



BEDIENUNGSANLEITUNG

NETZQUALITÄTSMESSGERÄT PQM-701



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

Version 1.04 29.03.2011



INHALTSVERZEICHNIS

1	Allgemeine Angaben	6
1.1	Sicherheit	6
1.2	Allgemeine Charakteristik	7
1.3	Stromversorgung	8
1.4	Dichtheit und die Arbeit draußen	9
1.5	Gemessene Parameter	11
1.6	Übereinstimmung mit den Normen	14
1.7	Hutschienenmontage	15
2	Bedienung des Analysators	17
2.1	Ein- und Ausschalten	17
2.1.1	PC-Verbindung und Datenübertragung	19
2.2	Durchführen von Messungen	20
2.2.1	Messpunkte	20
2.2.2	Auslösen und Stoppen der Aufzeichnung	20
2.2.3	Ungefährte Aufzeichnungszeiten	21
2.3	Tastensperre	22
2.4	Sleep-Modus	23
2.5	Signalisierung einer fehlerhaften Verbindung	23
2.6	Automatische Abschaltung	24
3	Mess-Systeme	25
4	Programm „Sonel Analysis“	30
4.1	Minimale Systemanforderungen	30
4.2	Installation	31
4.3	Starten des Programms	35
4.4	Wahl des Analysators	37
5	Konfiguration des Analysators	41
5.1	Einstellungen des Speichers	43
5.2	Konfiguration des Messpunktes	44
5.2.1	Allgemeine Einstellungen	44
5.2.2	Einstellungen nach EN 50160	48
5.2.3	Spannung	56
5.2.4	Strom	59
5.2.5	Leistung und Energie	60
5.2.6	Oberwellen	64
5.2.7	Standardkonfigurations-Profile	66
5.3	Zeit und Sicherheit	67
5.4	Umkehren der Phasen der Zangen	69
6	Ablesen der aktuellen Daten	70
6.1	Verlauf des Stromes und der Spannung	70
6.2	Zeitdiagramm des Stromes und der Spannung	71
6.3	Phasenwerte und Gesamtwerte	72
6.4	Zeiger	75

6.5	Oberwellen	76
7	Datenanalyse	80
7.1	Ablesen der Daten aus dem Analysator und der SD-Karte	80
7.2	Auswahl des Zeitraums für die Analyse.....	81
7.3	Analyse der abgerufenen Daten	83
7.3.1	Allgemeine	83
7.3.2	Messungen	84
7.3.3	Ereignisse.....	90
7.3.4	Datenanalyse nach EN 50160.....	94
8	Weitere Optionen der Anwendung	97
8.1	Status des Analysators.....	97
8.2	Fernauslösung und Anhalten der Messung, Änderung des Messpunktes.....	97
8.3	Konfiguration des Programms	98
8.3.1	Haupteinstellungen	99
8.3.2	Konfiguration des Analysators.....	100
8.3.3	Aktuelle Messungen.....	101
8.3.4	Farbeinstellungen	101
8.3.5	Datenanalyse.....	101
8.3.6	Einstellungen der Berichte	101
8.4	Datenbank der Analysatoren	102
8.5	Aktualisierung des Programms und der Firmware.....	103
9	Qualität der Stromversorgung – Leitfaden	105
9.1	Allgemeine Informationen.....	105
9.2	Spannungseingänge.....	105
9.3	Stromeingänge	106
9.3.1	Harte Zangen (CT) zur Messung von Wechselstrom (AC).....	106
9.3.2	Zangen zur Messung von Wechselstrom und Gleichstrom (AC/DC).....	107
9.3.3	Flexible Zangen (biegsam).....	107
9.3.4	Digitaler Integrator	108
9.4	Signalabtastung.....	109
9.5	PLL-Synchronisation	109
9.6	Flimmern (Flicker).....	110
9.7	Leistungsmessung.....	111
9.7.1	Wirkleistung	111
9.7.2	Blindleistung	112
9.7.3	Blindleistung und 3-Leiter-Systeme	115
9.7.4	Blindleistung und Blindverbrauchsähler.....	116
9.7.5	Scheinleistung	117
9.7.6	Die Verzerrungsleistung D_B und die effektive Scheinleistung der Verzerrung S_{eN}	119
9.7.7	Leistungsfaktor	120
9.8	Oberwellen	120
9.8.1	Wirkleistungen der Oberwellen	122
9.8.2	Blindleistungen der Oberwellen.....	123
9.8.3	Charakteristik der Oberwellen in Dreiphasennetzen	123
9.8.4	Schätzung der Messunsicherheit der Leistung und Energie	125
9.8.5	Methode der Messung der Komponenten der Oberwellen.....	127
9.8.6	THD-Faktor.....	128

9.8.7	K-Faktor.....	129
9.9	Unsymmetrie	129
9.10	Erkennung der Ereignisse	131
9.11	Erkennung von Spannungseinbrüchen, Überspannungen und Stromausfällen	133
9.12	Mittelung der Messergebnisse.....	135
9.13	Frequenzmessung.....	138
10	Berechnungsformeln	139
11	Technische Daten	147
11.1	Eingänge	147
11.2	Gemessene Parameter - Genauigkeit, Auflösung und Bereiche	148
11.3	Ereigniserkennung - Effektivwerte der Spannung und des Stromes.....	150
11.4	Ereigniserkennung - weitere Parameter	151
11.5	Aufzeichnung.....	152
11.6	Stromversorgung und Heizung	153
11.7	Unterstützte Netze	153
11.8	Unterstützte Stromzangen	153
11.9	Kommunikation.....	154
11.10	Umweltbedingungen und andere technische Daten	154
11.11	Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit.....	154
11.12	Standards	155
12	Ausrüstung	155
12.1	Standardausrüstung	155
12.2	Zusätzliches Zubehör	155
12.2.1	Zangen C-4.....	155
12.2.2	Zangen C-5.....	157
12.2.3	Zangen C-6.....	159
12.2.4	Zangen F-1, F-2, F-3.....	161
13	Weitere Informationen.....	163
13.1	Reinigung und Pflege	163
13.2	Lagerung	163
13.3	Demontage und Entsorgung.....	163
13.4	Hersteller	163
13.5	Labordienstleistungen	Błąd! Nie zdefiniowano zakłádki.

1 Allgemeine Angaben

1.1 Sicherheit



Das Gerät PQM-701 dient zur Messung, Aufzeichnung und Analyse der Netzleistung und -qualität. Um einen sicheren Betrieb und die Richtigkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, sollten Folgendes beachtet werden:

- Bevor das Analysegerät 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 Analysegeräts auf andere, als die in der Bedienungsanleitung beschriebene, Weise, kann zur Beschädigung des Geräts führen und gefährlich für den Benutzer sein.
- Die Geräte PQM-701 dürfen ausschließlich von 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 oder Anlagen eingesetzt werden, wo Explosionsgefahr oder Brandgefahr besteht
- 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,
- Berühren Sie niemals die ungenutzten Messspitzen.
- Das Gerät darf nicht mit anderen Stromquellen, als die in dieser Anleitung erwähnt werden, betrieben werden.
- Wenn möglich, schließen Sie das Gerät an den Stromkreis bei ausgeschaltetem Strom an.
- Bevor Sie das Gerät in dem Anschlusskasten ZK einsetzen, empfehlen wir den Abbau der Metallstütze auf der Rückseite, um einen zufälligen Kurzschluss zu vermeiden.
- Das Öffnen der Abdeckung des Geräts 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.
- Reparaturen dürfen nur von einem dazu befugten Reparaturservice durchgeführt werden.



Der Analysator PQM-701 erfüllt die Anforderungen nach PN-EN 61010-1 für die Messkategorie IV 600V und doppelter Isolierung bei geschlossener Gehäuseabdeckung. Mit geöffneter Gehäuseabdeckung erfüllt das Gerät die Anforderungen für die Messkategorie IV 600 V und Basisisolierung.



Die Messkategorie des gesamten Systems ist von der verwendeten Ausrüstung abhängig. Der Anschluss von Zubehör an den Analysator (z.B. von Stromzangen) einer niedrigeren Messkategorie hat eine Herabstufung der Messkategorie des gesamten Systems zur Folge.

1.2 Allgemeine Charakteristik

Rys. 1 Das Netzqualitätsmessgeräts PQM-701 (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 ist mit fünf Spannungseingangsbuchsen ausgestattet L1/A, L2/B, L3/C, N und PE, wobei der Eingang N (Nulleiter) gemeinsam ist. Der Spannungsbereich der vier Messkanäle beträgt maximal $\pm 1150V$. Dieser Bereich kann mit Hilfe von zusätzlichen externen Spannungswandlern variiert werden.

Zur Strommessung dienen vier Stromeingänge, die den Anschluss von verschiedenen Stromzangen erlauben. Darunter befinden sich flexible Zangen F-1, F-2, F-3 mit einem Nennbereich von 3000A (die sich nur durch den Spulenkreis unterscheiden) und harte Zangen C-4 (Bereich 1000A AC), C-5 (Bereich 1000A AC/DC) und C-6 (Bereich 10A AC). Der Nennstrombereich kann mit zusätzlichen Meßwandlern geändert werden - zum Beispiel mit einem 100:1 Wandler mit C-4-Zangen kann Strom bis zu 100 kA gemessen werden.

Die Funktionalität im Aufzeichnungsmodus war einer der Schwerpunkte beim Entwurf dieses Geräts. Deshalb wurde das Gerät mit einem Slot für SD-Karten (eng. *Secure Digital*) mit einer großen Kapazität ausgestattet. Nach Abschluss der Aufzeichnung kann die SD-Karte herausgenommen werden und ein externer SD-Kartenleser, zusammen mit der beigefügten Software, verwendet werden, um so den Datentransfer zu beschleunigen. Die Daten können auch über die USB-Schnittstelle oder durch Funkübertragung abgelesen werden.

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 wird vom gemessenen Netz betrieben; das interne Netzteil mit großem Eingangs-Spannungsbereich 100...690V AC ist im Gerät fest an die Leitung L1/A und N angeschlossen.

Charakteristisch für das Gerät PQM-701 ist die Möglichkeit es unter schlechten Wetterbedingungen zu verwenden - es kann direkt an Strommasten installiert werden. Das Gerät bietet eine Abdichtung der Klasse IP65, und hat einen Betriebstemperaturbereich von $-20^{\circ}C...+55^{\circ}C$.

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

Die vereinfachte Benutzeroberfläche umfasst eine 4-stellige alphanumerische LED-Anzeige, die auch bei Außenbeleuchtung ausgezeichnet sichtbar ist, und eine 3-Tasten-Touchscreen-Tastatur.

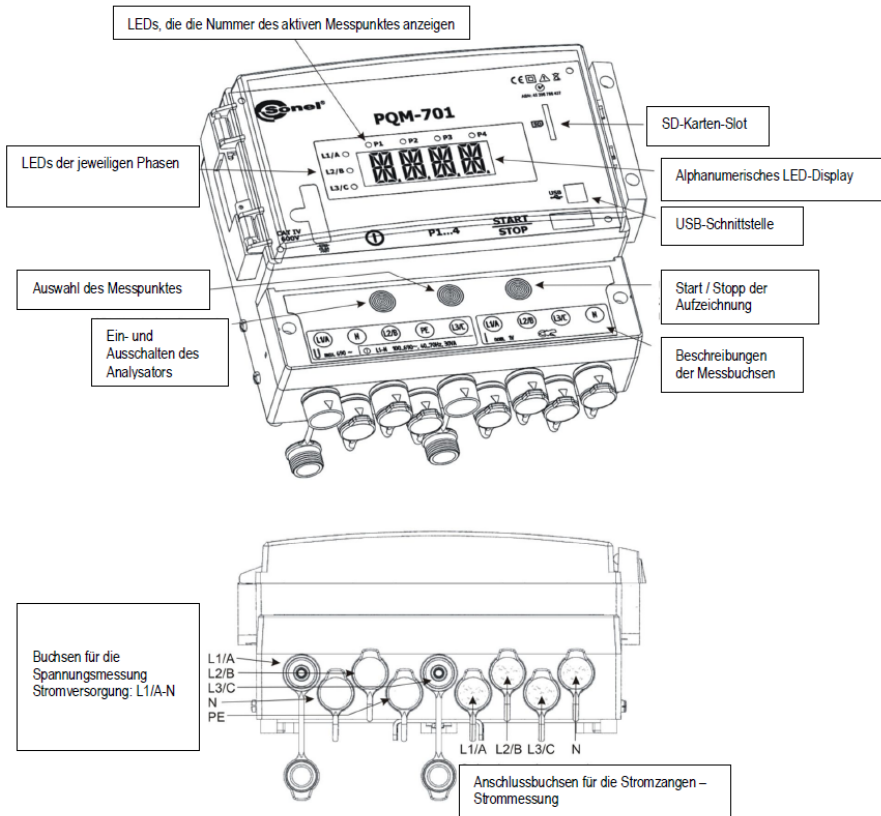
Dank der speziell für das Gerät entwickelten Software PC „Sonel Analysis“ kann die volle Funktionalität des Geräts genutzt werden.

Es gibt zwei Möglichkeiten das Gerät mit dem PC zu verbinden:

- über eine optisch isolierte USB-Schnittstelle, mit einer Übertragungsgeschwindigkeit von bis zu 921,6kbit/s (um das Gerät anzuschließen, ist es notwendig die Gehäuseabdeckung zu entfernen),
- oder über eine Funkverbindung mit einer Geschwindigkeit von 57,6kbit/s.

Um die drahtlose Übertragung nutzen zu können, muss an die USB-Schnittstelle des PCs das Empfangsgerät OR-1 angeschlossen sein. Der Datentransfer ist in diesem Modus langsamer, deshalb wird er zur gleichzeitigen Vorschau der gemessenen Netze und zur Einstellung und Steuerung des Geräts empfohlen. Die Übertragung von großen Datenmengen, die auf der SD-

Karte gespeichert sind, über die Funkverbindung, wird aufgrund der langsameren Datenübertragung nicht empfohlen.



1Abb. 1. Netzsicherheitsmessgerät PQM-701. Außenansicht.

1.3 Stromversorgung

Das Gerät wird von dem gemessenen Netz aus der Phase L1 (Klemmen L1 und N) versorgt und ist für den Betrieb in einem Nennspannungsbereich von 100...690V AC ausgelegt. Dank des eingebauten Akkus wird die Stromversorgung bei Energieausfall aufrecht erhalten. Er wird während des Betriebs des Analysators bei Spannung auf den Klemmen L1 und N geladen. Die Akkubetriebszeit beträgt bis zu 5 Stunden (bei -20...+55°C). Nachdem der Akku leer ist, wird das Gerät

alle Vorgänge abbrechen (z.B. die Aufzeichnung) und in den Not-Modus umschalten und die Meldung „**BATT**“ ausgeben. Nachdem die Spannung wieder hergestellt wurde, wenn das Gerät zuvor im Aufzeichnungsmodus war, wird der Analysator mit der Aufzeichnung fortfahren.

Nach längerem Nichtgebrauch mit getrennter Stromversorgung (über 3 Monate), kann sich der Akku voll entladen und die Einstellungen der aktuellen Zeit, des zuletzt verwendeten Messpunktes, der Passwörter und PIN, usw. können verloren gehen. Nach der erneuten Inbetriebnahme wird daher empfohlen die verlorenen Einstellungen mit dem Programm "Sonel Analysis" wiederherzustellen.

Hinweis

Der Akku darf nur in autorisierten Servicestellen ausgetauscht werden.

1.4 Dichtigkeit und die Arbeit draußen

Das Gerät PQM-701 darf unter schlechten Wetterbedingungen verwendet werden - es kann direkt an am Strommast installiert werden. Zur Montage dienen zwei Bänder mit Klammern, die durch das Metallgestell an der Gehäuserückwand des Geräts durchgezogen werden. Das Gerät bietet eine Abdichtung der Klasse IP65 in vertikaler Stellung mit den Buchsen nach unten gerichtet, und hat einen Betriebstemperaturbereich von -20°C...+55°C.

Hinweis

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

- *Der Analysator sollte mit den Anschlussbuchsen nach unten montiert werden,*
- *Die durchsichtige Gehäuseabdeckung muss mit zwei Schrauben neben dem Gehäuseverschluss befestigt werden (es ist nicht ausreichend die Abdeckung nur mit dem Hakenverschluss zu sichern!)*
- *Ungenutzte Anschlussbuchsen müssen mit dem Silikonstöpsel gesichert werden.*



Falls die Leine, an der der Stöpsel befestigt ist, reißt, kann der Anwender diese selbst austauschen. Dazu sollte das zurückgebliebene Endstück direkt am Gehäuse abgeschnitten werden und dann mit einem ca. 1,8..2 mm dicken und ca. 10 cm langen Stab (am besten mit einem flachen Endstück) sollte der übriggebliebene Rest der Leine in das Gehäuse eingeschoben werden. Die neue Leine sollte in die Öffnung mithilfe eines Werkzeugs, z.B. einer flachen Zange, eingeschoben werden.

Aufgrund der Empfindlichkeit der Touchscreen-Tastatur, die durch einen starken Wasserstrahl betätigt werden kann (z.B. bei Regen), wird empfohlen die Tastatur über die Einstellungen mit einem 3-stelligen Code zu blockieren. Dadurch wird die Gefahr eines unbeabsichtigten Abbruchs der Aufzeichnung minimiert.

Bei einer Umgebungstemperatur von weniger als 0°C wird die Heizung des Geräts eingeschaltet, deren Aufgabe es ist eine betriebsgerechte Temperatur bei einer Umgebungstemperatur von -20°C...0°C zu gewährleisten.

Die Heizung wird über die Phase L1 versorgt, und ihre Leistung ist auf ca. 10W begrenzt.

Aufgrund der Eigenschaften des eingebauten Lithium-Ionen-Akkus wird bei Temperaturen unter 0° C im Gehäuse das Laden des Akkus ausgeschaltet. Dies kann passieren, wenn der Analytator bei Temperaturen unter 0°C nicht über die Phase L1 versorgt wird. Das Aufladen des Akkus wird erst möglich, nachdem die Temperatur im Gehäuse mehr als 0°C beträgt.

1.5 Gemessene Parameter

Der Analysator PQM-701 ermöglicht die Messung und Aufzeichnung der folgenden Parameter:

- effektive Phasenspannungen und Leiterspannungen im Bereich bis 690V (max. bis 1150V),
- effektive Ströme bis 3000A (max. 10kA) bei Verwendung der flexiblen Zangen (F-1, F-2, F-3), bis 1000A (max. 3600A) bei Verwendung der harten Zangen C-4 oder C-5, oder bis 10A (max. 36A) mit den Zangen C-6,
- maximaler Strom- und Spannungsfaktor,
- die Frequenz des Netzes im Bereich von 40..70Hz
- 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,
- K-Verlustkoeffizient verursacht durch die Oberwellen (K-Faktor)
- Wirk- und Blindleistungen der Oberwellen,
- Winkel zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes
- Leistungsfaktor, $\cos\varphi$, $\tan\varphi$,
- Unsymmetriefaktor der Dreiphasennetzwerke und symmetrische Komponenten,
- Flicker Faktor P_{st} und P_{It}

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 1% 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 Überspannung 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-701 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 Tabelle 1Tabelle 1 enthält eine Zusammenfassung der Parameter, die der Analysator PQM-701, abhängig von der Netzwerkart, erfassen kann.

Netzwerkart Parameter		1-f		2-f				3-f Stern mit N					3-f Dreieck 3-f Stern ohne N			
		A	N	A	B	N	Σ	A	B	C	N	Σ	A	B	C	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 (Krest Faktor)	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
CF I	Scheitelfaktor des Stromes (Krest Faktor)	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
P	Wirkleistung	•		•	•		•	•	•	•		•				• ⁽¹⁾
Q_1, Q_B	Blindleistung	•		•	•		•	•	•	•		•				• ⁽¹⁾
D, S_N	Leistung der Verzerrung	•		•	•		•	•	•	•		•				•
s	Scheinleistung	•		•	•		•	•	•	•		•				•
PF	Leistungsfaktor	•		•	•		•	•	•	•		•				•
$\cos\varphi$	Phasenverschiebungsfaktor	•		•	•		•	•	•	•		•				• ⁽¹⁾
$\tan\varphi$	Faktor tangens φ	•		•	•		•	•	•	•		•				• ⁽¹⁾
THD U	Faktor des Inhalts der Oberwellen der Spannung	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
THD I	Faktor des Inhalts der Oberwellen des Stromes	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
K	K-Faktor	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
E_{P+}, E_{P-}	Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	•		•	•		•	•	•	•		•				•
$E_{Q1+}, E_{Q1-}, E_{QB+}, E_{QB-}$	Blindenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	•		•	•		•	•	•	•		•				• ⁽¹⁾
E_S	Scheinenergie	•		•	•		•	•	•	•		•				•
$U_{h1}..U_{h50}$	Amplituden der Oberwellen der Spannung	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
$I_{h1}..I_{h50}$	Amplituden der Oberwellen des Stromes	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	
$\varphi_{U1}.. \varphi_{U150}$	Winkel zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes	•		•	•			•	•	•						
$P_{h1}..P_{h50}$	Wirkleistungen der Oberwellen	•		•	•			•	•	•						
$Q_{h1}..Q_{h50}$	Blindleistungen der Oberwellen	•		•	•			•	•	•						
Unsymmetrie U, I	Symmetrischen Komponenten und die Unsymmetriefaktoren										•					•
P_{st}, P_{It}	Flicker-Faktor	•		•	•			•	•	•			•	•	•	

1Tabelle 1. Gemessene Parameter für verschiedene Netzwerk-Konfigurationen

- Erläuterung:** A, B, C bedeuten die nächsten Phasen (L1/A, L2/B, L3/C),
N bezeichnet eine Messung für den Spannungskanal N-PE oder Stromkanal I_N , abhängig von
der Art des Parameters,
 Σ ist es der Gesamtwert des Systems.
- (1) $N = \sqrt{S_e^2 - P^2} 9.7$ In 3-Phasennetzwerken wird als gesamte Blindleistung die inaktive Leistung berechnet (siehe die Diskussion bezüglich der Blindleistung im Abschnitt 9.7)

1.6 Übereinstimmung mit den Normen

Der Analysator PQM-701 wurde so entworfen, dass er die Anforderungen der unten genannten Normen erfüllt.

Standards für die Messung der Netzwerk-Parameter:

- BS EN 61000-4-30:2009 - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüf- und Messverfahren - Methoden der Messung der Netzqualität,
- BS EN 61000-4-7:2007 - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüf- und Messverfahren - Allgemeiner Leitfaden für Oberwellen und inter-Oberwellenmessungen und für die Zwecke von Messgeräten für Stromversorgungssysteme und an sie angeschlossenen Geräte verwendet werden,
- BS EN 61000-4-15:1999 - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Prüf- und Messverfahren - Meter flackern - Funktionelle und Design,
- BS EN 50160:2008 - Merkmale der Versorgungsspannung in öffentlichen Netzen.

Sicherheitsnormen:

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

Das Gerät erfüllt die Anforderungen der ganzen Klasse S nach EN 61000-4-30, aber an vielen Stellen werden die strengeren Anforderungen der Klasse A erfüllt. Die folgende Tabelle liefert einer Übersicht.

