuchtigkeit	10 ... 90% mit möglicher Kondensation
Arbeitshöhe	bis 4000 m (4000-5000 m mit reduzierter Messkategorie CAT III 300 V / CAT II 600 V)
Dichtheit (nach IEC 60529)	IP65
Bezugsbedingungen	Umgebungstemperatur: 23°C ±2°C Luftfeuchtigkeit: 40...60%
Abmessungen	200 x 180 x 77 mm (ohne Kabel)
Gewicht	ca. 1,6 kg
Display	5 LEDs zeigen den Arbeitsstatus an
Datenspeicher	Austauschbare 2 GB-Speicherkarte (Standard), Möglichkeit der Erweiterung auf 32 GB (Option).

6.13 Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit

Sicherheit und EMV	
Übereinstimmung mit	IEC 61010-1 (Ed. 3.0)
Messkategorie (Messeingänge)	Höhe bis 4000 m: IV 300 V / III 600 V / II 760 V Höhe 4000-5000 m: III 300 V / II 600 V Verschmutzungsstufe 2
Überspannungskategorie (Netzteil)	Höhe bis 4000 m: IV 300 V / III 415 V / III 460 V (unter Berücksichtigung der Schwankungen) Höhe 4000-5000 m: III 300 V / II 415 V / II 460 V (unter Berücksichtigung der Schwankungen) Verschmutzungsstufe 2
Isolierung	Doppelt gem IEC 61010-1
Elektromagnetische Verträglichkeit	IEC 61326
Störfestigkeit gegen Radiowellenstörungen	IEC 61000-4-3 sinusförmige Modulation 80% AM, 1 kHz 80...1000 MHz, 10 V/m 1,4...2,0 GHz, 3 V/m 2,0...2,7 GHz, 1 V/m
Widerstandsfähigkeit gegen elektrostatische Entladung	IEC 61000-4-2 Luftentladung: 8 kV Kontaktentladung: 4 kV
Störfestigkeit gegen leitungsgebundene Störungen, induziert durch hochfrequente Felder	IEC 61000-4-6 sinusförmige Modulation 80% AM, 1 kHz 0,15...80 MHz, 10 V
Widerstandsfestigkeit auf eine Reihe von schnellen elektrischen Übergangszuständen	IEC 61000-4-4 Amplitude 2 kV, 5 kHz
Wärme stoßbeständigkeit und Kälteschlagfestigkeit	IEC 61000-4-5 Amplitude 2 kV (L-L)
Emission von Funkstörungen	IEC 61000-6-3 30...230 MHz, 30 dB(µV/m) in 10 m Entfernung 230...1000 MHz, 37 dB(µV/m) in 10 m Entfernung
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

6.14 Standards

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

7 Reinigung und Wartung

Hinweis

Es sollten lediglich Servicemethoden verwendet werden, die vom Hersteller in dieser Anleitung empfohlen wurden.

Das Gehäuse des Analysators kann mit einem weichen, feuchten Tuch und mit üblichen Reinigungsmitteln gereinigt werden. Man sollte keine Lösungsmittel oder Reiniger, die das Gehäuse beschädigen könnten (Pulver, Pasten usw.) verwenden.

Die Leitungen können mit Wasser und Reinigungsmittel gereinigt werden, danach sollten sie trocken gewischt werden.

Das elektronische System des Analysators erfordert keine Wartung.

8 Lagerung

Bei Lagerung des Geräts sind folgende Anweisungen zu beachten:

- trennen Sie alle Leitungen vom Gerät,
- reinigen Sie das Messgerät und das Zubehör gründlich
- um die Tiefentladung des Akkus infolge einer längerer Lagerung zu vermeiden, sollen die Akkus von Zeit zu Zeit wieder aufgeladen werden.

9 Demontage und Entsorgung

Elektro- und Elektronik-Altgeräte müssen separat, also nicht mit anderen Abfällen gesammelt werden.

Gemäß des Gesetzes über Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten müssen ausgediente Elektronikgeräte an einen Sammelpunkt abgegeben werden.

Vor der Abgabe der Geräte an einen Sammelpunkt soll man nie versuchen, Geräteteile selbständig zu demontieren.

Man soll lokale Vorschriften zur Entsorgung von Verpackungen, Altbatterien und Altakkumulatoren beachten.

10 Zusätzliches Zubehör

- Die Parameter beziehen sich auf die derzeit angebotenen Zangen. Die Spezifikationen für alle Zangen einer Serie sind in der Bedienungsanleitung für das jeweilige Zubehör zu finden.
- Die vollständige Zubehörliste finden Sie auf der Website des Herstellers.

				
	C-4A	C-5A	C-6A	C-7A
	WACEGC4AOKR	WACEGC5AOKR	WACEGC6AOKR	WACEGC7AOKR
Nennstrom	1200 A AC	1000 A AC 1400 A DC	12 A AC	100 A AC
Frequenz	30 Hz...10 kHz	DC...5 kHz	40 Hz...10 kHz	40 Hz...1 kHz
Max. Durchmesser der zu messenden Leitung	52 mm	39 mm	20 mm	24 mm
Minimale Genauigkeit	≤0,5%	≤1,5%	≤1%	0,5%
Batterieversorgung	—	√	—	—
Leitungslänge	2,2 m	2,2 m	2,2 m	3 m
Messkategorie	IV 300 V	IV 300 V	IV 300 V	III 300 V
Schutzart	IP40			

					
	F-1A1 / F-1A / F-1A6	F-2A1 / F-2A / F-2A6	F-3A1 / F-3A / F-3A6	F-2AHD	F-3AHD
	WACEGF1A1OKR WACEGF1AOKR WACEGF1A6OKR	WACEGF2A1OKR WACEGF2AOKR WACEGF2A6OKR	WACEGF3A1OKR WACEGF3AOKR WACEGF3A6OKR	WACEGF2AHDOKR	WACEGF3AHDOKR
Nennstrom	1500 / 3000 / 6000 A AC	1500 / 3000 / 6000 A AC	1500 / 3000 / 6000 A AC	3000 A AC	
Frequenz	40 Hz...10 kHz			10 Hz...20 kHz	
Max. Durchmesser der zu messenden Leitung	380 mm	250 mm	140 mm	290 mm	145 mm
Minimale Genauigkeit	0,5%			0,5%	
Batterieversorgung	—			—	
Leitungslänge	2,5 m			2,5 m	
Messkategorie	IV 600 V			IV 600 V	
Schutzart	IP67			IP65	

11 Hersteller

Gerätehersteller für Garantieansprüche und Service:

SONEL S.A.
Wokulskiego 11
58-100 Świdnica
Polen
Tel. +48 74 884 10 53 (Kundenbetreuung)
E-Mail: customerservice@sonel.com
Webseite: www.sonel.com

Achtung

Servicereparaturen dürfen nur vom Hersteller durchgeführt werden.

AUFZEICHNUNGEN



SONEL S.A.

Wokulskiego 11
58-100 Świdnica
Polen

Kundenbetreuung

Tel. +48 74 884 10 53
E-Mail: customerservice@sonel.com

www.sonel.com