Aggregation der Messungen in Zeitabständen	BS EN 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., • Intervall von 2 h (bezogen auf 12 Bereiche je 10 min.)
Die Unsicherheit der Uhrzeit	BS EN 61000-4-30 Klasse S: • Eingebaute Echtzeituhr, eingestellt über die Software „Sonel Analysis“, keine GPS oder Funk-Synchronisation, • Genauigkeit der Uhr besser als $\pm 0,3$ Sek. / Tag
Frequenz	Die Anforderungen der Norm DIN EN 61000-4-30 Klasse A für Methoden und die Messunsicherheit werden erfüllt
Wert der Versorgungsspannung	Die Anforderungen der Norm DIN EN 61000-4-30 Klasse A für Methoden und die Messunsicherheit werden erfüllt
Spannungsschwankungen (Flicker)	Die Methode der Messung und die Unsicherheit erfüllt die Anforderungen der Norm DIN EN 61000-4-15
Einbrüche, Steigungen und Unterbrechungen der Versorgungsspannung	Die Anforderungen der Norm DIN EN 61000-4-30 Klasse A für Methoden und die Messunsicherheit werden erfüllt
Spannungsunsymmetrie	Die Anforderungen der Norm DIN EN 61000-4-30 Klasse A für Methoden und die Messunsicherheit werden erfüllt
Oberwellen der Spannung und des Stromes	Die Methode und die Messunsicherheit erfüllen die Anforderungen PN-EN 61000-4-7 Klasse I

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

1.7 Hutschienenmontage

Rys. 2 Es werden zwei Klemmen zur Befestigung des Analysators an einer Hutschiene geliefert. Um dies zu tun, entfernen Sie zunächst die Metallstütze, die an der Rückseite des Analysators verschraubt ist. Danach befestigen Sie an dem Gehäuse die Zwei Klemmen, hängen Sie den Analysator auf die Schiene und als letzter Schritt: drehen Sie und blockieren Sie die Klemmen. Siehe Abb. 2.

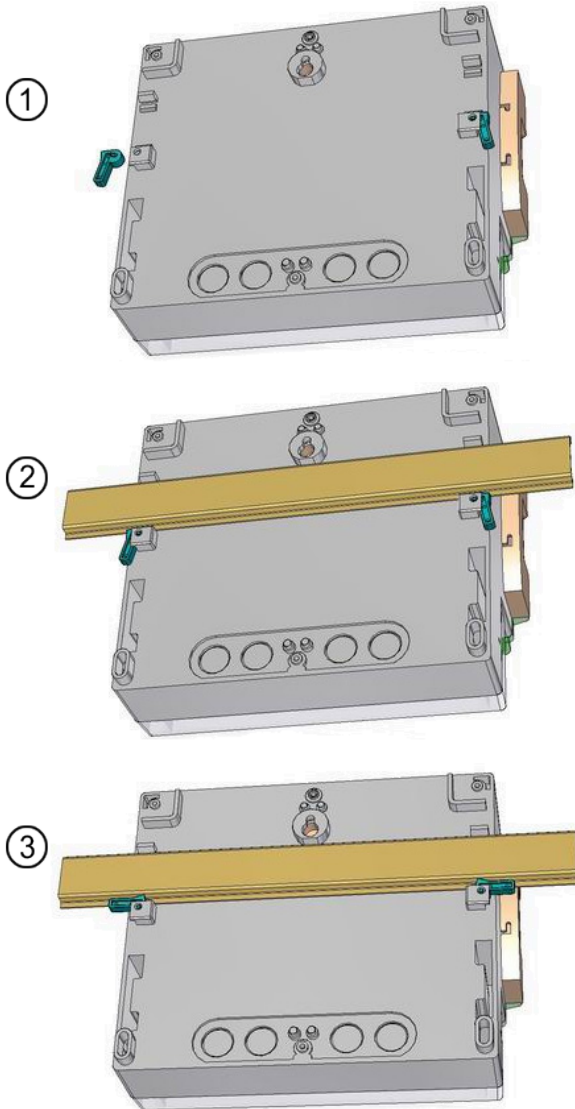


Abb. 2. Montage des Analysators an einer Hutschiene.

2 Bedienung des Analysators

2.1 Ein- und Ausschalten

- Der Analysator wird durch einen kurzen Tastendruck eingeschaltet ①. Nach dem Einschalten wird ein Autotest eingeleitet und falls Fehler gefunden werden, erscheint auf dem Display eine Entsprechende Fehlermeldung **Exxx**, und ein Tonsignal wird ausgegeben (3 Sekunden) – alle Messungen werden blockiert.
- Nach dem Autotest wird die aktuelle Uhrzeit des Analysators ausgegeben (2 Sekunden).
- Die Meldung **WAIT** wird ausgegeben, wenn die SD-Karte eingesetzt wird – für 2GB Speicherkarten kann diese sogar 5 Sekunden lang dauern.
- Falls die SD-Karte aus einem anderen Analysator stammt, wird der Benutzer aufgefordert den PIN-Code des Analysators einzugeben - des Geräts aus dem die Speicherkarte entnommen wurde, dies ermöglicht den Zugriff. Bei der ersten Inbetriebnahme mit einer solchen Karte, wird sie zum Analysator zugeschrieben und die PIN wird aktualisiert.
- Sollte ein Fehler beim Versuch die Karte zu aktivieren auftreten, erscheint die Meldung **CARD**. Falls die auf der Karte gespeicherten Datensätze beschädigt sind (oder z.B. der Benutzer die Karte manuell formatiert hat) wird der Analysator empfehlen die Speicherkarte zu formatieren (Meldung: **FORM**), mit der Taste **START/STOP** kann die Formatierung gestartet werden (es werden 3 kurze Tonsignale ausgegeben). Nach der Formatierung wird der Analysator erneut versuchen die SD-Karte zu aktivieren.
- Beim Formatieren der SD-Karte führt der Analysator eine Prüfung ihrer Leistung durch. Sollte sich herausstellen, dass die Karte eine zu geringe Transferegeschwindigkeit hat, wird die Meldung **CARD** ausgegeben. Es wird empfohlen nur Speicherkarten, die mit dem Analysator geliefert wurden, zu verwenden.
- Wenn der Analysator bei der Aktivierung der Karte die Datei FIRMWARE.PQF im Root-Verzeichnis, das die Firmware des Analysators enthält (interne Software) findet und die Version der Datei eine neuere Version der Software des Analysators enthält, wird eine Aktualisierung der Software empfohlen – die Meldung **UPDT** wird ausgegeben. Die Taste **START/STOP** startet die Aktualisierung (es werden 3 kurze Tonsignale ausgegeben), deren Fortschritt auf dem Display in Prozenten angegeben wird. Wenn die Aktualisierung erfolgreich abgeschlossen wird, wird die Meldung **DONE** ausgegeben, andernfalls wird die Meldung **FAIL** ausgegeben. Der Analysator wird sich danach selbst ausschalten. Der Prozess selbst trägt das Risiko einer Beschädigung des Geräts mit sich, deshalb übernimmt der Hersteller keine Verantwortung dafür. Sicherer ist es die Aktualisierung vom Hersteller selbst durchführen zu lassen.
- Der Analysator wird sich auf dem zuletzt aktiven Messpunkt einstellen und den korrekten Anschluss an das Netzwerk, abhängig von der Konfiguration, prüfen.
Unten ist ein Beispiel des Prüfverfahrens für ein Drei-Phasen-Netz (Stern oder Dreieck):
 - die Diode L1 Leuchtet (oder L1 und L2 für die Dreieck-Schaltung) und auf dem Display erscheint für 2 die Spannung dieser Phase, und danach für 2 Sekunden der Strom (wenn die Strommessung eingeschaltet ist),
 - die Diode L2 Leuchtet (oder L2 und L3 für die Dreieck-Schaltung) und auf dem Display erscheint für 2 die Spannung dieser Phase, und danach für 2 Sekunden der Strom,
 - die Diode L3 Leuchtet (oder L1 und L2 für die Dreieck-Schaltung) und auf dem Display erscheint für 2 die Spannung dieser Phase, und danach für 2 Sekunden der Strom,
 - Falls ein Konfigurationsfehler entdeckt wurde (z.B. falsche effektive Spannung oder Phasen vertauscht), wird 2 Sekunden lang die Meldung **ERR** ausgeblendet. Dies blockiert die Funktionsfähigkeit des Analysators nicht, sie warnt lediglich den Benutzer vor einem möglichen Konfigurations- oder Anschlussfehler,
 - Auf dem Display erscheint **STOP**, und signalisiert, dass der Analysator keine Aufzeichnung durchführt, in soeinem Fall kann die Aufzeichnung durch Drücken der Taste **START/STOP** eingeleitet werden (wenn für diesen Messpunkt kein Speicherplatz mehr

vorhanden ist, wird die Meldung **MEM** ausgegeben; wenn für diesen Messpunkt der Speicherplatz auf Null gestellt ist, wird **LIVE** ausgegeben).

- Vor der Messung oder bei der Aufzeichnung (falls kein Sleep-Modus eingeschaltet wurde) zeigen die LEDs folgende Zustände des Netzwerks an:
 - LED leuchtet nicht - die Spannung und der Phasenwinkel sind korrekt,
 - blinkende LED - Störung (z. B. die Phasen L2 und L3 wurden verwechselt, beide LEDs blinken).
 - LEDs blinken mit größerer Geschwindigkeit - gemessene Frequenz des Netzes ist anders als die Nennfrequenz des aktuellen Messpunkts.

Dies ist abhängig von der Art des Netzes, das in der Konfiguration gewählt wurde. Für ein 1-Phasen-Netz ist nur die LED L1 aktiv. Für ein 2-Phasen-Netz L1 und L2, für ein 3-Phasen-Netz alle.

- In der Tabelle 3 der Tabelle 3 befindet sich eine Übersicht der Meldungen, die während des Tests und des Betriebs des Gerätes ausgegeben werden.

Ausgegebene Meldung	Beschreibung
BATT	Ausschalten des Analysators wegen leeren Akkus. Schließen Sie das externe Netzteil an.
CARD	Fehlende oder beschädigte SD-Karte. Die Messungen sind gesperrt.
CODE	Eingabemodus des Tastensperren-Codes, um die Tastatur wieder zu entsperren.
ERR + langes Tonsignal	Installationsfehler (z.B. Verwechseln der zwei Phasen, falsch verpolte Stromzangen usw.), der Fehlmessungen verursachen kann (falsches Zeigerdiagramm im LIVE -Modus). Die LEDs der Phasen, die die potentielle Fehlerursache sein können, brennen. Dieser Fehler blockiert die Messfunktion nicht, er warnt den Benutzer lediglich davor, dass Fehler bei der Aufzeichnung auftreten können.
EVNT	Warten auf die automatische Einleitung der Aufzeichnung nach dem ersten erkannten Ereignis.
Exxx	Interner Fehler des Analysators. Wenn nach dem Ausschalten und erneutem Einschalten derselbe Fehler weiterhin auftritt, kontaktieren Sie bitte den Kundendienst von Sonel S.A.
F1.00	Anzeige der Firmware-Version des Analysators nach dem Einschalten (hier: Version 1.00)
FORM	Formatieren der SD-Karte (das Gerät wartet auf die Bestätigung der Formatierung durch drücken der Taste START/STOP)
LIVE	Für den ausgewählten Messpunkt wurde kein Speicherplatz auf der SD-Karte zugeordnet - es ist nur die Anzeige der aktuell gemessenen Werte im PC-Programm möglich, gemäß der gespeicherten Konfiguration
LOGG	Gerät nimmt auf. PC-Verbindung inaktiv.
MEM	Das Gerät hat nach dem Einschalten einen vollen Speicher für den aktiven Messpunkt erkannt. Die Messungen sind gesperrt. Sie können den Messpunkt ändern indem Sie die Taste P1...4 drücken.
PC	Aktive Verbindung mit der PC-Anwendung "Sonel Analysis"
PIN	PIN-Eingabe-Modus, um Zugriff auf die SD-Karte (die von einem anderen Analysator stammt) zu erhalten.
REP	Der Versuch die Daten wiederherzustellen wird unternommen, nachdem die SD-Karte während der Aufzeichnung entnommen wurde.
STOP	Standby. Keine Aufzeichnung. PC-Verbindung inaktiv.
TIME	Warten auf die automatische Einleitung der Aufzeichnung bei der Aufzeichnung gemäß eines Zeitplans.
UPDT	Warten auf Bestätigung der Aktualisierung der Firmware des Analysators durch Drücken der Taste START/STOP . Drücken der Taste P1...4 überspringt die Aktualisierung.
WAIT	Die SD-Karte wird gescannt.
DONE/OK/FAIL	Erfolgs- und Fehlermeldungen

3Tabelle 3. Meldungen, die auf dem Display des Analysators erscheinen.

- Nach dem Wechsel des Messpunktes wird die Testsequenz der Verbindungen wiederholt.
- Der Analysator wird ausgeschaltet indem die Taste ① 2 Sekunden lang gedrückt gehalten wird, vorausgesetzt, dass die Tastatur nicht gesperrt ist oder das Gerät sich nicht im Aufzeichnungsmodus befindet.
- Nach Drücken einer aktiven Taste wird ein kurzes Tonsignal mit einem höheren Ton ausgegeben; bei einer inaktiven Taste ist es ein längeres Tonsignal mit niedrigerer Tonhöhe.

Anmerkungen

- *Bevor Sie die SD-Karte entnehmen, wird empfohlen den Analysator mit der Taste **ON/OFF** auszuschalten. Eine solche Maßnahme verhindert einen möglichen Datenverlust.*
- *Das Herausnehmen der SD-Karte während des Betriebs des Analysators wird mit der Meldung **CARD** signalisiert. Eine solche Aktion könnte zu Datenverlust führen oder vollständig alle Datensätze auf der SD-Karte beschädigen, vor allem wenn sich das Gerät im Aufzeichnungsmodus befand.*
- *Es sollte nicht in das Dateisystem auf der SD-Karte eingegriffen werden (z.B. durch erstellen und Speichern von eigenen Dateien oder durch Löschen der vom Gerät gespeicherten Dateien).*
- *Das Herausnehmen der Speicherkarte während der Aufzeichnung ist mit dem Risiko des Datenverlustes oder der Beschädigung der Datensätze verbunden. Um das Risiko zu minimieren, sollte in einem solchen Fall die Karte erneut eingesetzt werden (ohne das Gerät auszuschalten) – das Gerät wird versuchen die zwischengespeicherten Daten auf der SD-Karte zu speichern. Auf dem Display erscheint **REP**. Wenn der Vorgang erfolgreich ist, wird **OK** ausgegeben, das Gerät wird mit der Aufzeichnung fortfahren, andernfalls wird **FAIL** ausgegeben, was einen irreparablen Schaden im Datensatzsystem bedeuten kann.*
- *Es wird empfohlen, dass bevor die Karte herausgenommen wird (berührt wird) der Benutzer die angesammelten elektrostatischen Ladungen entladet, durch Berühren eines leitfähigen und geerdeten Gegenstandes.*

2.1.1 PC-Verbindung und Datenübertragung

- Nach dem Einschalten des Analysators mit der Taste ① Das Funkmodul und der USB-Anschluss sind permanent aktiv, um jederzeit die Messdaten in Echtzeit übertragen zu können und einen Fernstart oder -stopp zu ermöglichen.
- Nach Anschluss des Geräts an einen PC erscheint auf dem Display die Meldung **PC**; falls sich das Gerät im Aufzeichnungsmodus befindet, erscheint auf dem Display die Meldung **P.C.** (die Punkte blinken mit einer Frequenz 0,5 Sekunden).
- Die Verbindung mit dem Computer (PC-Modus) ermöglicht:
 - die Übertragung der durch das Gerät gespeicherten Daten:
 - im **STOP**-Modus ist es möglich die Daten aller Messpunkte aufzurufen,
 - während der Aufzeichnung können die Daten der Messpunkte aufgerufen werden, für die derzeit keine Aufzeichnung durchgeführt wird;
 - es besteht die Möglichkeit einen Teil der für den Messpunkt gespeicherten Daten während der Aufzeichnung aufzurufen; der Teil der Daten, die zwischengespeichert werden, ist bis sie auf der SD-Karte gespeichert wurden nicht verfügbar.
 - Vorschau der Netzparameter auf dem PC:

- Momentwerte von Strom, Spannung, Leistung und Energie, Gesamtwert für das System
- Oberwellen, Leistungen der Oberwellen und THD,
- Unsymmetrie,
- Zeigerdiagramme für Spannung,
- Spannungs-und Stromverlauf in Echtzeit.
- Während der Verbindung zum PC sind die Tasten gesperrt, außer der Taste ①, es sei denn, die Tastatur des Analysators ist gesperrt (z.B. bei der Aufzeichnung), in so einem Fall sind alle Tasten gesperrt.
- Um mit dem Analysator eine Verbindung aufzubauen, muss die PIN eingegeben werden, die auf der SD-Karte gespeichert ist. Standardmäßig wird der PIN-Code 000 (drei Nullen) eingestellt. Der PIN-Code kann in dem Programm "Sonel Analysis" individuell eingestellt werden. Es ist nicht möglich eine Verbindung ohne korrekt eingelegte Speicherkarte zu erstellen.
- 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 5 Minuten stattgefunden hat, wird der Analysator den Datenübertragungsmodus verlassen und die Verbindung abbrechen.

Anmerkungen

- Wenn Sie die Tasten **P1...4** und ① 5 Sekunden lang gedrückt halten, wird der PIN-Code auf 000 zurückgestellt.
- Wenn die Tastensperre während der Aufzeichnung eingeschaltet ist, hat diese Funktion Vorrang (zuerst muss die Tastensperre aufgehoben werden, um die PIN zurückzusetzen). Im Notfall kann die Tastatur entsperrt werden, indem die Taste **START/STOP** und ① 5 Sekunden lang gedrückt gehalten wird.

2.2 Durchführen von Messungen

2.2.1 Messpunkte

Der Analysator ermöglicht Ihnen 4 komplett unabhängige Messkonfigurationen zu speichern, die als "Messpunkte" bezeichnet werden. Die Nummer des aktiven Messpunktes wird durch eine entsprechende grüne LED über dem Display angezeigt.

- Die Änderung des Messpunktes kann in der Reihenfolge 1...4 durch Drücken der Taste **P1...4** durchgeführt werden.
- Wenn Sie zum nächsten Messpunkt übergehen, wird die Testsequenz zur Überprüfung der Richtigkeit der Netzwerkverbindung durchgeführt.
- Der Benutzer kann einen beliebigen Prozentsatz des Speichers jedem Messpunkt zuweisen (z.B. 100% für 1, keine anderen Punkte oder 25% für jeden Punkt). Falls für einen Messpunkt der gesamte Speicher zugewiesen wurde, wird nach Wahl der restlichen Punkte die Meldung **LIVE** ausgegeben, die signalisiert, dass nur die Vorschau in Echtzeit möglich ist (Live-Modus).

2.2.2 Auslösen und Stoppen der Aufzeichnung

Die Aufzeichnung entsprechend der Konfiguration des Messpunktes, kann auf drei Weisen eingeleitet werden:

- sofort durch Drücken der Taste **START/STOP** oder über die Software, wenn die Verbindung zum PC aktiv ist,
- gemäß des in der Anwendung festgelegten Zeitplans (bis zu vier Zeitabschnitte), in diesem Fall durch Drücken der Taste **START/STOP** wird der Analysator überprüfen, ob die aktuelle Zeit sich in einem der Zeitabschnitte befindet. Ist das der Fall, wird das Gerät die Aufzeichnung einleiten. Wenn das Gerät sich im Standby-Modus befindet, während es auf den nächsten Messzeitpunkt wartet, wird die Meldung **TIME** ausgegeben,
- nach Schwellenwert - nach Überschreitung eines voreingestellten Schwellenwerts - durch Drücken der Taste **START/STOP** wird das Gerät in den normalen Messmodus umgeschaltet, jedoch die Speicherung von Dateien (die eigentliche Aufzeichnung) wird erst nach dem Überschreiten eines Schwellenwerts vorgenommen. Während des Wartens auf die Überschreitung eines Schwellenwerts wird die Meldung **EVNT** ausgegeben.

Im Aufzeichnungsmodus (falls keine Verbindung zum PC besteht) wird die Meldung **LOGG** ausgegeben, zusammen mit blinkenden Punkten (die Aufzeichnung im PC-Modus wird ausschließlich durch blinkende Punkte signalisiert).

Nach Drücken der Taste **P1...4** während der Aufzeichnung (falls die Tastensperre nicht aktiviert ist) werden die aktuellen Werte der Spannungen und des Stromes angezeigt, ähnlich wie bei der Änderung des Messpunktes (siehe Pkt. 2.1).

Abschluss der Aufzeichnung:

- Die Aufzeichnung im Zeitplan-Modus automatisch beendet, in den anderen Fällen wird sie vom Benutzer beendet (mit der Taste **START/STOP** oder über die Software). Die Unterlassung der Aufzeichnung wird durch die Meldung **STOP** auf dem Display signalisiert.
- die Aufzeichnung wird automatisch gestoppt, wenn der gesamte für diesen Messpunkt zugewiesene Speicherplatz ausgefüllt wird. In dieser Situation erscheint auf dem Display **MEM**.
- das Display bleibt am Ende der Aufzeichnung ausgeschaltet, wenn in der Konfiguration der Schlafmodus aktiviert wurde. Das Drücken einer beliebigen Taste wird die Meldung **STOP** hervorrufen (wenn keine Tastensperre aktiviert wurde) oder die Meldung **CODE** (wenn die Tastensperre aktiviert wurde).

2.2.3 Ungefähre Aufzeichnungszeiten

Tab. 4 Die maximale Aufzeichnungsdauer hängt von vielen Faktoren ab, wie die Größe des zugewiesenen Speicherplatzes, Mittelungszeit, Netzwerk-Typ, Anzahl der aufgezeichneten Parameter, Aufzeichnung von Oszillogrammen und Erkennung von Ereignissen und der Schwellenwerte. Einige Beispiele von Konfigurationen wurden in der Tabelle 4 aufgeführt. 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 der Spannung N-PE des Stromes I_N voraus.

Konfigurations- typ/ aufgezeichnete Parameter	Mittelungs- zeit	Netzwerkart (Strommes- sung - aktiv)	Ereignis- se	Oszillog- ramme der Ereignisse	Oszillog- ramme nach der Mittele- lungszeit	Ungefähre Laufzeit der Aufzeichnung bei 2GB zu- gewiesenem Arbeitsspei- cher
nach EN 50160	10 Min	3-Phasen- Stern	• (1000 Ereignis- se)	• (1000 Ereignis- se)		60 Jahre
entsprechend dem Profil "Spannungen"	1s	3-Phasen- Stern				270 Tage

und Strom"						
entsprechend dem Profil "Spannungen und Strom"	1s	3-Phasen-Stern			•	4 Tage
nach dem Profil „Leistungen und Oberwellen“	1s	3-Phasen-Stern				23 Tage
nach dem Profil „Leistungen und Oberwellen“	1s	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	10s	3-Phasen-Stern				25 Tage
alle möglichen Parameter eingeschaltet	10s	1-Phasen				64 Tage
alle möglichen Parameter eingeschaltet	10s	1-Phasen	• (1000 Ereignisse / Tag)	• (1000 Ereignisse / Tag)	•	14,5 Tage

Tabelle 4. Die ungefähren Aufzeichnungszeiten für mehrere Beispiel-Konfiguration.

2.3 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, muss der Benutzer einen 3-stelligen Zahlencode eingeben:

- das Drücken einer beliebigen Taste wird das Ausblenden der Meldung **CODE** hervorrufen, und danach der drei Striche „- - -“
- mit den Tasten kann der Benutzer den richtigen Zahlencode eingeben: mit der Taste ① werden die Folgezahlen 0, 1, 2...9, 0 auf der ersten Position geändert, mit der Taste **P1...4** auf der zweiten, und mit der Taste **START/STOP** auf der dritten.
- drei Sekunden nach Eingabe des Zahlencodes (keine Taste darf in dieser Zeit betätigt werden) wird die Richtigkeit des Codes überprüft,
- nachdem der richtige Zahlencode eingegeben wurde, wird die Meldung **OK** ausgegeben und die Tasten werden entsperrt, falls ein falscher Zahlencode eingegeben wird, wird die Meldung **NO** für 2 Sekunden auf dem Display erscheinen und das Gerät kehrt wieder in den zuvorigen Zustand zurück (z.B. Ausschalten des Displays, falls es ausgeschaltet war).

Nach dem Entsperrern wird die Tastatur automatisch wieder gesperrt, wenn der Benutzer für 30 Sekunden keine Taste betätigt.

Hinweis

*Wenn Sie die Tasten **START/STOP** und ① für 5 Sekunden gedrückt halten, werden die Tasten notentriegelt und die Tastensperre im Gerät wird entfernt.*

2.4 Sleep-Modus

Die PC-Anwendung ermöglicht die Einstellung des Sleep-Modus. In diesem Modus wird nach 10 Sekunden nach dem Start der Aufzeichnung das Display des Analysators und alle LEDs ausgeschaltet. Ab diesem Zeitpunkt blinken auf dem Display alle 10 Sekunden nur die Punkte, die eine Aufzeichnung signalisieren.

2.5 Signalisierung einer fehlerhaften Verbindung

Drei gelbe LEDs, L1/A, L2/B, L3/C, werden zur Signalisierung einer fehlerhaften Verbindung des Analysators zum Netz verwendet und der eventuellen Nichtübereinstimmungen der gemessenen Grundparameter des Netzes mit der Konfiguration des aktiven Messpunktes.

Diese LEDs werden auf zwei Arten verwendet: während der Autotest-Prozedur, wenn der Analysator Werte der Spannung und des Stromes anzeigt und in Echtzeit, während des Betriebs.

2.1 Der Autotest wird gleich nach Einschalten des Geräts und jedes Mal nach Änderung des Messpunktes mit der Taste **P1...4** angezeigt. Während dieser Prozedur leuchten die LEDs ununterbrochen und zeigen die jeweilige Testphase an. Eine detaillierte Beschreibung der Autotest-Prozedur finden Sie im Abschnitt 2.1.

Während des Betriebs des Analysators (im **STOP**- und Aufzeichnung-Modus) haben die LEDs eine Kontrollfunktion und zeigen folgende Zustände an:

- die Abweichung des effektiven Spannungswerts um mehr als $\pm 15\%$ vom Nennwert (langsames Blinken – alle 300ms),
- Abweichung des Phasenwinkels der grundlegenden Komponente der Spannung um mehr als $\pm 30^\circ$ vom theoretischen Wert unter Widerstandslast und bei einem symmetrischen Netz (langsames Blinken),
- Abweichung des Phasenwinkels der grundlegenden Komponente des Stromes um mehr als $\pm 30^\circ$ vom theoretischen Wert unter Widerstandslast und bei einem symmetrischen Netz (langsames Blinken),
- Frequenzabweichung des Netzes um mehr als $\pm 10\%$ von der Nennfrequenz (schnelles Blinken, alle 150ms).

Hinweis

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

Es werden nur die LEDs der Phasen eingeschaltet, in denen einer dieser Parameter überschritten wurde. Im Falle eines Frequenzfehlers blinken die LEDs aller aktiven Phasen.

Für Dreieck- oder Stern-Systeme ohne eine neutrale Leitung werden zwei LEDs für jede Phase eingeschaltet, z.B. ein Fehler der Zwischenphasenspannung UL12 bewirkt das Blinken der LEDs L1/A und L2/B.

Diese Funktion erlaubt eine schnelle visuelle Beurteilung, ob die Netzwerk-Parameter der Konfiguration des Analysators entsprechen.

2.6 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. Auf dem Display wird eine Sekunde lang die Meldung **OFF** ausgegeben.

Die Automatische Abschaltung des Analysators erfolgt auch nach dem vollständigen Entladen des Akkus. Eine solche Notabschaltung wird unabhängig von dem Modus, in dem sich das Gerät befindet, ausgeführt. Im Falle einer aktiven Aufzeichnung wird diese unterbrochen. Nach der Rückkehr der Versorgungsspannung wird die Aufzeichnung wieder fortgesetzt. Die Notabschaltung wird durch die Meldung **BATT** signalisiert.

3 Mess-Systeme

Der Analysator kann an folgende Netzwerke angeschlossen werden:

- Rys. 31-Phasen (Abb. 3)
- Rys. 42-Phasen (mit geteilter Wicklung des Transformators, eng. *splitphase*) (Abb. 4),
- Rys. 53-Phasen des Typs Stern mit neutraler Leitung (Abb. 5),
- Rys. 63-Phasen des Typs Stern ohne neutrale Leitung (Abb. 5),
- Rys. 73-Phasen des Typs Dreieck (Abb. 7).

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:

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

Rys. 8Rys. 9 Diese Methode kann in einem Dreieck-System (Abb. 8) und in einem Stern-System ohne neutrale Leitung (Abb. 9) verwendet werden.

Hinweis

Rys. 6Rys. 7Rys. 8Rys. 9Weil die Messkanäle der Spannung sich auf den Eingang N, in Systemen ohne neutrale Leitung, beziehen, ist es notwendig den Eingang N und L3 des Analysators zu verbinden (kurzzuschließen). Dies wurde auf der Abb. 6, Abb. 7, Abb. 8 und Abb. 9 (3-Phasen-Systeme des Typs Stern und Dreieck) dargestellt.

5.2.1Rys. 30 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 **Messung der Leitung N aktiviert wurde** (Siehe Punkt 5.2.1 und Abb. 30).

Hinweis

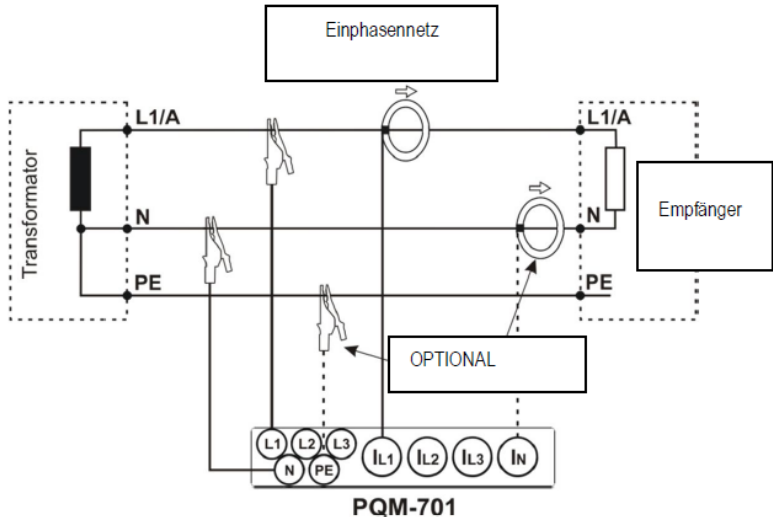
*Zur Berechnung der gesamten Scheinleistung S_e und des gesamten Leistungsfaktors PF in einem 3-Phasen-System mit 4 Leitungen, ist die Messung des Stromes der neutralen Leitung notwendig. In solch einem Fall sollte immer die Option **Messung der Leitung N** aktiviert sein und es sollten 4 Messzangen verwendet werden, siehe Abb. 5Abb. 5. Mehr Informationen darüber finden Sie in dem Abschnitt 9.7.5.*

5.2.1Rys. 30 Im Falle von Systemen mit verfügbaren PE- und N-Leitungen (Erdung und Nulleiter) kann auch die Messung der Spannung N-PE erfolgen. Zu diesem Zweck sollte die Leitung PE an den PE-Spannungseingang des Analysators angeschlossen werden. Zusätzlich muss in der Konfiguration des Messpunktes die Option **Spannung N-PE aktiviert sein** (Siehe Abschnitt 5.2.1 und Abb. 30).

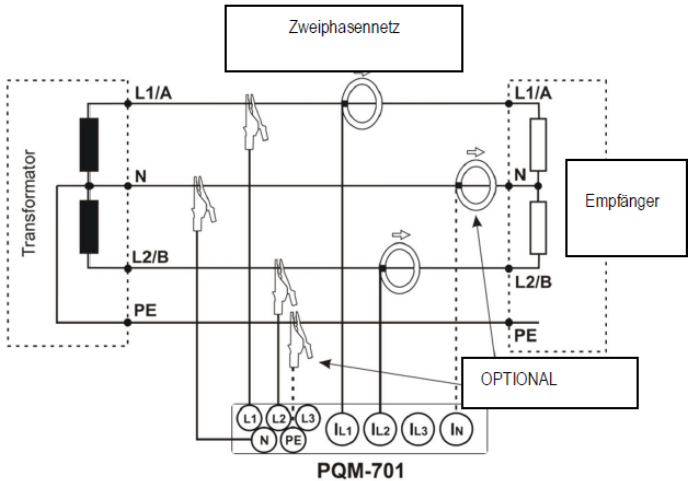
Beachten Sie die Richtung in der Sie die Zangen (flexible und harte) anschließen. Die Zangen müssen so montiert werden, dass der Pfeil auf den Zangen in Richtung der Belastung zeigt. Dies kann überprüft werden, indem eine Messung der Wirkleistung durchgeführt wird – in den meisten passiven Empfängern ist die Wirkleistung positiv. Falls die Zangen verkehrt angeschlossen wer-

den, ist es möglich die Polarisierung über die Software „Sonel Analysis“ umzukehren (siehe Abschnitt 5.4).

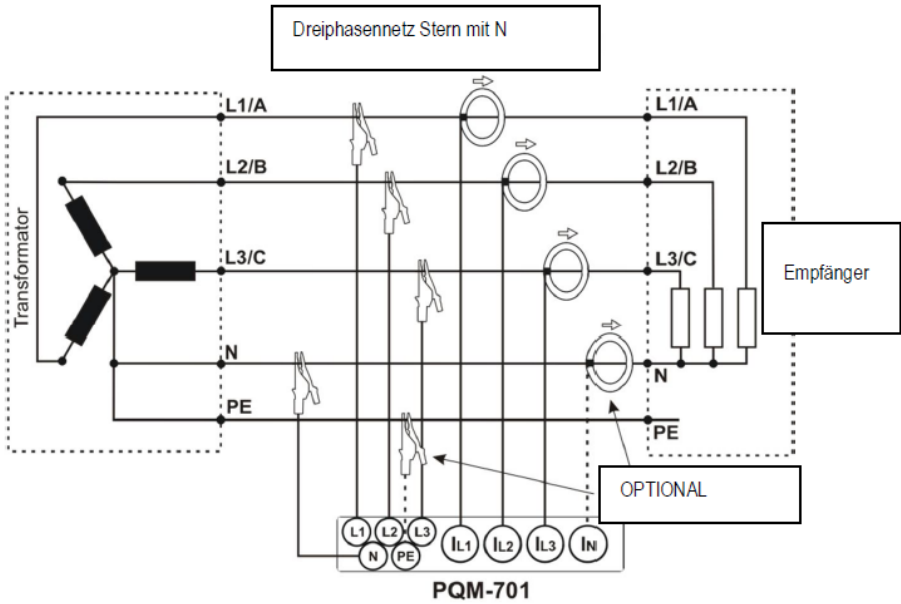
Die folgenden Abbildungen zeigen schematisch, wie ein Netzwerk-Analysator zum Test, abhängig vom Netz-Typ, angeschlossen werden sollte.



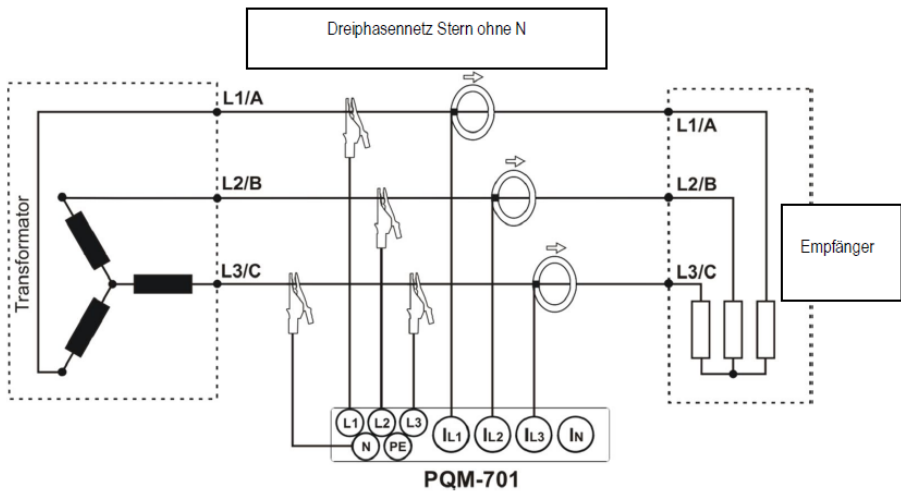
3Abb. 3. Anschlussschaltbild - 1-Phasen-System.



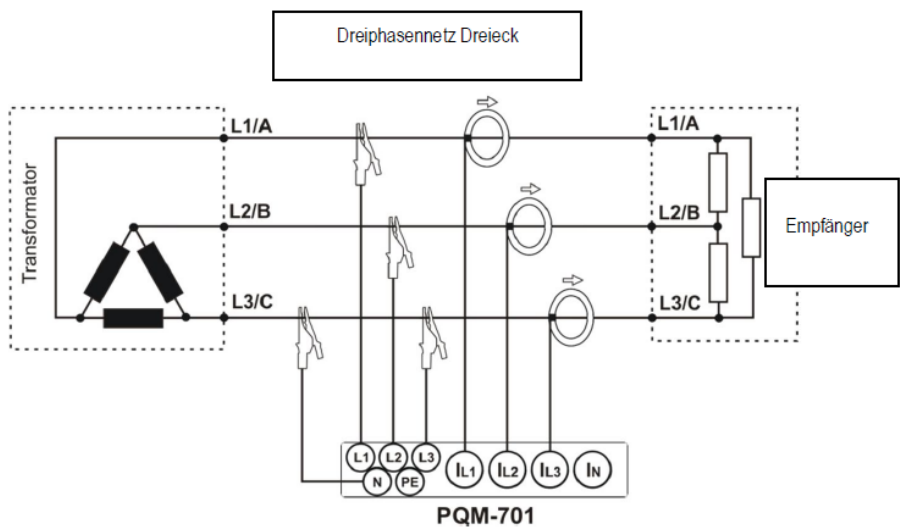
4Abb. 4. Anschlussschaltbild - 2-Phasen-System.



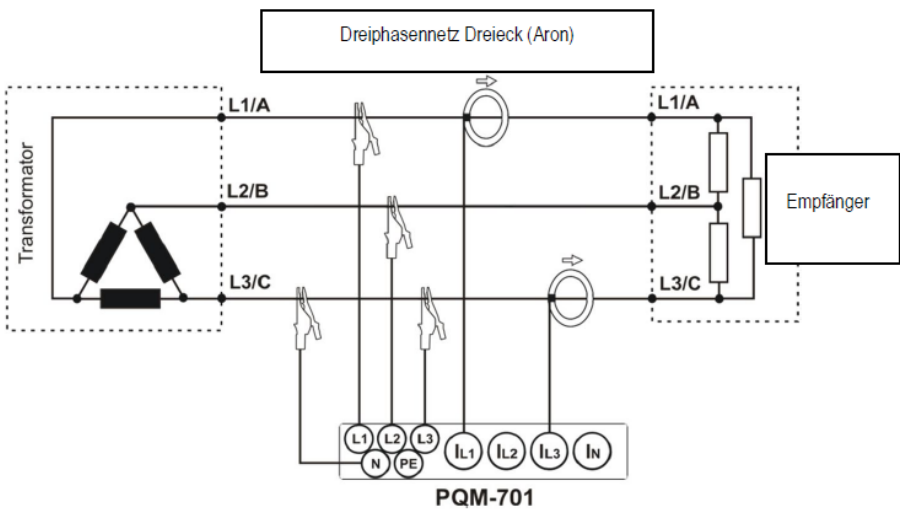
5Abb. 5. Anschlussschaltbild – 3-Phasen-Stern-System mit neutraler Leitung.



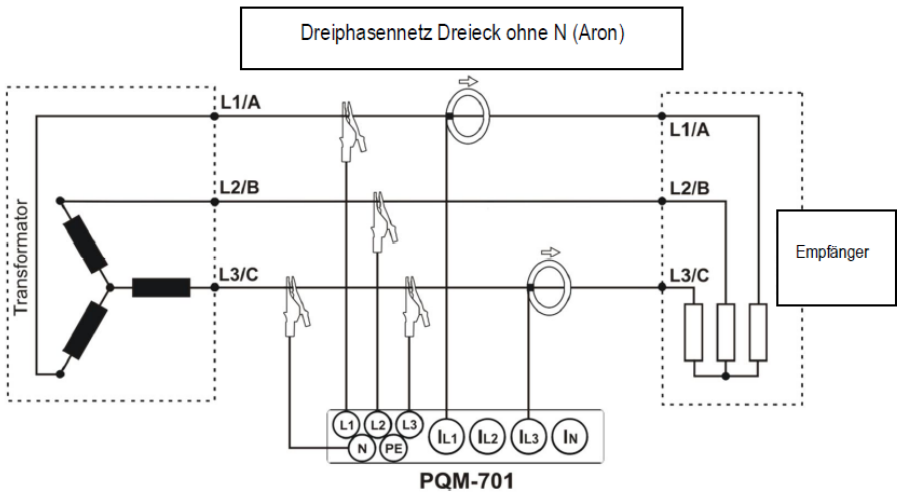
6Abb. 6. Anschlussschaltbild – 3-Phasen-Stern-System ohne neutraler Leitung.



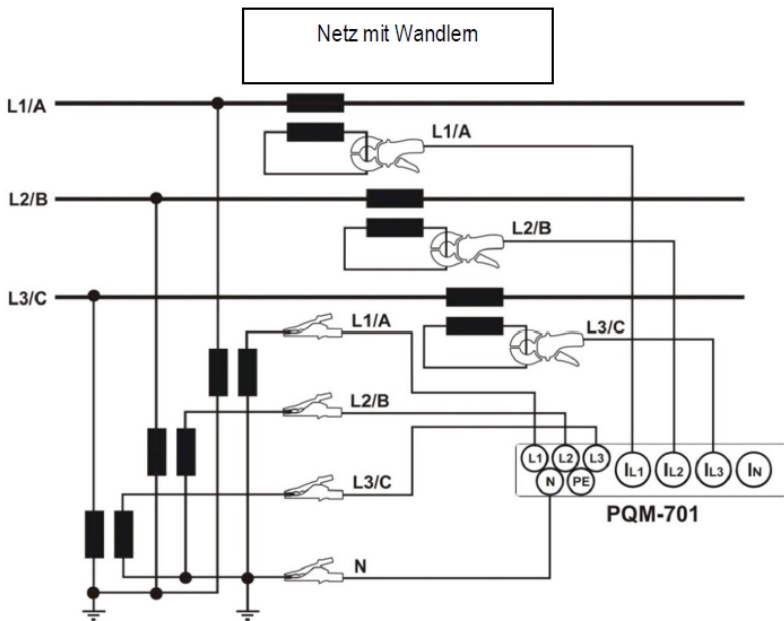
7Abb. 7. Anschlussschaltbild - 3-Phasen-Dreieck-System.



8Abb. 8. Anschlussschaltbild - 3-Phasen-Dreieck-System (Messung mit der Aron-Methode).



9Abb. 9. Anschlussschaltbild – 3-Phasen-Stern-System ohne neutraler Leitung (Messung mit der Aron-Methode).



10Abb. 10. Anschlussschaltbild - System mit Wandlern

4 Programm „Sonel Analysis“

Das Programm „Sonel Analysis“ ist eine notwendige Anwendung zur Arbeit mit dem Analysator PQM-701. 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) und andere benutzerdefinierte Bezugspunkte und Richtlinien,
- unabhängige Bedienung für mehrere Geräte
- Upgrade auf neuere Versionen über die Website.

4.1 Minimale Systemanforderungen

Tab. 5 In der Tabelle 5 wurden die minimale und die empfohlene Computerkonfiguration für die Zusammenarbeit mit dem Programm „Sonel Analysis“ aufgeführt.

Konfiguration	Minimale	Empfohlen
Prozessor	1GHz	Pentium IV 2,4 GHz
Arbeitsspeicher	512MB	2GB
Freier Speicherplatz auf Ihrer Festplatte	150MB	2GB
Grafikkarte	32MB, Auflösung 1024x768	64MB mit Unterstützung für OpenGL, 1024x768 Auflösung
USB-Anschluss	•	•
Internetzugang (für automatische Updates)		•
Betriebssystem	Windows XP, Windows Vista, Windows 7	

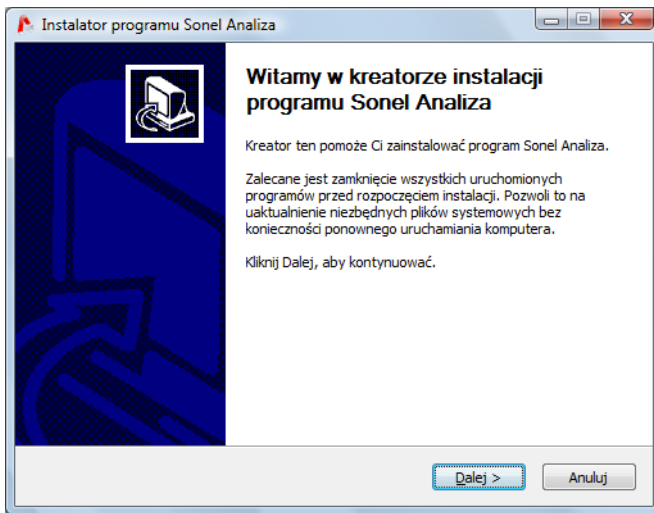
Tabelle 5. Minimale und empfohlene Konfiguration des Computers.

4.2 Installation

Hinweis

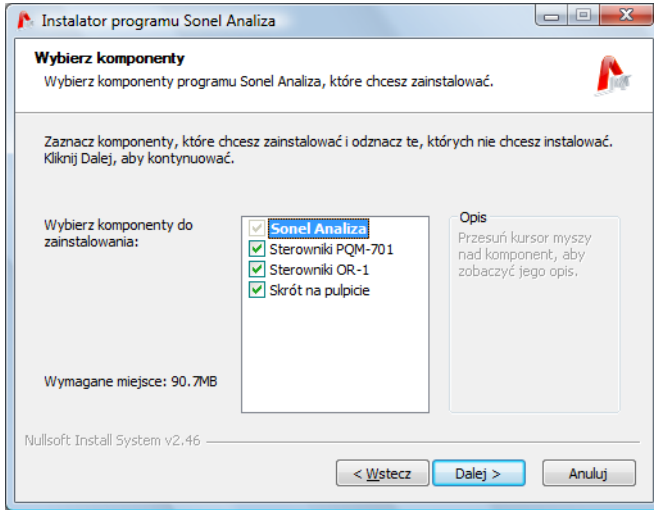
Um den Installationsvorgang der Treiber für den Analysator PQM-701 einfacher zu gestalten, wird empfohlen vor dem Anschluss des USB-Kabels das Programm „Sonel Analysis” zusammen mit den Treibern, die in dieser Anleitung erwähnt werden, zu installieren.

Um die Installation des Programms „Sonel Analysis” einzuleiten, müssen Sie die Installationsdatei starten (z.B. „Setup Sonel Analysis 1.0.0.exe”), die sich auf der zum Gerät beigefügten CD befindet.



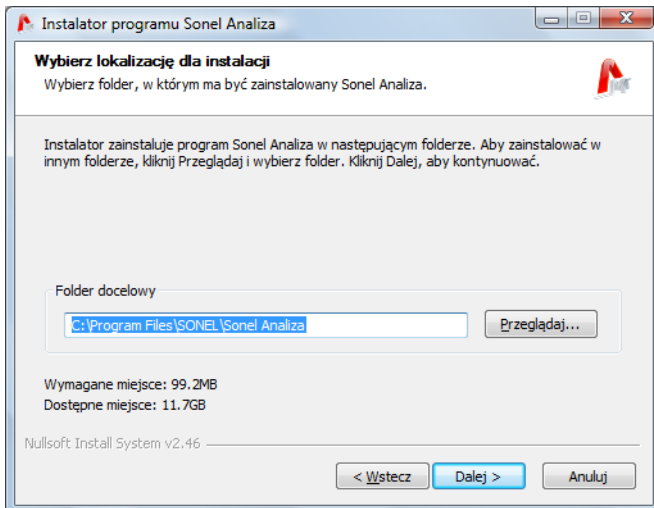
11Abb. 11. Setup - das Einstiegsbild.

Klicken Sie auf "Weiter>".



12Abb. 12. Setup - die Wahl der Komponenten.

Wählen Sie die Option "Treiber PQM-701", "Treiber OR-1" (wenn Sie ein Radio-Empfänger OR-1 verwenden wollen) und optional "Verknüpfung auf dem Desktop". Klicken Sie danach auf "Weiter>".

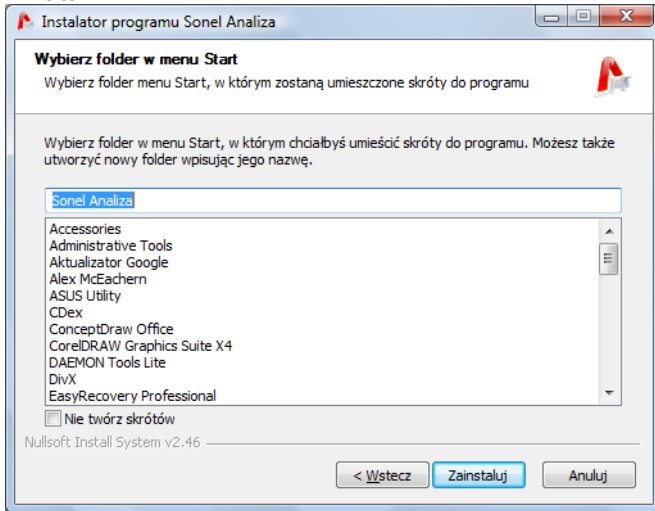


13Abb. 13. Setup - Pfad für die Installation des Programms wählen.

Wählen Sie den Pfad, unter dem das Programm installiert werden soll, indem Sie „Durchsuchen...“ wählen und danach den Pfad angeben oder die Standardeinstellung belassen.

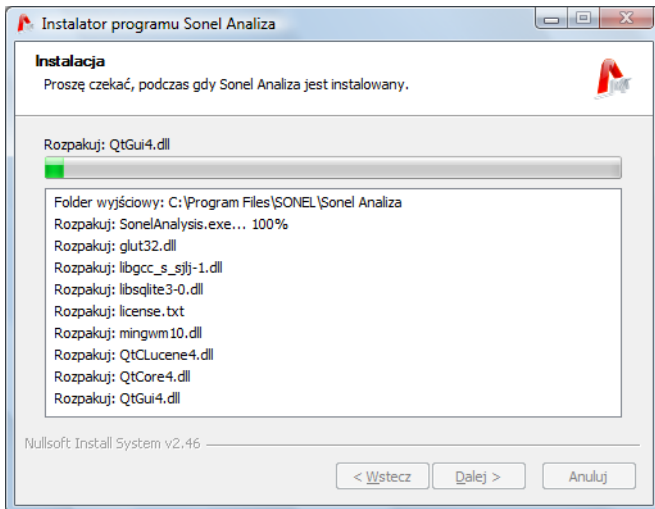
4Programm „Sonel Analysis”1 Allgemeine Angaben

Klicken Sie auf "Weiter>".



14Abb. 14. Setup - wählen Sie den Ordner im Startmenü.

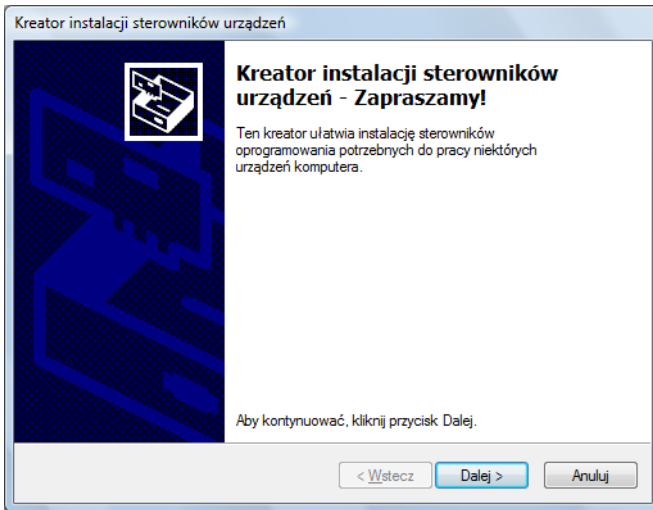
Der letzte Schritt ist die Wahl des Namens des Programms, der im Startmenü angezeigt wird. Der Installer ist bereit, das Programm zu installieren. Um die Installation zu starten, drücken Sie die "Installieren".



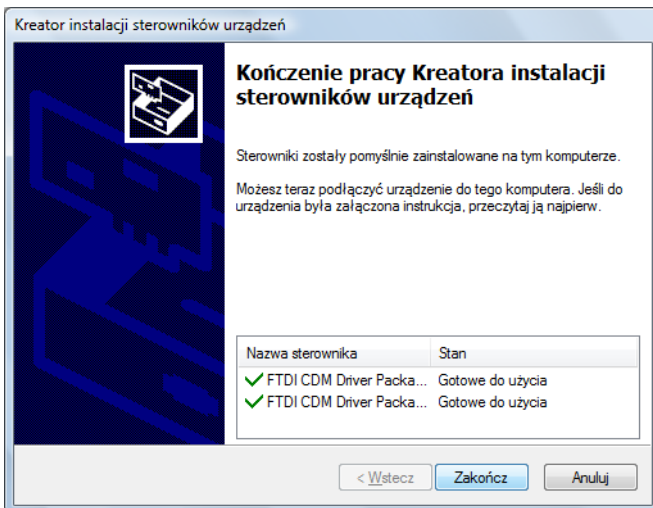
15Abb. 15. Installation des Programms.

Der letzte Teil des Programms installiert die Treiber (falls Sie diese Option gewählt haben). Abhängig von Ihrem Betriebssystem kann der Setup-Assistent etwas anders aussehen als auf

den Abbildungen gezeigt. Nachdem der Setup-Assistent für die Treiber auf dem Bildschirm erscheint, folgen Sie den Anweisungen des Systems. Für Windows XP wählen Sie "Software automatisch installieren (empfohlen)". Im Falle von Windows Vista und 7 müssen Sie lediglich die Option „Weiter>“ wählen, nach dem Abschluss der Installation schließen Sie den Assistenten mit der Taste „Beenden“ (Abb. 16Abb. 16, Abb. 17Abb. 17).

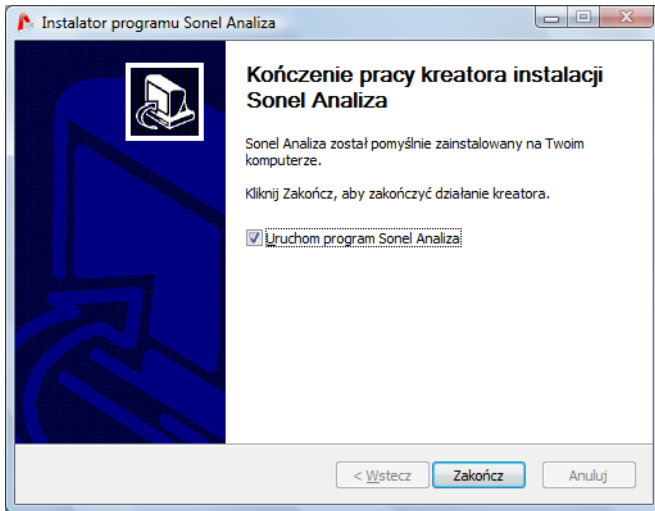


16Abb. 16. Setup - Setup-Assistent für die Treiber.



17Abb. 17. Setup – Installation der Treiber für das Gerät PQM-701 wurde abgeschlossen.

Am Ende der Installation der Software erscheint ein Fenster, wie auf der Abb. 18Abb. 18 gezeigt. Wenn Sie die Option „Sonel Analysis starten” gewählt haben, wird das Programm gestartet, nachdem Sie die Taste „Beenden” klicken.



18Abb. 18. Abschluss der Installation.

Sie können jetzt das Gerät PQM-701 an den Computer anschließen. Das System sollte das angeschlossene Gerät automatisch erkennen.

Wenn die Installation erfolgreich war, ist der Computer bereit mit Gerät PQM-701 zusammenzuarbeiten.

4.3 Starten des Programms

Rys. 19Nach dem Start des Programms erscheint ein Fenster wie auf der Abb. 19 gezeigt. Die Ikonen haben folgende Bedeutung (von links):

- **Öffnen** – abhängig vom Kontext ermöglicht dies das Abrufen der Konfiguration des Analysators, der gespeicherten Analyse oder Aufzeichnung,
- **Speichern** – je nach Kontext, können Sie Ihre Konfiguration des Analysators (bei der Bearbeitung der Dateien), Rohdaten oder Dateien der aktuellen Analyse (während der Analyse) speichern,
- **Konfiguration** - Konfigurationsmodul Analysator
- **Aktuelle Messwerte** – Ablesen der aktuellen Messwerte in Echtzeit,
- **Ablesung aus dem Analysator** – Modul zum Ablesen der Daten direkt aus dem Analysator und zur Datenanalyse,
- **Ablesung von der SD-Karte** – Modul zum Ablesen der Daten von der SD-Karte mithilfe eines Kartenlesers und zur Datenanalyse,
- **Trennen** – beendet die Kommunikation mit dem Analysator.

Datei-Erweiterungen die vom Programm Sonel Analysis unterstützt werden:

- *.settings - Konfigurationsdateien des Analysators
- *.config – Konfigurationsdateien des Programms Sonel Analysis,

- *.pqm701 – Dateien der Aufzeichnungsdaten,
- *.analysis – Analyse-Dateien.

Der Benutzer hat die Möglichkeit Befehle aus dem Hauptmenü, Ikonen oder mithilfe der Maus oder Tastaturkürzel (die Kürzel gelten für das gesamte Programm) zu wählen:

- STRG + K – Konfiguration des Analysators
- STRG + I - Zeit- und Sicherheitseinstellungen
- STRG + F - Einstellungen,
- STRG + L - Modus Ablesen der aktuellen Werte
- STRG + A - Daten aus dem Analysator ablesen
- STRG + D - Daten von einer SD-Karte ablesen,
- STRG + S - Speicherung der Analyse auf der Festplatte oder Vorschau der aktuellen Werte.

Nach dem Drücken auf das entsprechende Symbol oder der Wahl aus dem Hauptmenü oder der Verwendung einer Tastenkombination können Sie zu den entsprechenden Modulen, die unten beschrieben sind, gehen oder auf die Konfiguration der Parameter des Programms zugreifen.

Ratschlag

Der Benutzer kann zwischen der Bedienung mit der Maus oder über eine Tastatur (Windows Standardeinstellungen, ENTER – Wahl der Optionen, ESC – stornieren, TAB – zur nächsten Taste usw.).



Abb. 19. Der Hauptbildschirm.

4.4 Wahl des Analysators

Bevor eine Datenübertragung möglich ist, muss der entsprechende Analysator im Programm "Sonel Analysis" gewählt werden. Um eine Verbindung mit dem Analysator aufzubauen, muss eine Option, die eine aktive Verbindung mit Gerät ermöglicht, gewählt werden, z.B. Wahl der Ikone **Konfiguration**, **Aktuelle Ablesung** oder **Ablesung von dem Analysator**.

Rys. 20Nach Auswahl einer der Optionen, wenn zuvor keine aktive Verbindung zum Analysator bestand, erscheint das Fenster „Verbindung mit dem Analysator“ und das Programm beginnt nach verfügbaren Analysatoren zu suchen (siehe Abb. 20). Die Analysatoren werden über Kabel (USB) und Funkverbindung (wenn Ihr PC an einen Funk-Empfänger OR-1 angeschlossen ist) gesucht.

Nach einer erfolgreichen Suche, werden die verfügbaren Analysatoren angezeigt. Das Modell, die Seriennummer des Analysators und die Art der Verbindung werden angezeigt. Durch anklicken des gewählten Analysators und drücken der Ikone **Auswahl** wird die Wahl des jeweiligen Analysators aus der Liste bestätigt. Der Analysator kann auch durch einen Doppelklick auf dessen Feld ausgewählt werden. Durch Drücken der Ikone **Erneut Scannen** wird erneut nach einem Analysator gesucht.

Nach der Auswahl eines Analysators fordert das Programm Sie auf einen PIN-Code einzugeben, der vor unbefugtem Zugriff schützt. Die PIN besteht aus drei Nummern 0...9. Die Standard-PIN ist 000.

Hinweis

Nachdem der PIN-Code dreimal falsch eingegeben wird, wird die Datenübertragung für 10 Minuten gesperrt.

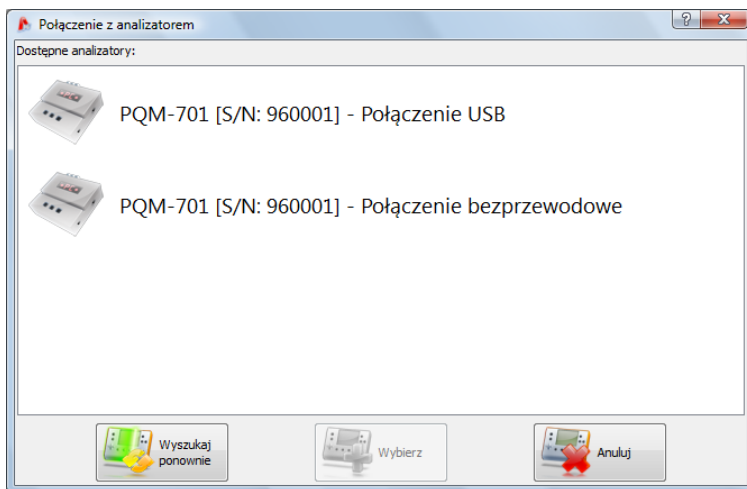


Abb. 20. Das Dialogfeld zur Auswahl des Analysators, zu dem eine Verbindung aufgebaut werden soll.

Anmerkungen

- Die Funkverbindung ist nur möglich wenn Sie zuvor das Gerät via USB verbinden, den richtigen PIN-Code eingeben und die Option „PIN speichern“ wählen (siehe Abb. 21/Abb. 21). Der Analysator wird dann in der Analysatoren-Datenbank gespeichert. Nur Geräte die in der Analysatoren-Datenbank gespeichert sind, können während der Funk-Suche als verfügbare Geräte angezeigt werden.
- Die Eintragung in das Register der Datenbank erfolgt u.a. durch Eintragung der Seriennummer des Analysators, die einzigartig für jedes Exemplar ist. Basierend auf dieser Zahl, filtert das Programm die Analysatoren (z.B. im Bereich der Funk-Verbindung) aus, die nicht zu dieser Software-Kopie gehören.

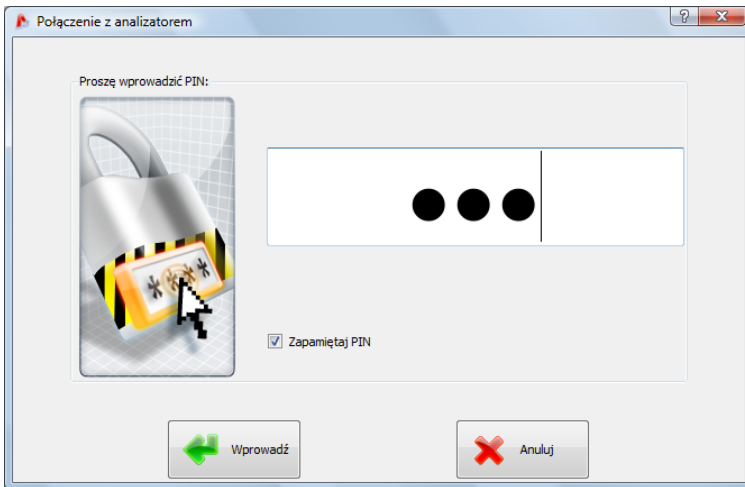


Abb. 21. Die Überprüfung der PIN.

Rys. 22 In dem Autorisierungsfenster kann die Optionen „PIN speichern“ markiert werden, wodurch für das Gerät mit der jeweiligen Seriennummer mit dem Entsprechenden PIN-Code verknüpft wird, sodass bei erneuter Verbindung keine PIN mehr eingegeben werden muss (die Seriennummer und das Modell des Analysators wird automatisch zur Analysatoren-Datenbank hinzugefügt). Nach erfolgreicher Verbindung, sollten Sie ein Fenster sehen, das die erfolgreiche Verbindung bestätigt, wie auf Abb. 22 gezeigt. Auf dem Bildschirm werden die Daten des Analysators angegeben, wie z.B. Seriennummer, Softwareversion (Firmwareversion) und die Nummer des Geräts.

Rys. 21 Falls das automatische Einloggen nicht gelingt, wird erneut das Fenster, wie auf Abb. 21 gezeigt, aufgerufen.

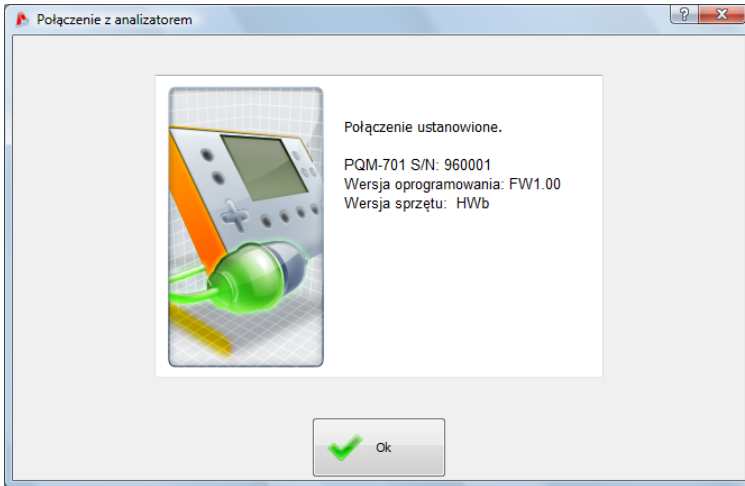


Abb. 22. Erfolgreiche Verbindung zum Analysator.

Rys. 23 Wenn eine falsche PIN eingegeben wird, wird eine Meldung (Abb. 23) ausgegeben.

Hinweis

Falls die Datenübertragung nach 3-facher Eingabe einer falschen PIN blockiert wird, erscheint bei erneutem Versuch einer Verbindung mit dem Analysator die Meldung „Übertragung aufgrund ungültiger PIN gesperrt!“

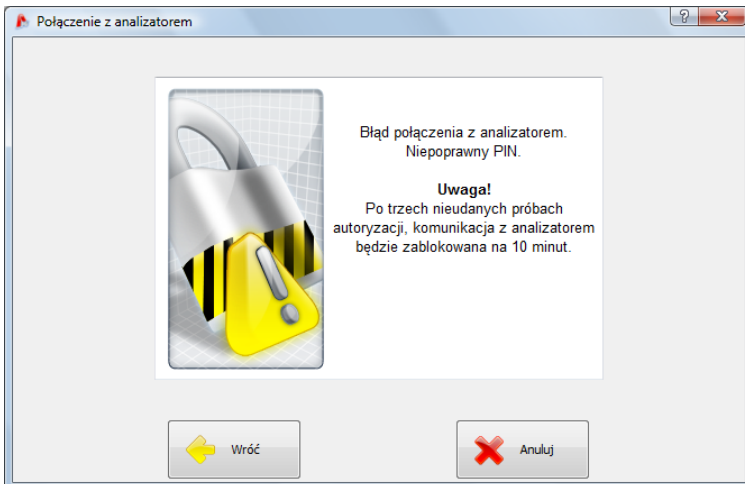


Abb. 23. Ungültige PIN.

Wenn die Verbindung mit dem Analysator wegen einer anderen Ursache, als die Angabe einer falschen PIN, fehlschlägt, wird eine Fehlermeldung ausgegeben. Es kann ein erneuter Versuch unternommen werden, indem die Taste **Suche wiederholen** gedrückt wird, oder zum Dialogfeld zur Wahl des Analysators zurückgegangen wird, um ein anderes Gerät zu wählen oder erneut nach Analysatoren zu suchen.

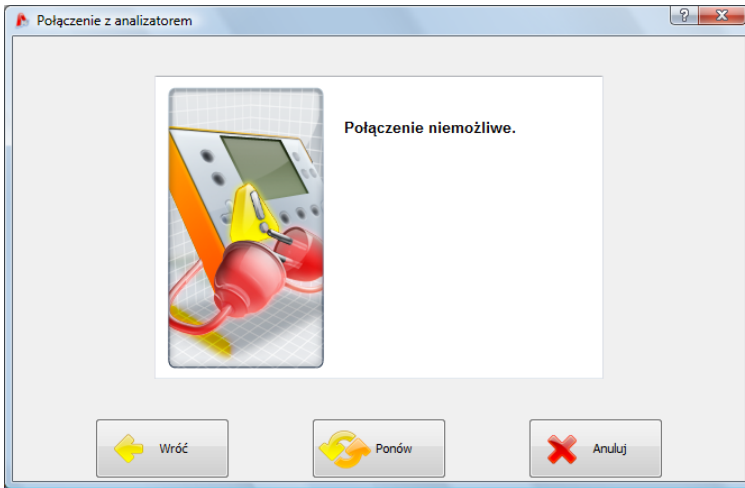


Abb. 24. Verbindung zum Analysator fehlgeschlagen.

Rys. 25 Falls während der Verbindung der Analysator ausgeschaltet wird, die USB-Verbindung unterbrochen wird oder die Anwendung aus anderen Gründen keine Rückmeldung vom Gerät erhalten wird, erscheint eine Meldung (Abb. 25).

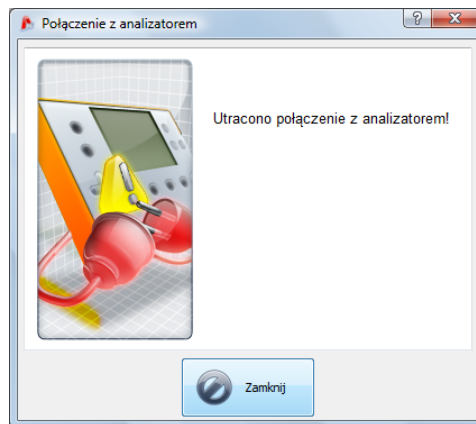
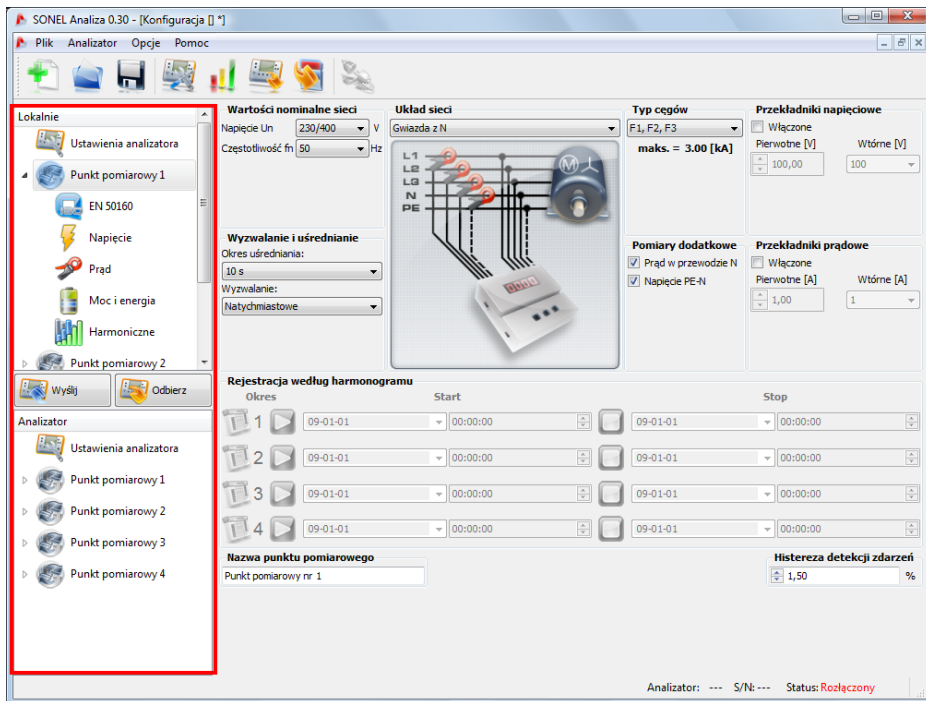


Abb. 25 Verbindung unterbrochen.

5 Konfiguration des Analysators

Nach der Auswahl aus dem Hauptmenü der Option **Analyzer** → **Einstellungen** (oder durch klicken der Ikone) wird ein Dialogfeld zur Konfiguration der Messungen, wie auf Abb. 26Abb. 26 gezeigt, aufgerufen. Dies ist der wichtigste Teil der Konfiguration des Analysators. An dieser Stelle entscheidet der Benutzer darüber, welche Parameter aufgezeichnet werden sollen, über den Typ des Netzes und Nenn-Parameter.

Der Linke Teil des Bildschirms ist in zwei Teile unterteilt (Abb. 26Abb. 26) **Lokal** und **Analyzer**. Der obere Teil (**Lokal**) dient zur Modifizierung der Parameter durch den Benutzer, der untere (**Analyzer**) beinhaltet die aktuellen Einstellungen des Analysators und dient nur zum Ablesen. Jeder dieser Teile wird unterteilt in **Messpunkte** und **Speichereinstellungen**.



26Abb. 26. Konfiguration der Messpunkte - Drop-Down-Menü.

Jeder der vier Messpunkte steht für eine unabhängige Messungskonfiguration des Geräts. Bei der Konfiguration des Messpunktes, kann der Benutzer die Art des Netzes, die Nennspannung, Frequenz, Art der Zangen, Aufzeichnungsparameter und Ereigniserkennung einstellen.

Der Analysator zeigt den aktiven Messpunkt über eine der vier grünen LEDs, über dem alphanumerischen Display, an.

Die Ikonen neben dem Messpunkt können in verschiedenen Farben erscheinen:

- Grau bedeutet, dass keine Verbindung zum Analysator besteht,
- Grün zeigt an, dass die aktuelle Konfiguration mit der Konfiguration des Analysators und mit der auf der Festplatte gespeicherten Konfiguration synchronisiert ist,

- Blau zeigt an, dass die aktuelle Konfiguration mit dem Analysator übereinstimmt, aber sich von der Konfiguration, die auf der Festplatte gespeichert ist, unterscheidet,
- Gelb - wenn die Konfiguration mit dem Analysator nicht übereinstimmt, aber mit der Konfiguration auf der Festplatte übereinstimmt,
- Rot wird angezeigt, wenn die aktuelle Konfiguration sich sowohl von der Konfiguration des Analysators, als auch von der, die auf der Festplatte gespeichert ist, unterscheidet.

Die Taste **Empfangen** ermöglicht das Ablesen der Einstellungen des Analysators, um sie im Computer zu bearbeiten. Wenn die Einstellungen zuvor durch den Benutzer verändert wurden, erscheint eine Warnmeldung. Die richtige Ablesung wird auch durch eine entsprechende Meldung bestätigt. An dieser Stelle ändern alle Ikonen im Drop-Down-Menü mit den Messpunkten die Farbe und werden blau, was bedeutet, dass die Einstellungen der Software mit den Einstellungen des Analysators übereinstimmen.

Rys. 27 Die Taste **Senden** ermöglicht das Senden der Konfiguration an den Analysator. Vor dem Senden der Konfiguration, wird der Benutzer aufgefordert die Aktion zu bestätigen (Abb. 27).

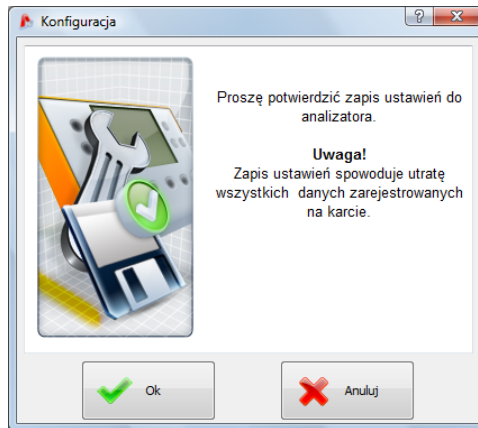


Abb. 27. Bestätigung der Speicherung der Konfiguration.

Hinweis

Durch die Speicherung einer neuen Konfiguration werden alle Daten auf der Speicherkarte gelöscht. Der Benutzer sollte die zuvor gesammelten Daten von dem Analysator ablesen und sie auf der Festplatte des PCs speichern.

Hinweis

Rys. 28 Die Speicherung einer neuen Konfiguration im Analysator ist nicht möglich, wenn der Analysator im Aufzeichnung-Modus betrieben wird (der Benutzer wird darüber über eine entsprechende Meldung benachrichtigt - Abb. 28).

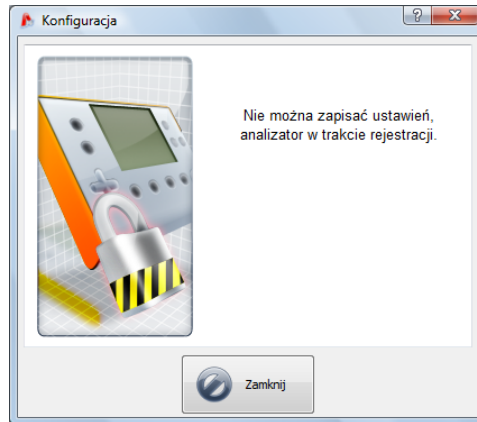


Abb. 28. Programmierung gesperrt.

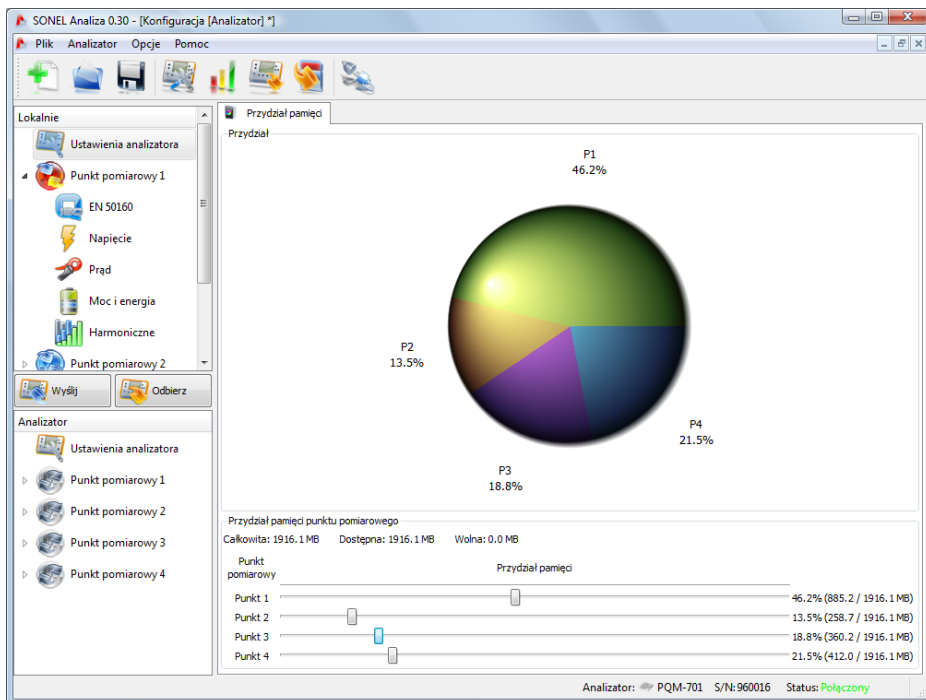
5.1 Einstellungen des Speichers

Das erste Element der Konfiguration im linken Teil des Fensters sind die **Speichereinstellungen**. Dieser Teil ermöglicht die Zuweisung des Speicherplatzes auf der SD-Karte für die jeweiligen Messpunkte. Die vier Schieberegler definieren die Größe des zugewiesenen Speichers, der für einen gegebenen Punkt (in MB und %) zugewiesen werden soll. Im mittleren Teil wird eine Visualisierung der Speicherzuweisung präsentiert. Der gesamte freie Speicherplatz auf der Karte (100%) kann beliebig zwischen den vier Messpunkten aufgeteilt werden.

Es ist möglich 100% nur einer Messstelle zuzuweisen, die Aufzeichnung in den übrigen Messpunkten wird dann unmöglich, es kann nur eine Vorschau der aktuellen Daten des Netzwerks vorgenommen werden.

Alle Messpunkte werden auf lineare Art gespeichert und wenn der Speicher für den gegebenen Messpunkt voll ist, wird die Aufzeichnung gestoppt.

Bitte beachten Sie, dass eine Änderung der Speicherzuweisung das Löschen der Daten, die sich auf der SD-Karte befinden, erfordert, somit wird empfohlen die Daten vorher abzulesen und sie auf der Festplatte des PCs zu speichern.



29Abb. 29. Dialogfenster der Speicherzuweisung

5.2 Konfiguration des Messpunktes

Das Drop-Down-Menü des Messpunktes kann durch einfaches Klicken auf die Box mit dem "+" Zeichen oder durch Doppelklick auf die Messstelle ausgefahren werden. Durch Markierung (durch Anklicken) des gegebenen Messpunktes werden die Haupteinstellungen des Messpunktes im rechten Teil des Bildschirms aufgerufen.

Nachdem das Drop-Down-Menü des Messpunktes ausgefahren wurde, wird die Liste wie folgt angezeigt:

- **EN 50160** – Datenblatt mit den Einstellungen für die Aufzeichnung nach EN 50160
- **Spannung** – Einstellung der Parameter für die Spannung
- **Strom** – Einstellung der Parameter für den Strom
- **Leistung und Energie** – Parameter der Leistung und Energie
- **Oberwellen** – Parameter der Oberwellen

Unten wurden wie folgt der Bildschirm der Haupteinstellungen und die einzelnen Karten beschrieben.

5.2.1 Allgemeine Einstellungen

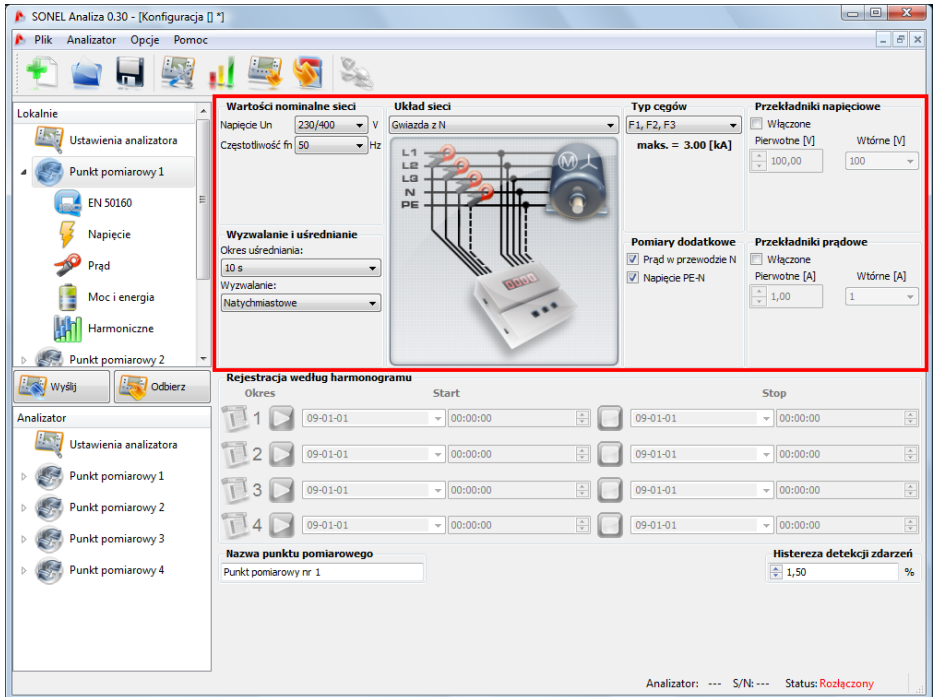
Der Bildschirm der Haupteinstellungen des Messpunktes wurde auf der Abb. 30Abb. 30 gezeigt. Es können befinden sich dort mehrere Abschnitte: im oberen Teil wurden die Einstellungen des Netzes gruppiert, unten befindet sich der Teil der die Aufzeichnung gemäß des Zeitplans und

5Konfiguration des Analysators 1 Allgemeine Angaben

der Zeitabschnitte betrifft. Zusätzlich, kann an dieser Stelle der eigene Name des Messpunkts zugeschrieben werden und die Hysterese, die zur Erkennung der Ereignisse dient.

Rys. 30

Im oberen Teil (Abb. 30):



30Abb. 30. werden die Einstellungen der Netzart, der Nennparameter des Netzes und Messwandler bestimmt.

- **Netz Nennwerte:** Spannungen 110/190V, 115/200V, 220/380V, 230/400V, 240/415V, 400/690V (phasen-/zwischenphasen-, abhängig von der Netzart),
- Netzfrequenz - 50 oder 60Hz,
- **Netzform** – 1-Phasen, 2-Phasen (*Split-phase*), Stern mit N, Dreieck, Stern ohne N, und Aron-Messsysteme; im Feld unter dem Namen wird die Verbindung für die gewählte Art dargestellt,
- **Stromzangenmodell** – zeigt die Art der Stromzangen an, die für die Messung benutzt werden. Es können die Zangen C-4, C-5, C-6 oder die flexiblen Zangen F-1/F-2/F-3 gewählt werden. Falls keine Strommessung erforderlich ist, kann die Option **Keine** gewählt werden.
- **Spannungswandler** - die Bestimmung eines Spannungswandlers, wenn falls zutreffend. Einstellung der Primärspannung (Bereich 1..999999V) und sekundären Spannung, die aus den Standardwerten 100V, 110V, 115V, 120V gewählt werden kann. Nachdem die Option der Spannungswandler eingeschaltet wurde, wird das Feld **Spannung Un** erweitert; die neue Nennspannung wird der Wert, der sich auf der Primärseite des Wandlers befindet.
- **Stromwandler** – ermöglicht die Bestimmung des Stromwandlers. Der Messbereich der ausgewählten Zangen kann durch die Anwendung externer Stromwandler erweitert werden. Der Strom der Primärseite kann im Bereich 1..99999A eingestellt werden, der Strom der sekundären Seite auf 1A oder 5A. Der resultierende Messbereich (maximaler Strom der

Primärseite, der Nennbereich der verwendeten Zangen nicht überschreitet) wird unter der Auswahlliste der Zangen angezeigt.

- **Zusätzliche Messungen** – zusätzliche Optionsfelder ermöglichen die Bestimmung, wie ob zusätzliche Parameter gemessen werden sollen, wie z.B. der Strom in der neutralen Leitung (mithilfe des vierten Zangenpaares, wenn die Netzart die richtige ist) und die Spannung N-PE (für Netze die eine separate N- und PE-Leitung haben). Bitte beachten Sie, dass der Analysator diese Parameter nicht messen wird, wenn die Option hier nicht markiert wird.
- **Mittelungszeitraum** der Messungen – dieses Feld erlaubt den grundlegenden Mittelungszeitraum zu bestimmen. Verfügbare Zeiten: halbe Periode (Sonder-Modus, Speicherung nur der momentanen Werte von Spannung und Strom), 200ms, 1s, 3s, 5s, 10s, 15s, 30s, 1min, 3min, 5min, 10min, 15min, 30min, 60min, 120min,
- **Auslösen der Aufzeichnung** – dies erlaubt den Modus der Auslösung der Aufzeichnung wählen:
 - sofortige Messung nach Betätigung der Taste **START/STOP**,
 - Messung nach Zeitplan – nachdem die Taste **START/STOP** gedrückt wurde, wird das Messgerät die aktuelle Zeit mit den Zeitspannen im Zeitplan vergleichen und dementsprechend die Aufzeichnung auslösen oder anhalten,
 - Messung nach Überschreitung eines beliebigen Schwellenwerts für ein aktives Ereignis – nach Drücken der Taste **START/STOP** wird das Messgerät das Netz analysieren und auf die Überschreitung eines beliebigen Parameters, der die Aufzeichnung auslöst.

Hinweis

Wenn der Benutzer in der Registerkarte EN 50160 die Option der Messung gemäß dieser Norm markiert hat, wird das eine Mittelungszeit von 10 Minuten einstellen und die Listen der Auswahl der Mittelungszeit werden blockiert. Um diese Einstellungen zu ändern, müssen Sie die Option der Aufzeichnung gemäß der erwähnten Norm deaktivieren.

Rys. 31Im unteren Teil des Bildschirms wird (Abb. 31):

- **die Aufzeichnung nach Zeitplan eingestellt** – es können 4 Zeitabstände gewählt werden. Nach der Wahl des entsprechenden Zeitraums, durch Anklicken des grünen Pfeils, muss das Datum und die Uhrzeit des Beginns und optional des Abschlusses der Aufzeichnung angegeben werden. Wenn der Benutzer den Start, aber nicht den Abschluss der Aufzeichnung einstellt, wird die Aufzeichnung bis zum Drücken der Taste **START/STOP** oder bis zum Füllen des Speichers fortgeführt. Die Zeitspannen müssen separat von einander sein - das Programm lässt es nicht zu, dass sich die Zeitspannen überlappen. Die jeweiligen Zeiten müssen in chronologischer Reihenfolge eingestellt sein.
- **Name des Messpunktes** – der Benutzer kann dem Messpunkt einen eigenen Namen zuschreiben; der Name darf maximal 32 Zeichen beinhalten,
- **Hysterese der Ereigniserkennung** – bezeichnet die Größe der Hysterese, die bei der Bestimmung der Schwellenwerte für die Ereigniserkennung verwendet wird. Sie kann in einem Bereich von 0,0...10,0% eingestellt werden, in 0,5% Schritten. Eine typische Größe der Hysterese beträgt 2%. Mehr darüber erfahren Sie in dem Abschnitt über die Ereigniserkennung (9.10 und 9.11).

5Konfiguracja des Analysators1 Allgemeine Angaben

SONEL Analiza 0.30 - [Konfiguracja]

Plik Analizator Opcje Pomoc

Lokalnie

- Ustawienia analizatora
- Punkt pomiarowy 1
 - EN 50160
 - Napięcie
 - Prąd
 - Moc i energia
 - Harmoniczne
- Punkt pomiarowy 2

Wyślij Odbierz

Analizator

- Ustawienia analizatora
- Punkt pomiarowy 1
- Punkt pomiarowy 2
- Punkt pomiarowy 3
- Punkt pomiarowy 4

Wartości nominalne sieci

Napięcie Un: 230/400 V
Częstotliwość fn: 50 Hz

Układ sieci

Gwiazda z N

Typ cęgów

F1, F2, F3
maks. = 3.00 [kA]

Przekładniki napięciowe

Włączone
Pierwotne [V]: 100,00
Wtórne [V]: 100

Pomiary dodatkowe

☒ Prąd w przewodzie N
☒ Napięcie PE-N

Przekładniki prądowe

Włączone
Pierwotne [A]: 1,00
Wtórne [A]: 1

Wyzwalanie i uśrednianie

Okres uśredniania: 10 s
Wyzwalanie: Natychmiastowe

Rejestracja według harmonogramu

Okres	Start	Stop
1	09-01-01 00:00:00	09-01-01 00:00:00
2	09-01-01 00:00:00	09-01-01 00:00:00
3	09-01-01 00:00:00	09-01-01 00:00:00
4	09-01-01 00:00:00	09-01-01 00:00:00

Nazwa punktu pomiarowego: Punkt pomiarowy nr 1

Histeresa detekcji zdarzeń: 1,50 %

Analizator: --- S/Nb --- Status: Rozłączony

31Abb. 31. Zusätzlich.

5.2.2 Einstellungen nach EN 50160

Nach der Wahl der Position „**EN 50160**“ aus dem Drop-Down-Menü, hat der Benutzer die Möglichkeit einer schnellen Konfiguration des gewählten Messpunktes für die Aufzeichnung der Parameter der Energiequalität gemäß der europäischen Norm EN 50160. Diese Norm bezeichnet die Parameter und Qualitätskriterien, die durch die Nieder- und Mittelspannungs-Vertriebsnetze erfüllt werden sollten.

Die Standardmessdauer eines Netzes nach dieser Norm beträgt eine Woche. Gemessen wird der effektive Wert der Spannung, der Frequenz, Verzerrungsfaktor der Oberwellen, Stufen der jeweiligen Oberwellen in der Spannung, Unsymmetrie (in 3-Phasen-Netzen), Flimmerfaktor (eng. *flicker*). Weil während einer Woche eine Menge Daten gesammelt werden kann, hat man sich für Algorithmen entschieden, die einen Durchschnittswert anzeigen. Alle Parameter, die einer Bewertung unterliegen, außer der Frequenz und des Langzeit-Flimmerfaktors, werden in einer Zeitspanne von 10 Minuten zusammengefasst. Somit erhält der Benutzer für den Zeitraum einer Woche 1008 Werte für jeden dieser Parameter. Diese Werte werden danach mit den Kriterien, die in der Norm bestimmt wurden, verglichen.

Wenn sich alle Parameter in den bestimmten Schwellenwerten befinden, kann angenommen werden, dass das Netz die Norm EN 50160 erfüllt.

Die Tabelle 6 Tabelle 6 beinhaltet die aktuellen Kriterien der Messungen gemäß EN 50160 in Netzen mit einer Spannung von 35kV. Diese Einstellungen werden durch Auswahl der Standard-einstellungen für „**Nieder- und Mittelspannungs-Netzwerke**“ eingestellt.

Parameter	Die grundlegende Messzeit	Kriterium																																						
Langsame Spannungsänderungen (effektiver Spannungswert)	10 Minuten	für 95% der Messungen sollte die Abweichung von der Nennspannung ca. $\pm 10\%$ U_{nom} betragen für 100% der Messungen: $-15\%...+10\%$ U_{nom} (das Kriterium 100% gilt nur für nn-Netze)																																						
Frequenz	120 Sekunden	für 99,5% der Messungen sollte sich die Abweichung im Rahmen von $\pm 1\%$ f_{nom} befinden (für 50Hz entspricht das 49,5...50,5Hz) für 100% der Messungen: $-6\%...+4\%$ f_{nom} (47...52Hz)																																						
Schnelle Spannungsänderungen (Flimmern des Lichts - Flicker)	2 Stunden	für 95% der Messungen Langzeitflickerfaktor $P_{it} \leq 1$																																						
Spannungsunsymmetrie	10 Minuten	für 95% der Messungen sollte der Unsymmetriefaktor der Komponente $\leq 2\%$ sein																																						
Gesamte harmonische Verzerrung (THD-F)	10 Minuten	Für 95% der Messungen sollte THD-F $\leq 8\%$ sein																																						
Oberwellen der Spannung	10 Minuten	Für 95% der Messungen sollte der Pegel jeder Oberwelle der Spannung im Bezug zur grundlegenden Komponente kleiner sein als: <table><tr><th colspan="2">Oberwellen ungerader Ordnung</th><th colspan="2">Oberwellen geradzahli-ger Ordnung</th></tr><tr><th>Ordnung</th><th>Relatives Niveau</th><th>Ordnung</th><th>Relatives Niveau</th></tr><tr><td>3</td><td>5,0 %</td><td>2</td><td>2,0 %</td></tr><tr><td>5</td><td>6,0 %</td><td>4</td><td>1,0 %</td></tr><tr><td>7</td><td>5,0 %</td><td>6 ... 24</td><td>0,5 %</td></tr><tr><td>9</td><td>1,5 %</td><td colspan="2" rowspan="8"></td></tr><tr><td>11</td><td>3,5 %</td></tr><tr><td>13</td><td>3,0 %</td></tr><tr><td>15</td><td>0,5 %</td></tr><tr><td>17</td><td>2,0 %</td></tr><tr><td>19</td><td>1,5 %</td></tr><tr><td>21</td><td>0,5 %</td></tr><tr><td>23</td><td>1,5 %</td></tr></table>	Oberwellen ungerader Ordnung		Oberwellen geradzahli-ger Ordnung		Ordnung	Relatives Niveau	Ordnung	Relatives Niveau	3	5,0 %	2	2,0 %	5	6,0 %	4	1,0 %	7	5,0 %	6 ... 24	0,5 %	9	1,5 %			11	3,5 %	13	3,0 %	15	0,5 %	17	2,0 %	19	1,5 %	21	0,5 %	23	1,5 %
Oberwellen ungerader Ordnung		Oberwellen geradzahli-ger Ordnung																																						
Ordnung	Relatives Niveau	Ordnung	Relatives Niveau																																					
3	5,0 %	2	2,0 %																																					
5	6,0 %	4	1,0 %																																					
7	5,0 %	6 ... 24	0,5 %																																					
9	1,5 %																																							
11	3,5 %																																							
13	3,0 %																																							
15	0,5 %																																							
17	2,0 %																																							
19	1,5 %																																							
21	0,5 %																																							
23	1,5 %																																							

		25	1,5 %	
--	--	----	-------	--

6Tabelle 6. Kriterien der Netzqualität nach EN 50160 für Netzwerke mit einer Spannung bis 35kV.

Die Tabelle 7Die Tabelle 7 hingegen beinhaltet die Kriterien, die in der Verordnung des Wirtschaftsministers vom 4. Mai 2007, über die detaillierten Bedingungen für den Betrieb eines Stromnetzes angegeben wurden, für die Gruppen I und II. Diese Kriterien gelten nach Laden der Standardeinstellungen „**Hochspannungsnetzwerke**“.

Parameter	Die grundlegende Messzeit	Kriterium																																										
Langsame Spannungsänderungen (effektiver Spannungswert)	10 Minuten	<u>Netzwerk mit einer Nennspannung von 110kV:</u> für 95% der Messungen sollte die Abweichung von der Nennspannung ca. $\pm 10\%$ U_{nom} betragen <u>Netzwerk mit einer Nennspannung von 220kV:</u> für 95% der Messungen sollte die Abweichung von der Nennspannung ca. $-10\%...+5\%$ U_{nom} betragen																																										
Frequenz	10 Sekunden	für 99,5% der Messungen sollte sich die Abweichung im Rahmen von $\pm 1\%$ f_{nom} befinden (für 50Hz entspricht das 49,5...50,5Hz) für 100% der Messungen: $-6\%...+4\%$ f_{nom} (47...52Hz)																																										
Schnelle Spannungsänderungen (Flimmern des Lichts - Flicker)	2 Stunden	für 95% der Messungen Langzeitflickerfaktor $P_{lt} \leq 0,8$																																										
Spannungsunsymmetrie	10 Minuten	für 95% der Messungen sollte der Unsymmetriefaktor der Komponente $\leq 1\%$ sein																																										
Gesamte harmonische Verzerrung (THD-F)	10 Minuten	Für 95% der Messungen sollte THD-F $\leq 3\%$ sein																																										
Oberwellen der Spannung	10 Minuten	Für 95% der Messungen sollte der Pegel jeder Oberwelle der Spannung im Bezug zur grundlegenden Komponente kleiner sein als: <table><thead><tr><th colspan="2">Oberwelle ungerader Ordnung</th><th colspan="2">Oberwelle geradzahli-ger Ordnung</th></tr><tr><th>Ordnung</th><th>Relatives Niveau</th><th>Ordnung</th><th>Relatives Niveau</th></tr></thead><tbody><tr><td>3</td><td>2,0 %</td><td>2</td><td>1,5 %</td></tr><tr><td>5</td><td>2,0 %</td><td>4</td><td>1,0 %</td></tr><tr><td>7</td><td>2,0 %</td><td>>4</td><td>0,5 %</td></tr><tr><td>9</td><td>1,0 %</td><td rowspan="10"></td><td></td></tr><tr><td>11</td><td>1,5 %</td></tr><tr><td>13</td><td>1,5 %</td></tr><tr><td>15</td><td>0,5 %</td></tr><tr><td>17</td><td>1,0 %</td></tr><tr><td>19</td><td>1,0 %</td></tr><tr><td>21</td><td>0,5 %</td></tr><tr><td>23</td><td>0,7 %</td></tr><tr><td>25</td><td>0,7 %</td></tr><tr><td>>25</td><td>0,2+0,5-25/h %</td></tr></tbody></table>	Oberwelle ungerader Ordnung		Oberwelle geradzahli-ger Ordnung		Ordnung	Relatives Niveau	Ordnung	Relatives Niveau	3	2,0 %	2	1,5 %	5	2,0 %	4	1,0 %	7	2,0 %	>4	0,5 %	9	1,0 %			11	1,5 %	13	1,5 %	15	0,5 %	17	1,0 %	19	1,0 %	21	0,5 %	23	0,7 %	25	0,7 %	>25	0,2+0,5-25/h %
Oberwelle ungerader Ordnung		Oberwelle geradzahli-ger Ordnung																																										
Ordnung	Relatives Niveau	Ordnung	Relatives Niveau																																									
3	2,0 %	2	1,5 %																																									
5	2,0 %	4	1,0 %																																									
7	2,0 %	>4	0,5 %																																									
9	1,0 %																																											
11	1,5 %																																											
13	1,5 %																																											
15	0,5 %																																											
17	1,0 %																																											
19	1,0 %																																											
21	0,5 %																																											
23	0,7 %																																											
25	0,7 %																																											
>25	0,2+0,5-25/h %																																											

7Tabelle 7. Qualitätskriterien für Netzwerke mit einer Nennspannung von mehr oder gleich 110kV (gemäß der Verordnung des Wirtschaftsministers vom 4. Mai 2007, über die detaillierten Bedingungen für den Betrieb eines Stromnetzes).

Beispiel

Nennspannung 230 V, Frequenz 50 Hz, Messzeit 1 Woche.

Aus den 1008 Mittelwerten der effektiven Spannung, müssen 95%, also 958, sich im Bereich 207V...253V befinden.

Alle Messungen der effektiven Spannung müssen sich im Bereich 195,5V...253V befinden.

Während einer Woche werden 60480 10-Sekunden lange Messungen der Frequenz vorgenommen. 99,5% von ihnen, also 60178, muss sich im Bereich 49,5...50,5Hz befinden. Alle Messungen müssen im Frequenzbereich 47 ... 52Hz befinden.

Der Analysator wird folgendermaßen für eine Messung nach Norm konfiguriert. Auf dem Hauptbildschirm zur Konfiguration des Messpunktes muss der entsprechende Typ des Netzes eingestellt werden, die Nennspannung, Frequenz, Art der Zangen, eventuell die richtigen Messwandler gewählt werden.

Gehen Sie danach zum Teil **EN 50160**. In der Registerkarte **Grund** muss die Option „**Aufzeichnung freigegeben nach Norm**“ gewählt werden. Dies stellt eine Mittelungszeit von 10 Minuten ein und die Parameter, die aufgezeichnet werden sollen, werden aus dem Teil **EN 50160** übernommen. Weitere Optionen im Drop-Down-Menü: **Spannung, Strom, Leistung und Energie, Oberwellen**, sind für den Benutzer nicht verfügbar und der Analysator wird die dort eingestellten Parameter nicht Berücksichtigen.

Klicken Sie danach eine der Tasten für die Standardeinstellungen für die Norm gemäß der Anforderungen des Benutzers (für Nieder- Mittelspannungsnetze 35kV, oder für Hochspannungsnetz). An dieser Stelle wird das Programm die Standardeinstellungen für die Registerkarte **EN 50160** laden. Der Anwender kann die Aufzeichnung-Parameter in allen 3 Registerkarten (**Grund, Oberwellen, Ereignisse**) überprüfen.

Nach der Konfigurierung kann die Aufzeichnung über die Software oder durch Drücken der Taste **START/STOP** eingeleitet werden.

Der Benutzer hat die Möglichkeit der Bearbeitung der Einstellungen in den Registerkarten **Grund, Oberwellen, Ereignisse** auch nachdem die Standardeinstellungen geladen wurden. Dies kann nützlich sein, wenn die Kriterien, die in der Norm EN 50160 enthalten sind, sich ändern. Der Benutzer kann dadurch selbst die Einstellungen korrigieren, ohne das Programm **Sonel Analysis** aktualisieren zu müssen.

Obwohl die Norm PN-EN 50160 keine Strommessung oder die Messung der damit verbundenen Parameter vorsieht, ermöglicht der Analysator, aufgrund der häufigen Notwendigkeit der Messung von 15-Minutenlangen Mittelwerten der Leistung und $\text{tg}\varphi$ (dies ergibt sich aus den Bestimmungen der genannten Verordnung des Wirtschaftsministers), die gleichzeitige Messung des Netzes auf Übereinstimmung mit der Norm PN-EN 50160 und der 15-minütigen Mittelwerte der Wirk-, Blind- und Scheinleistung und $\text{tg}\varphi$. Um die Aufzeichnung dieser Parameter zu aktivieren, muss außer Wahl der Option „**Aufzeichnung freigegeben nach Norm**“ die Strommessung aktiviert werden, durch Auswahl der entsprechenden Stromzangen und eventuell müssen die Parameter der Wandler eingestellt werden.

Grund

Auf diesem Bildschirm können Sie die Bewertungskriterien einstellen für:

- Netzfrequenz – Toleranzen, die die zulässigen Abweichungen definieren, als Prozentsatz des Werts der Nennfrequenz und der Zeitlimit der Messzeit für die erste Toleranz (z.B. 99,5% der Woche und $\pm 1\% f_n$),
- Langsame Spannungsänderungen – effektive Spannung; zwei Toleranzen, die die zulässigen Abweichungen definieren, als Prozentsatz des Werts der Nennfrequenz und der Zeitlimit der Messzeit für die erste Toleranz (z.B. 95% der Woche und $\pm 10\% U_n$),
- Unsymmetriefaktor der Spannung – Zeitlimit für die Messung des Schwellenwerts,
- Langzeitflcker Indikator P_{It} – Zeitlimit der Messung und Schwellenwert.

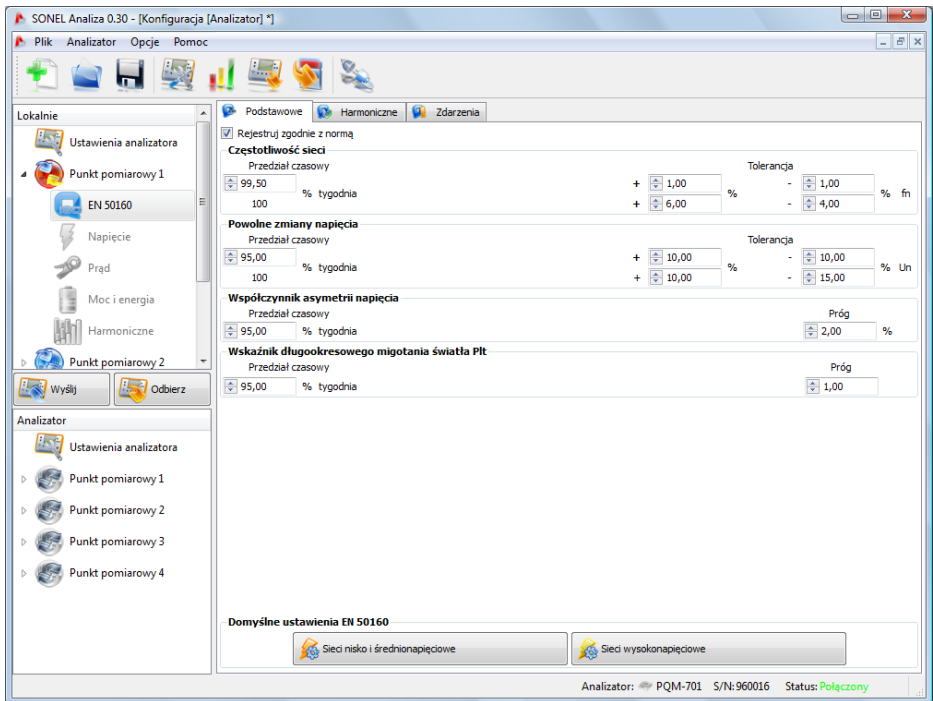


Abb. 32. Aufzeichnung nach EN 50160 - Grund.

Im unteren Teil wurden die Tasten für die Standardeinstellungen für Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetze platziert.

Ein wichtiger Teil dieses Bildschirms ist die Option **Aufzeichnung freigegeben nach Norm**. Die Markierung ist notwendig, um den Analysator in den Modus der Aufzeichnung gemäß der Parameter-Einstellungen, die in der Registerkarte **EN 50160** gewählt wurden, zu stellen. Andernfalls wird der Analysator die Aufzeichnung entsprechend der Parameter des Messpunktes, die in den

Registerkarten **Spannung, Strom, Leistung und Energie, Oberwellen** gewählt wurden, vornehmen.

Oberwellen

Rys. 33 Das Display wird auf der Abb. 33 gezeigt. Sie können hier die Grenzwerte für das Verhältnis der Oberwellen (THD) und die Amplitudengrenze der Oberwellen einstellen.

Die Amplitudengrenze der einzelnen Oberwellen können auf zwei Arten eingestellt werden: durch Ausfüllen der Tabelle unter dem Diagramm, oder direkt auf dem Diagramm.

Wenn Sie die Tabelle ausfüllen, werden die Werte nach der Bestätigung der Änderungen sichtbar.

Um die Amplitudengrenze zu ändern, klicken Sie zwei Mal auf die entsprechende Oberwelle und stellen Sie dann bei gedrückter linker Maustaste den gewünschten Wert ein. Nach der Wahl der Oberwelle können auch folgende Tasten verwendet werden:

- LEERZEICHEN – Bearbeitungs-Modus der jeweiligen Oberwellen,
- ENTER – Bestätigung der Werte,
- TAB – Bestätigung der Werte und zur nächsten Oberwelle,
- Die Pfeile NACH OBEN und NACH UNTEN – Änderung der Amplitudengrenze,
- Die Pfeile NACH LINKS und NACH RECHTS – vorherige oder nächste Oberwelle,
- PAGE UP und PAGE DOWN – minimaler oder maximaler Wert,
- HOME und END – erste oder letzte Oberwelle.

Hinweis

Der THD-Wert und der Wert der Oberwelle wird auf die grundlegende Komponente bezogen.

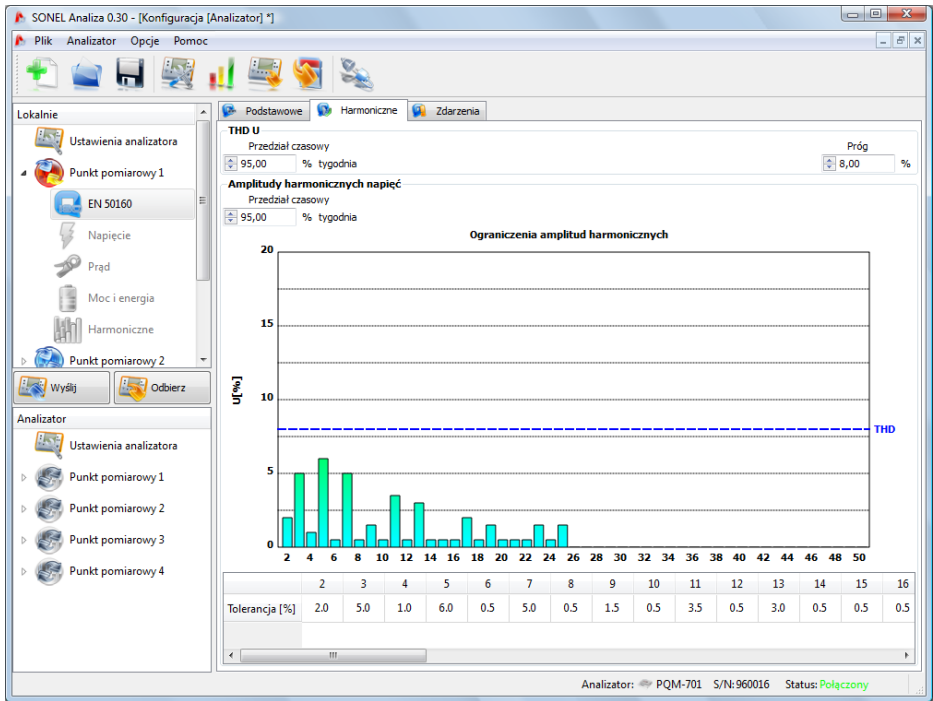


Abb. 33. Aufzeichnung nach EN 50160 - Einstellungen der Oberwellen.

Ereignisse

Rys. 34 Auf der Abb. 34 wird das Display der Einstellungen der Ereignisse für die Aufzeichnung nach EN 50160 gezeigt.

Folgende Parameter können hier eingestellt werden:

- Schwellenwerte der Überspannungen (Swells), Spannungseinbrüche (Dips) und Unterbrechungen (Interruptions). Diese Schwellenwerte werden als Prozentsatz der Nennspannung angegeben, der zu dem Nennwert hinzugefügt werden muss.
Beispielsweise, bedeutet eine Überspannungstoleranz von +10% U_n , dass für die Spannung $U_n=230V$, die Überspannungsschwelle $U_{\text{Überspannung}} = 230 + 23 V = 253V$ beträgt.
Eine Unterbrechungstoleranz von -99% U_n bedeutet, dass ein Ereignis erkannt wird, wenn die Spannung geringer oder gleich ist mit $U_{\text{Unterbrechung}} = 230 - 227,7V = 2,3V$.
- Aufzeichnung der Oszillogramme am Anfang und am Ende der jeweiligen Ereignisse. Sie kann für jede der 3 Arten der Ereignisse separat eingestellt werden.
- Schwelle einer kurzzeitigen / langzeitigen Unterbrechung. Dieser Wert wird bei der Einstufung der Ereignisse von Stromversorgungsunterbrechungen verwendet.

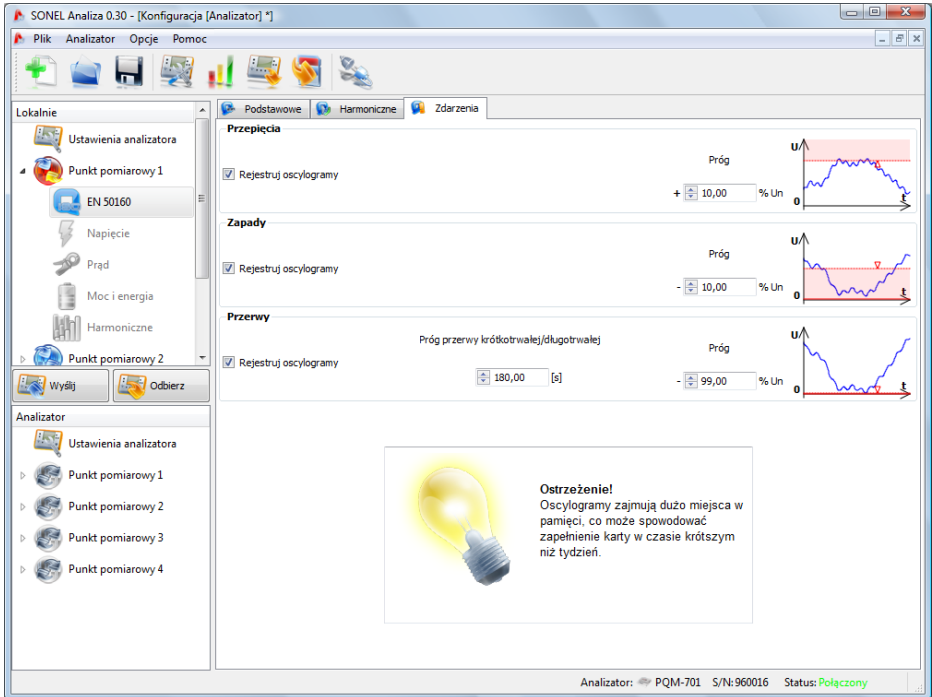


Abb. 34. Aufzeichnung nach EN 50160 - Einstellungen der Ereignisse.

Anmerkungen

- Der Wert des Spannungseinbruchs kann nicht niedriger als der Wert der Unterbrechung sein.
- Der Nennwert der Spannung wird aus den Haupteinstellungen des Messpunktes entnommen (Nennwerte des Netzes)
- Oszillogramme beanspruchen relativ viel Platz auf der Speicherkarte, was eine vorzeitige Füllung des Speicherplatzes des jeweiligen Messpunktes zur Folge haben kann.

Benutzerkonfiguration

Außer der Aufzeichnung nach EN 50160 bietet der Analysator eine flexiblere Messung gemäß der Benutzereinstellungen. In diesem Modus ist es möglich, genau zu bestimmen, welche Netz-

werk-Parameter aufgezeichnet werden sollen, welche eine Erkennung eines Ereignisses auslösen (Triggern), wie lang die Mittelzeit ist und viele andere. Im Gegensatz zu der Aufzeichnung nach EN 50160, wo nur ein Paar Netzwerk-Parameter definiert und gespeichert sind, bietet der Benutzermodus viel mehr Möglichkeiten. Für die Benutzereinstellungen sind vier Konfigurationszweige des Messpunktes verantwortlich: **Spannung, Strom, Leistung und Energie, Oberwellen**.

Die Umschaltung in den Benutzermodus erfolgt nach Deaktivierung der Option **EN 50160 – Grund: Aufzeichnung freigegeben nach Norm**.

Hinweis

*Im Benutzermodus werden die Einstellungen der Registerkarte **EN 50160** ignoriert.*

In den meisten Fällen können die Einstellungen für den jeweiligen Parameter in den Teil der periodischen Aufzeichnung des Parameterwerts gemäß der eingestellten Mittelungszeit und in den Teil der Ereigniserkennung aufgeteilt werden.

Es kann die Aufzeichnung des Mittel-, Mindest-, Maximal- oder Momentwerts eingestellt werden. Für die Spannungen und den Strom kann eine zusätzliche Mittelungszeit bestimmt werden, die bei der Erkennung der minimalen und maximalen Werte verwendet wird. Zur Erläuterung möchten wir auf ein Beispiel zurückgreifen.

Beispiel

Die allgemeine Mittelungszeit beträgt 1 Minute, der Zeitraum zur Bestimmung der min./max. Spannung beträgt hingegen 5 Sekunden. Es wurde die Aufzeichnung aller vier Werte markiert, d.h. des Mittel-, Minimal-, Maximal- und Momentwerts.

Frage: Wie werden diese ermittelten Werte bestimmt und was wird auf der Speicherkarte gespeichert?

$$U_{sr} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k U_i^2}{k}}$$
 1. Der Durchschnittswert wird als RMS-Durchschnitt der 10/12-Perioden-Messungen (ca. 200ms) bestimmt. Es wird ca. 300 solcher Messungen geben. Der Durchschnittswert der Spannung wird als die Wurzel aus dem arithmetischen Durchschnittswert der Eingabe-Größen hoch zwei berechnet:

wobei:

U_{sr} – effektiver Durchschnittswert der Spannung aus einer Minute,

k – Anzahl der 10/12-Perioden-Werte,

U_i – effektive Spannung der 10/12-Perioden-Werte.

2. Die min./max. Mittelung gleich 5 Sekunden bedeutet, dass zuerst die 25 aufeinander folgenden U_i -Werte gemittelt werden (ähnlich wie oben beschrieben). Aus allen 5-sekündigen Mittelwerten, die innerhalb 1 Minute gesammelt wurden, werden die maximalen und minimalen Werte ausgewählt. Beide Werte werden gespeichert.

3. Der Momentwert ist der letzte periodische (10/12) Wert der Spannung, die während der 1-minütigen Mittelungszeit gemessen wurde. Dieser Wert wird auch in der Karte gespeichert werden.

Für die meisten Parameter können Sie die Erkennung von Ereignissen einschalten. Als ein Ereignis verstehen wir eine Situation, in der der gemessene Wert den Schwellenwert oder -werte, die der Benutzer eingestellt hat, überschreitet. Abhängig vom Parameter kann es nur einen Schwellenwert (z.B. für den Unsymmetriefaktor der gegenteiligen Komponente - Überschreitung des Maximalwerts), zwei Schwellenwerte (z.B. für die Frequenz - Überschreitung des oberen und unteren Limits), im Falle der Spannung drei Schwellenwerte (Überschreitung der Überspannungsschwelle, der Spannungseinbruchsschwelle und der Unterbrechungsschwelle).

Die Information über das Ereignis wird auf der SD-Karte nach Abschluss des Ereignisses gespeichert. Folgende Informationen werden dann gespeichert:

- Startzeit,
- Endzeit des Ereignisses,
- Schwellenwert,
- Grenzwert des Parameters während des Ereignisses,
- Durchschnittswert des Parameters während des Ereignisses.

Falls die Aufzeichnung während eines Ereignisses unterbrochen wurde, wird die Information darüber auch gespeichert, jedoch werden dann nur folgende Parameter gespeichert:

- Startzeit,
- Schwellenwert,
- Grenzwert des Parameters bis zur Unterbrechung der Aufzeichnung.

Für zwei Parameter: effektive Spannung und Strom, die Oszillogramm-Aufzeichnung kann eingeschaltet werden am Anfang und Ende des Ereignisses. Es werden 6 Zeitabläufe gespeichert: 2 vor dem Ereignis und 4 danach.

5.2.3 Spannung

Der Zweig **Spannung** wurde in zwei Registerkarten unterteilt: **Grund** und **Zusätzlich**.

Grund

Rys. 35 Auf der Abb. 35 wurden die Grundeinstellungen für die Aufzeichnung der Spannung gezeigt. Abhängig von der Art des Netzwerks beziehen sich die Einstellungen auf die Phasenspannungen (Systeme: Einphasen-, Zweiphasen-, Dreiphasen-Vierleiterstromnetz) oder die Leiter-spannung (Dreiphasen-Dreileiter-System).

Standardmäßig kann hier die Aufzeichnung des Durchschnittswerts (**Durchschnitt**), des Mindestwerts (**Min**), und des Maximalwerts (**Max**), als auch des Momentwerts (**Momentan**) der effektiven Spannung eingestellt werden. Die Option **Alles** wählt alle oder entfernt sie alle.

Die Messung des Minimal- und Maximalwerts wird zusätzlich unter Berücksichtigung der Mittelungszeit, die der Benutzer bestimmt hat, durchgeführt (Option **Bestimmungszeitraum min./max.**). Verfügbare Mittelungszeiten: ½ Zeitraum, Zeitraum, 200ms, 1s, 3 oder 5s.

Hinweis

Die Mittelungszeiten 200ms, 1, 3 und 5 Sekunden werden in Wirklichkeit in der Multiplizität des Grundzeitraums des Netzes ausgedrückt:

- 200ms – 10/12 des Zeitraums (50/60Hz)
- 1 Sekunde - 50/60 des Zeitraums
- 3 Sekunden - 150/180 des Zeitraums
- 5 Sekunden - 250/300 des Zeitraums

5 Konfiguration des Analysators 1 Allgemeine Angaben

Für Systeme mit Phasenspannungen (Zwei- und Dreiphasen mit Nulleiter N) gibt es eine zusätzliche Option zur Aufzeichnung des effektiven Wertes der Leiterspannung. In diesem Fall wird nur der Durchschnittswert aufgezeichnet.

Die Option **Aufzeichnung der Wellenformen nach jeder Durchschnittsperiode** bewirkt die Aufzeichnung von drei Spannungszeiträumen nach jedem Mittelungszeitraum (z.B. alle 10 Minuten).

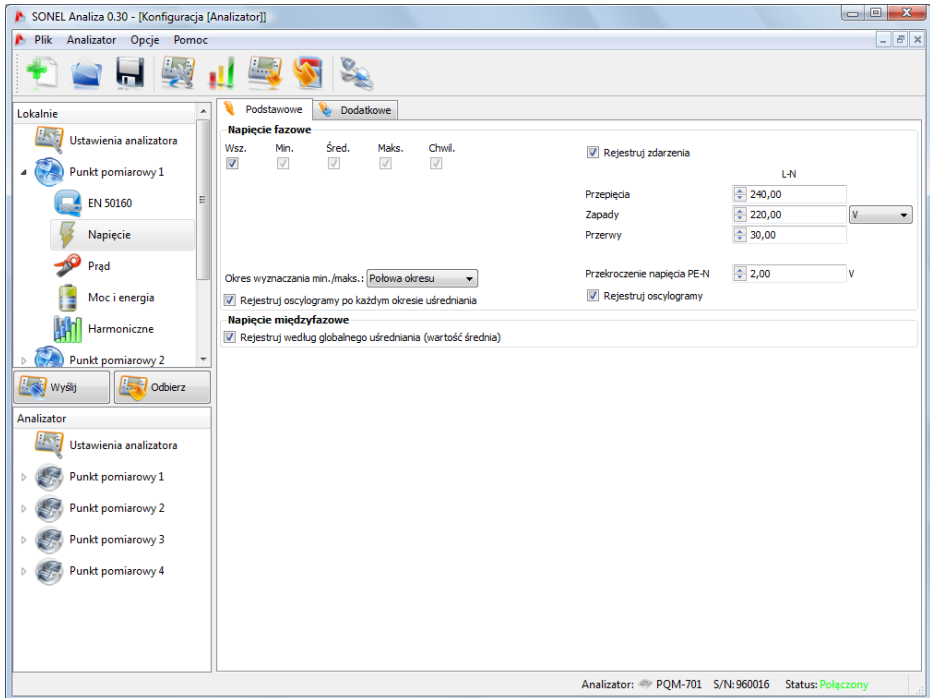


Abb. 35. Grundeinstellungen für die Messung der Spannung.

Auf der rechten Seite befindet sich ein Teil bezüglich der Ereignisse.

Nachdem Sie die Option **Ereignisse aufzeichnen** aktivieren, erscheinen die Felder zur Eingabe der Schwellenwerte der Spannung. Sie können entweder in Prozentsätzen oder in Basisgrößen angegeben werden.

Einstellbereiche sind wie folgt:

- Überspannung (Swells): 0,0...+20,0% mit einer Auflösung von 0,1% oder in Volt in demselben Bereich,
- Spannungseinbruch (Dips): 0,0...-99,9% mit einer Auflösung von 0,1% oder in Volt,
- Unterbrechungen (Interruptions): 0,0...-100,0% mit einer Auflösung von 0,1% oder in Volt bis 0,0V (der Spannungseinbruch darf nicht geringer als die Unterbrechung sein).

Für Netzwerke mit einem Nulleiter können Sie auch den maximalen Schwellenwert der Spannung N-PE einstellen. Ein Überschreiten dieser Schwelle wird das Ereignis auslösen.

Das Umschalten zwischen den Prozentsätzen der Schwellenwerte und dem Absolutwert der Spannung bewirkt eine automatische Umrechnung in die ausgewählte Einheit.

Hinweis

Wenn der Benutzer, nachdem die Schwellenwerte der Ereignisse eingestellt wurden, die Nennspannung des Netzes ändert, bleiben die Schwellenwerte, die in Prozentsätzen ausgedrückt sind auf derselben Stufe.

Nachdem die Option Aufzeichnung der Wellenformen markiert wurde, wird der Analysator 6 Zeiträume mit dem Spannungs- und Stromverlauf ab Anfang bis Ende des Ereignisses speichern.

Zusätzlich

In dieser Registerkarte (siehe Abb. 36. Zusätzliche Einstellungen für die Messung der Spannung. Abb. 36. Zusätzliche Einstellungen für die Messung der Spannung. Abb. 36. Zusätzliche Einstellungen für die Messung der Spannung. Abb. 36) werden die Parameter für die Aufzeichnung der Netz-Frequenz, des Scheitelfaktors, Flickerindex und der Spannungsunsymmetrie bestimmt. Ähnlich wie bei anderen Parametern, kann die Aufzeichnung der Mittel-, Minimal-, Maximal- und Momentwerte gewählt werden.

Rechts eine Aufstellung der Einstellungen für die Ereignisse. Einstellungsbereiche sind wie folgt:

- Frequenz: 40...70Hz mit einer Auflösung von 0,01 Hz oder 0,1%, wobei der minimale Wert nicht höher sein darf als die eingestellte Nennfrequenz des Netzes, und der maximale Wert darf nicht niedriger sein,
- Scheitelfaktor (Krest Faktor): 1,00...2,50, Auflösung 0,01,
- Unsymmetriefaktor der gegenteiligen Komponente: 0,0 ... 20,0% 0,1%
- Flickerfaktor (kurzeit und langzeit): 0,0...20,0 in 0,1-Schritten.

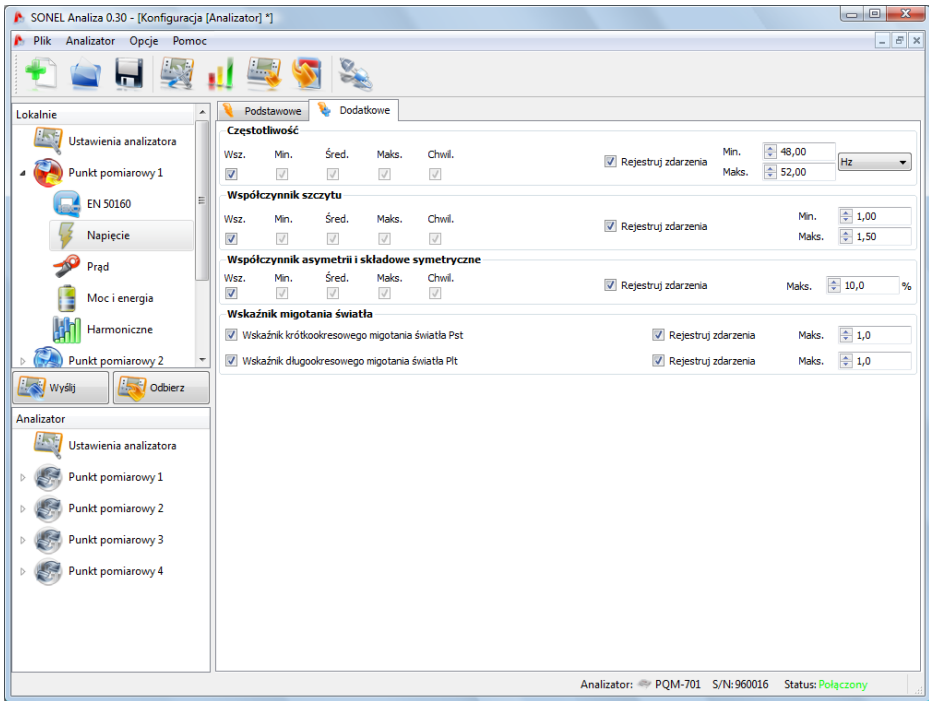


Abb. 36. Zusätzliche Einstellungen für die Spannungsmessung.

5.2.4 Strom

Rys. 37Das Display mit den Einstellungen für die Aufzeichnung des Stromes wurde auf der Abb. 37 gezeigt.

Hinweis
*Diese Registerkarte ist nicht verfügbar, wenn in der Hauptkonfiguration des Messpunktes die Strommessung durch Auswahl aus der Liste **Stromzangenmodel** der Position **Keine** ausgeschaltet ist.*

Folgende Elemente wurden hier zusammengefasst:

- Aufzeichnungsoptionen des effektiven Stromwerts,
- Liste zur Wahl der Mittelungszeit zur Bestimmung des Minimums und des Maximums (ähnlich wie für die Messung der Spannung können folgende Zeiten gewählt werden: Halb-Periode, Periode, 1, 3, 5 Sekunden),

- Möglichkeit der Aufzeichnung des Scheitelfaktors (Krest Faktor) des Stromes
- Möglichkeit der Aufzeichnung der Unsymmetriefaktoren der symmetrischen Komponenten des Stromes.

Auf der rechten Seite können Sie die Aufzeichnung von Ereignissen ab relevanten Parametern einschalten:

- für den effektiven Wert des Stromes können zwei Schwellenwerte des Maximalwerts (nach oben) und des Minimalwerts (nach unten) eingestellt werden. Einstellbereich ab 0,0A für den Nennbereich der Strommessung (Zange und eventuelle Stromwandler). Der minimale Wert darf nicht größer sein als der maximale Wert. Für Netze mit Nulleiter können andere Schwellenwerte für die Phasenkanäle und den neutralen Kanal eingestellt werden.
- Scheitelfaktor des Stromes: zwei Schwellenwerte für die Überschreitung und Unterschreitung, Einstellungsbereich 1,00...5,00 in 0,01-Stufen,
- Unsymmetriefaktor der gegenteiligen Komponente: ein Schwellenwert für die Überschreitung des Maximalwerts, Bereich 0,0...20,0% in 0,1%-Schritten.

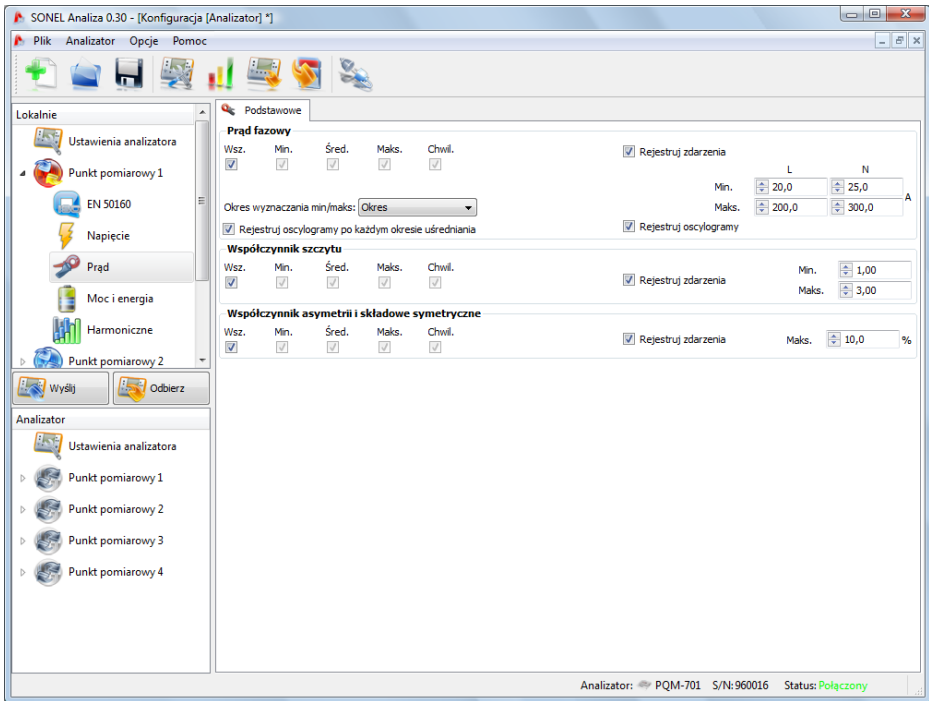


Abb. 37. Einstellungen für die Strommessung.

5.2.5 Leistung und Energie

Der Teil der Konfiguration, der für die Einstellung der Leistung und der Energie verantwortlich ist, wurde in drei Registerkarten unterteilt: **Leistung**, **Zusätzlich** und **Energie**.

Hinweis

*Diese Registerkarten sind nicht verfügbar, wenn in der Hauptkonfiguration des Messpunktes die Strommessung durch Auswahl aus der Liste **Stromzangenmodel** der Position **Keine** ausgeschaltet ist.*

Leistung

Rys. 38 Auf der Abb. 38 wurde die Registerkarte **Leistung** gezeigt.

Ähnlich wie im Fall der Spannung und des Stromes kann hier die Aufzeichnung der Mittel-, Minimal-, Maximal- und Momentwerte der Parameter gewählt werden. Der Benutzer kann die Aufzeichnung folgender Parameter einleiten:

- der Wirkleistung,
- der Blindleistung
- der Scheinleistung,
- Leistung der Verzerrung/Scheinleistung der Verzerrung.

Für jeden dieser Leistungswerte kann die Aufzeichnung der Ereignisse aktiviert werden. Für jeden Leistungswert können zwei Schwellenwerte eingestellt werden: ein minimaler und ein maximaler, deren Überschreitung vom Analysator erfasst wird.

Der Einstellbereich liegt zwischen 0,0...999,9 W/kW/MW (für die Wirkleistung), 0,0...999,9 var/kvar/Mvar (für die Blindleistung), 0,0...999,9 VA/kVA/MVA (für die Scheinleistung), 0,0...999,9 var/kvar/Mvar (für die Verzerrungsleistung).

Am unteren Rand des Displays wird die Blindleistungskalkulationsmethode gezeigt. Dem Benutzer stehen zwei Methoden zur Verfügung:

- nach IEEE 1459-2000,
- nach der Leistungstheorie von Budeanu.

9.7 Eine solche Möglichkeit wurde hinzugefügt, wegen der Zweifel bezüglich der Leistungsmessung mit der traditionellen Methode nach Budeanu. Der Standard IEEE 1459-2000 schlägt eine etwas andere Methode der Leistungsberechnung vor, die auch in asymmetrischen Netzen mit verformten Spannungs- und Stromverlauf korrekte Ergebnisse liefert. Mehr zu diesem Thema erfahren Sie im Abschnitt 9.7.

Nach der Auswahl der Option Budeanu wird die Blindleistung Q und die Verzerrungsleistung durch den Analysator auf Basis der Budeanu-Theorie berechnet.

Nach Auswahl der Option IEEE-1459 wird als Blindleistung die Blindleistung der Grundkomponente Q_1 angegeben, und anstatt der Verzerrungsleistung wird die Scheinverzerrungsleistung S_N berechnet, deren Einheit VA ist.

Einheiten für die Eingabe der Grenzwerte der Ereignisse werden durch den Benutzer ausgewählt. Einstellungsbereiche sind wie folgt:

- P , Q_B , S , D nach der Budeanu-Theorie: 0,0...999,9W, var, VA (oder kW, kvar, kVA oder MW, Mvar, MVA) mit einer Auflösung von 0,1W, var, VA (oder kW, kvar, kVA oder MW, Mvar, MVA),
- P , Q_1 , S , S_N nach IEEE 1459: 0,0...999,9W, var, VA (oder kW, kvar, kVA oder MW, Mvar, MVA) mit einer Auflösung von 0,1W, var, VA (oder kW, kvar, kVA oder MW, Mvar, MVA)

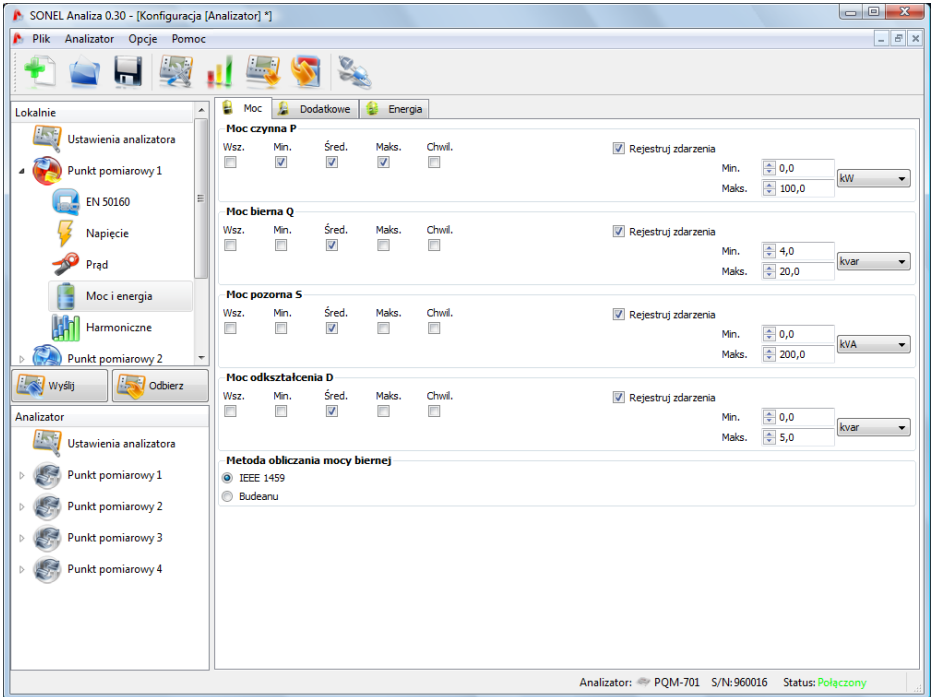


Abb. 38. Leistung und Energie: die Registerkarte Leistung.

Zusätzlich

In der Registerkarte **Zusätzlich** wurden die Parameter, die sich auf die Leistungsmessung beziehen, aufgestellt:

- Leistungsfaktor: Einstellungsbereich des Schwellenwerts des Ereignisses 0,00...1,00 in 0,01-Stufen,
- Phasenverschiebungswert $\cos(\varphi)$: Einstellungsbereich des Schwellenwerts des Ereignisses 0,00...1,00 in 0,01-Stufen,
- $\tan(\varphi)$, d.h. das Verhältnis der Blindleistung zur Wirkleistung: Einstellungsbereich des Schwellenwerts des Ereignisses 0,00...1,00 in 0,01-Stufen,

Energie

Rys. 40 Eine Ansicht der Registerkarte **Energie** zeigt die Abb. 40. Neben der Möglichkeit einer Aufzeichnung der Energiewerte in festgelegten Zeitabständen (Mittelungszeiten), kann auch die Erkennung von Ereignissen nach Überschreitung eines Schwellenwerts durch den Leistungswert definiert werden. Einstellungsbereiche sind wie folgt:

- Wirkenergie E_P : 0,0...999,9Wh (kWh, MWh, GWh) oder 9,9TWh mit einer Auflösung von 0,1Wh (kWh, MWh, GWh, TWh),
- Blindenergie E_Q : 0,0...999,9varh (kvarh, Mvarh, Gvarh) oder 9,9Tvarh mit einer Auflösung von 0,1varh (kvarh, Mvarh, Gvarh, Tvarh),

5 Konfiguration des Analysators 1 Allgemeine Angaben

- Scheinenergie E_S : 0,0...999,9VAh (kVAh, MVAh, GVAh) oder 9,9TVAh mit einer Auflösung von 0,1VAh (kVAh, MVAh, GVAh, TVAh).

Für die Wirk- und Blindenergie misst der Analysator zwei Größen separat: die zurückgegebene Energie und die aufgenommene. Der angegebene Schwellenwert gilt für die beiden Werte (d.h. der Analysator untersucht den Schwellenwert sowohl für die zurückgegebene als auch die aufgenommene Energie).

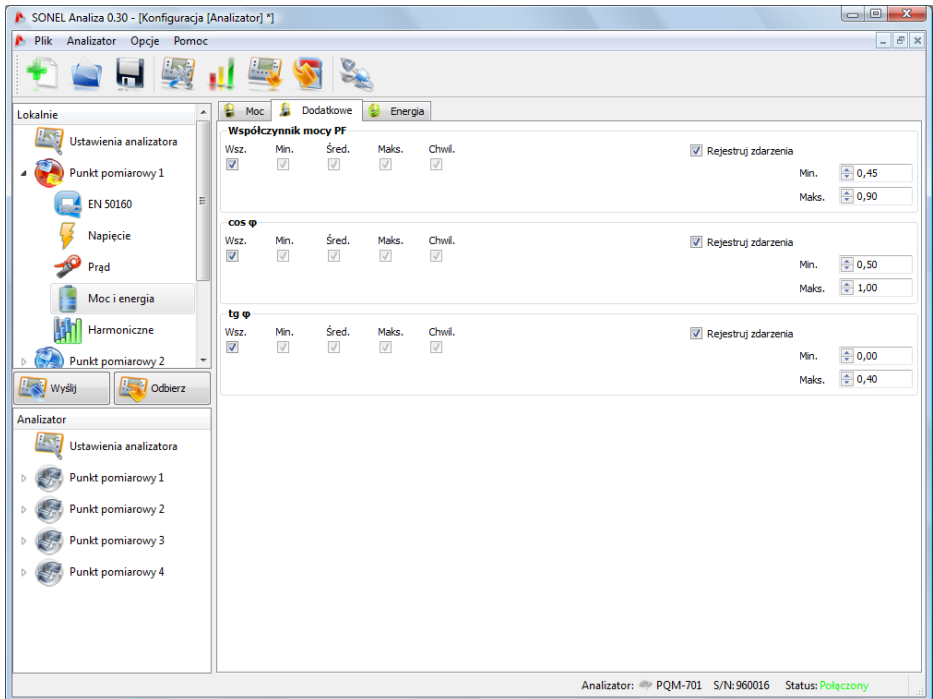


Abb. 39. Leistung und Energie: die Registerkarte Zusätzlich.

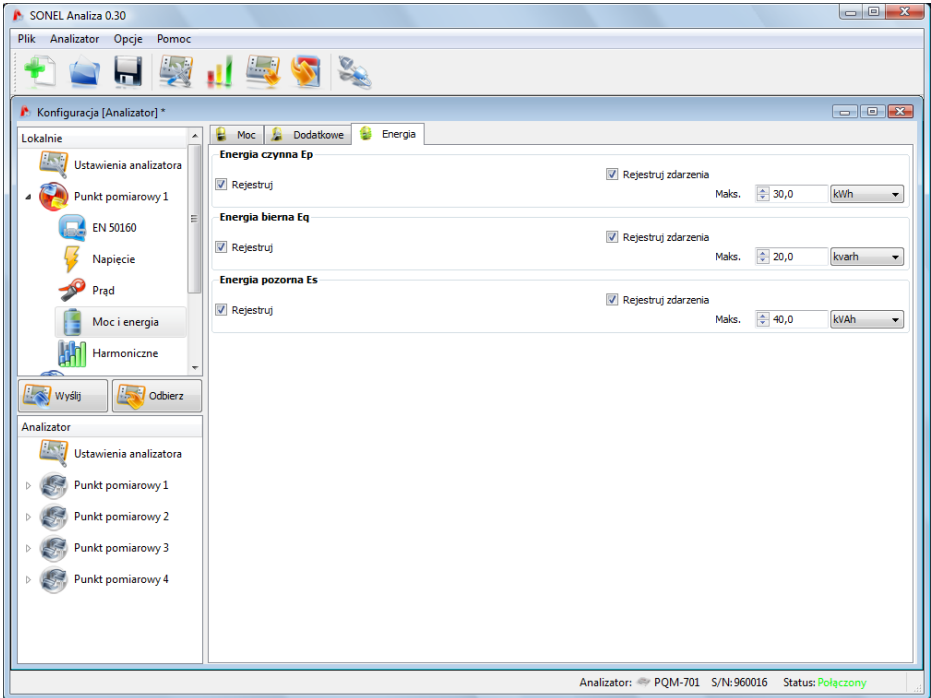


Abb. 40. Leistung und Energie: die Registerkarte Energie.

5.2.6 Oberwellen

Im Drop-Down-Menü Oberwellen kann der Benutzer die Aufzeichnungsart und Erkennung der Ereignisse für die Oberwellen der Spannung und des Stromes und anderer, direkt mit ihnen verbundener, Parameter konfigurieren.

Sie wurde in zwei Registerkarten unterteilt: Grund und Zusätzlich.

Grund

Rys. 41 Das Display für diese Registerkarte zeigt die Abb. 41.

- Im oberen Teil können Sie die Einstellungen für die Oberwellen der Spannung und des Stromes wählen,
- für THD (Gesamte harmonische Verzerrung) – sind die Felder **Min**, **Max**, **Durchschnitt**, **Momentan** wie an anderen Konfigurationsstellen für die Aufzeichnung des Minimal-, Maximal-, Mittel- und Momentwertes gemäß der eingestellten Mittelungszeit verantwortlich. Auf der rechten Seite können Sie die Aufzeichnung von Ereignissen aktivieren. Das Ereignis wird nach Überschreitung durch den THD-Faktor des vom Benutzer eingestellten Schwellenwerts aufgezeichnet. Der Einstellbereich des Schwellenwerts beträgt 0,0...100,0% in 0,1%-Schritten für die Spannung und 0,0...200,0% in 0,1%-Schritten für den Strom.
- 5.2.0 Oberwellen – in diesem Teil kann der Benutzer über die Aktivierung der Aufzeichnung der Amplituden der Oberwellen und der Erkennung von Ereignissen entscheiden. Die Erkennungsschwellen der Ereignisse können für jede Oberwelle unabhängig eingestellt werden, in einer Größenordnung des 2. bis zum 50. Grad. Die Einstellung wird genauso

5 Konfiguration des Analysators 1 Allgemeine Angaben

vorgenommen, wie im Falle der Einstellungen der Oberwellen für die Norm EN 50160 (siehe Beschreibung in dem Abschnitt 5.2.2). Eine weitere Möglichkeit ist die Auswahl der Einheiten der Stufen der Oberwellen: in absoluten Einheiten (Volt oder Ampere) oder in Prozentsätzen. Der Einstellbereich der Ereignisschwellen ist wie folgt:

- Für die Oberwellen der Spannung: in Volt $0,0 \dots U_{\text{nom}}$ in 0,1V-Stufen, in Prozent $0,0 \dots 100,0\%$ in 0,1%-Stufen.
- Für die Oberwellen des Stromes: in Ampere $0,0 \dots 2 \times I_{\text{nom}}$ in 0,1A-Stufen, in Prozent $0,0 \dots 200,0\%$ in 0,1%-Stufen.

Hinweis

Der THD-Wert und der Wert der Oberwellen (in Prozentsätzen) wird auf die grundlegende Komponente bezogen.

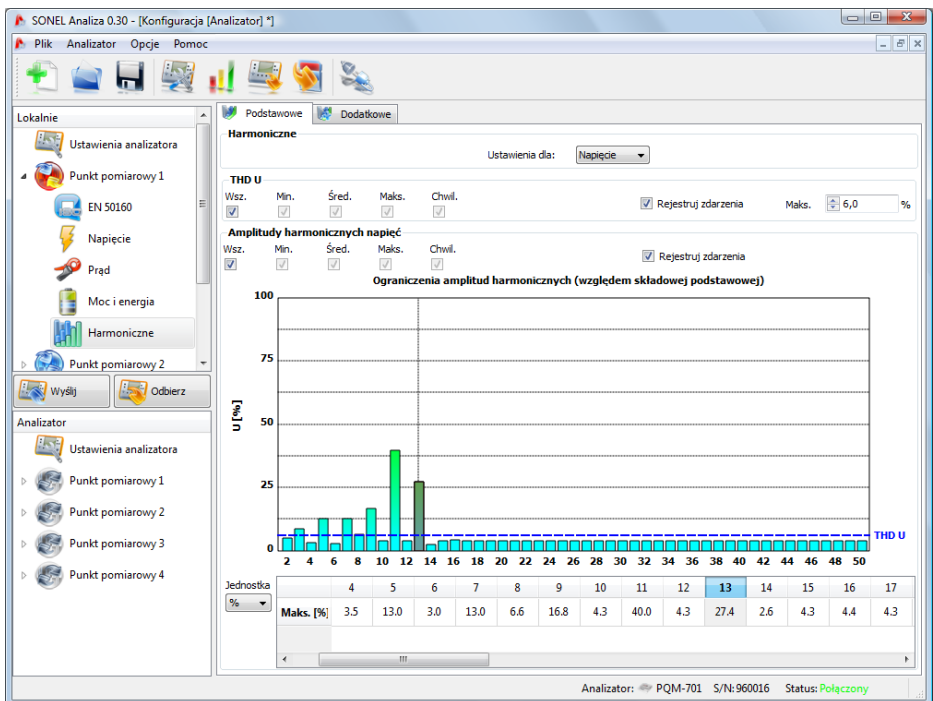


Abb. 41. Grundeinstellungen für die Oberwellen (Grund).

Zusätzlich

Die Registerkarte **Zusätzlich** umfasst folgende Parameter:

- Verlustfaktor im Transformator K (K-Faktor): es ist möglich die Aufzeichnung und die Ereigniserkennung nach Überschreitung des zuvor bestimmten Schwellenwerts einzuschalten. Der Schwellenwert kann im Bereich $0,0 \dots 50,0$ in 0,1-Schritten eingestellt werden.

- Die Winkel zwischen den Oberwellen des Stromes und der Spannung: Sie können die Aufzeichnung ausschalten - die Winkel der Oberwellen 1...50 werden gespeichert,
- Wirkleistungen der Oberwellen: periodische Aufzeichnung der Oberwellen der Ordnung 1...50,
- Blindleistungen der Oberwellen: periodische Aufzeichnung der Oberwellen der Ordnung 1...50,

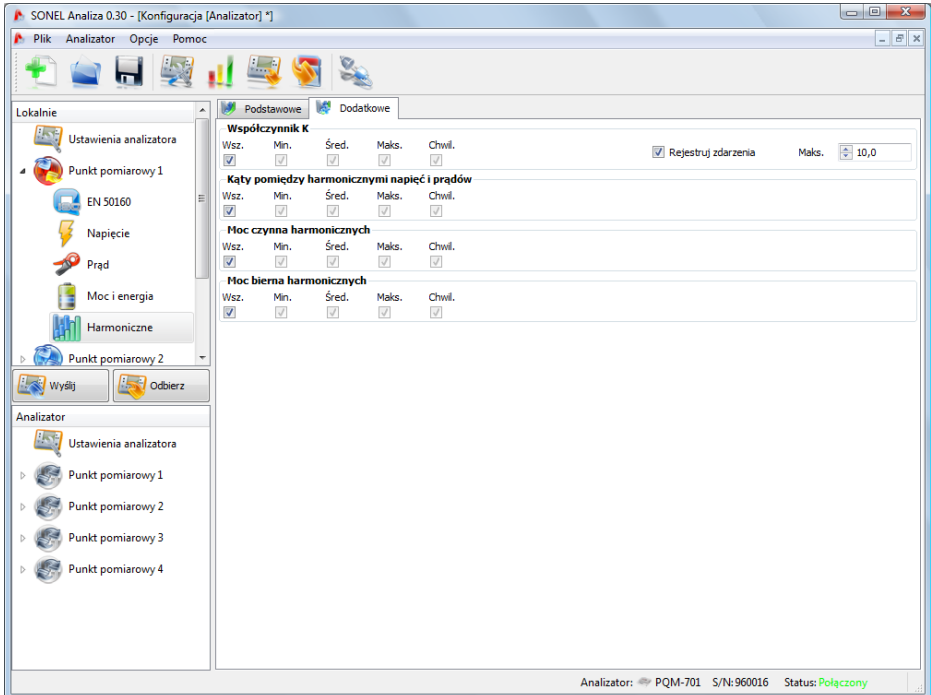


Abb. 42. Zusätzliche Einstellungen für die Oberwellen.

5.2.7 Standardkonfigurations-Profile

Standardmäßig wird nach Installation der Applikation die standardmäßige Konfiguration des Analysators, in der die folgenden Profile der Messpunkte gespeichert sind, übernommen:

- Spannung,
- Spannung und Strom,
- Leistung,
- Leistung und Oberwellen.

Die Namen dieser Profile sind in den Namen des Messpunktes gespeichert (PP1 – Spannung, PP2 – Spannungen und Strom, PP3 – Leistungen, PP4 – Leistungen und Oberwellen). Die Parameter in den bestimmten Profilen wurden in der Tabelle. 8Tabelle. 8 aufgeführt.

Spannungen,	Spannungen und Strom,	Leistungen	Leistungen und Oberwellen
Spannungen U	Spannungen U	Spannungen U	Spannungen U
Scheitelfaktoren (Krest Faktor) U	Scheitelfaktoren (Krest Faktor) U	Scheitelfaktoren (Krest Faktor) U	Scheitelfaktoren (Krest Faktor) U
Frequenz	Frequenz	Frequenz	Frequenz
Symm. Komponenten und die Unsymmetriefaktoren U	Symm. Komponenten und die Unsymmetriefaktoren U	Symm. Komponenten und die Unsymmetriefaktoren U	Symm. Komponenten und die Unsymmetriefaktoren U
	Ströme I	Ströme I	Ströme I
	Scheitelfaktoren (Krest Faktor) I	Scheitelfaktoren (Krest Faktor) I	Scheitelfaktoren (Krest Faktor) I
	Symm. Komponenten und die Unsymmetriefaktoren I	Symm. Komponenten und die Unsymmetriefaktoren I	Symm. Komponenten und die Unsymmetriefaktoren I
		Wirkleistungen P	Wirkleistungen P
		Blindleistungen Q	Blindleistungen Q
		Scheinleistungen S	Scheinleistungen S
		Verzerrungsleistungen D	Verzerrungsleistungen D
		Cos φ	Cos φ
		Leistungsfaktoren	Leistungsfaktoren
		Tg φ	Tg φ
			K-Faktoren
			THD U
			THD I
			Oberwellen U
			Oberwellen I
			Flicker P_{st} und P_{it}

8Tabelle 8. Die Liste der aufgezeichneten Parameter.

Die Aufzeichnung für die Standardprofile erfolgt ohne die Speicherung der Oszillogramme nach dem Mittelungszeitraum. Es werden nur die Durchschnittswerte der Parameter gespeichert, die Ereigniserkennung ist ausgeschaltet. Die eingestellte Netzart ist 3-Phasen-Stern mit Nulleiter und die Mittelungszeit beträgt 10 Sekunden.

5.3 Zeit und Sicherheit.

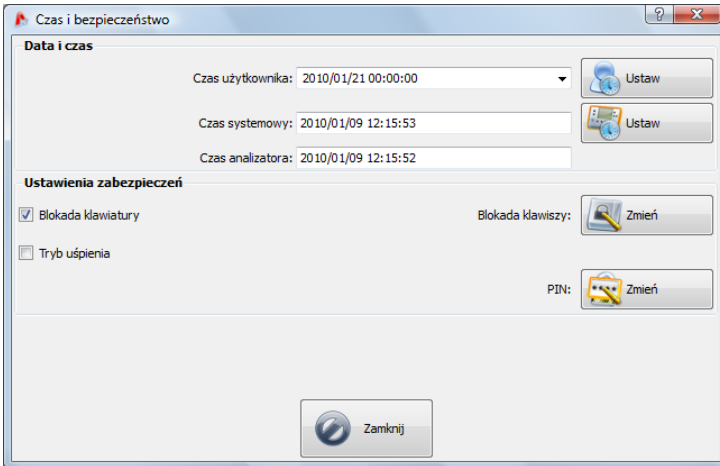
Rys. 43Nach Auswahl aus dem Hauptmenü **Analysator** → **Zeit und Sicherheit** (oder über eine Tastenkombination), erscheint das Dialogfenster (Abb. 43). Der Benutzer kann hier die Zeit und die Sicherheitsparameter des Analysators einstellen. Das aktuelle Datum und die Uhrzeit des Analysators wird kontinuierlich im Feld **Uhrzeit des Analysators** angegeben. Um ein beliebiges Datum und Uhrzeit einzustellen, müssen Sie in dem Drop-Down-Menü **Uhrzeit des Benutzers** die entsprechenden Werte einstellen und die rechte Taste **Einstellen** drücken. Es kann auch die Systemzeit an den Analysator gesendet werden – es reicht die Taste neben dem Feld **Systemzeit** drücken.

Durch Markierung der Option **Tastensperre** wird die Tastatur des Analysators gleich nach Beginn der Aufzeichnung gesperrt. In einer solchen Situation wird der Benutzer den 3-stelligen Code eingeben müssen (mithilfe der Tasten des Analysators - ähnlich wie bei der Eingabe des PIN-Codes), um Zugriff auf die Tastatur zu erhalten. Dieser Code ist von der PIN unabhängig und er kann geändert werden indem Sie die Taste **Ändern** neben dem Feld **Tastensperren-**

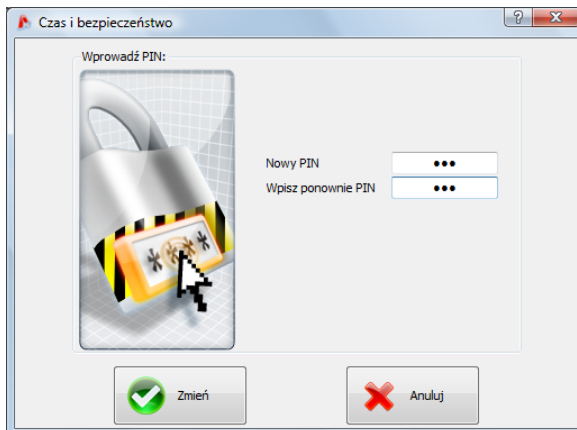
Codedrücken. Die Tastensperrenfunktion schützt vor dem Versuch einer Unterbrechung der Aufzeichnung durch Unbefugte.

Die Option **Sleep-Modus während der Aufzeichnung** dient dazu das Display automatisch 10 Sekunden nach Start der Aufzeichnung auszuschalten. Die Aufzeichnung wird durch Blinken der Punkte auf dem Display (alle 10 Sekunden).

Rys. 44 Die Taste **Ändern** neben dem Feld **PIN-Code** ermöglicht die Änderung der aktuellen PIN. Die Werkseinstellung ist 000, aber Sie können eine beliebige PIN von 000 bis 999 einstellen. Nach Drücken der Taste erscheint das Dialogfenster Abb. 44 (der Code wird ähnlich wie der Code der Tastensperre geändert). Nach erfolgreicher Änderung wird eine Systemmeldung ausgegeben.



43Abb. 43. Einstellung der Zeit und der Sicherungen während der Aufzeichnung.



44Abb. 44. Änderung der Tastensperren-Codes oder des PIN-Codes

5.4 Umkehren der Phasen der Zangen

Sollten Sie die Zangen umgekehrt an das gemessene Netz angeschlossen haben (die richtige Richtung ist die, in der der Pfeil auf den Zangen in Richtung des Empfängers zeigt), können Sie über die Software die Richtung der Zangen ändern, indem Sie Option aus dem Menü **Analyzer** → **Phase Stromzange** (mind. Ver. 1.0.38 oder neuer von „Sonel Analysis“ und die Firmware Ver. 1.03 oder neuer) wählen. Indem Sie die Ikone der Zangen in dem gewählten Kanal klicken, wird die Phase um 180° gedreht, was einem umgekehrten Anschluss an der gemessenen Leitung entspricht. Die Änderung der Richtung gilt für alle Messpunkte und erfolgt sofortig. Das Ergebnis der Umkehrung kann auf dem Display des Anzeigediagramms, der Oszillogramme oder durch Änderung des Zeichens der Wirkleistung in dem jeweiligen Kanal überprüft werden. Die Möglichkeit der Phasenänderung der Zangen ist in dem Aufzeichnungs-Modus blockiert.

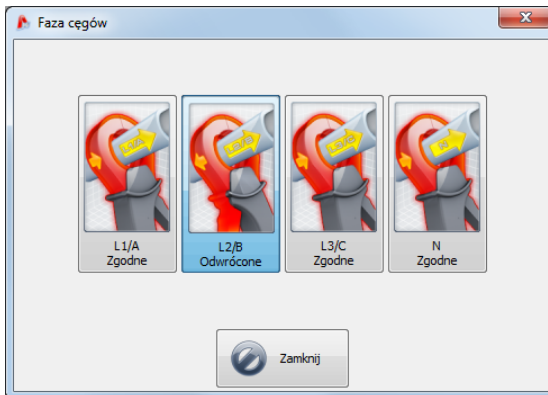


Abb. 45. Änderung der Phasen der Zangen.

6 Ablesen der aktuellen Daten

4.4 Wybór analizatora Sie können in den Ablesemodus der aktuellen Daten des Netzes in Echtzeit durch Klicken der Ikone **Aktuelle Daten** wechseln. Wenn keine Verbindung zu dem Analysator zuvor aufgebaut wurde, wechselt die Anwendung zum Dialogfenster der Verbindung (siehe Abschnitt 4.4 Wahl des Analysators).

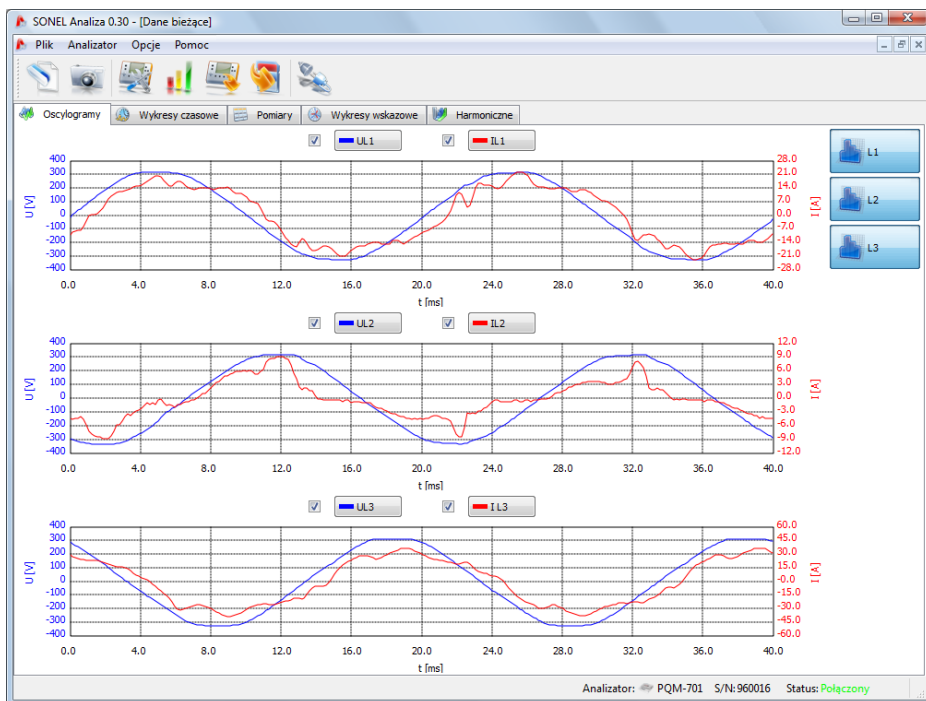
Das Display in diesem Modus ist in mehrere Registerkarten unterteilt:

- **Oszillogramme** – es werden momentane Verläufe der Spannungen und des Stromes gezeigt,
- **Zeitdiagramm** – zeigt den Zeitverlauf der Wirkleistungen der Spannungen und des Stromes in einem Zeitdiagramm,
- **Messungen** – zeigt die Momentwerte der aktuell gemessenen Parameter (Phasen- und summarisch) an,
- **Zeigerdiagramm** – erlaubt eine grafische Darstellung der Grundkomponenten der Spannungen und des Stromes,
- **Oberwellen** – ermöglicht die Vorschau der Oberwellen der jeweiligen Phasen der Spannungen und des Stromes.

Unten befindet sich eine detailliertere Beschreibung der einzelnen Registerkarten.

6.1 Verlauf des Stromes und der Spannung

Auf dem Diagramm der Spannungen und des Stromes werden zwei Zeiträume der Momentverläufe gezeigt. Beispiel einer solchen Anzeige Abb. 46. Die Diagramme werden laufend aktualisiert, was eine Echtzeitvorschau des Netzwerkes erlaubt.



46Abb. 46. Display im Modus der Ablesung der aktuellen Daten - Oszillogramme.

Oberhalb des Diagramms befinden sich Auswahlfelder, die die Anzeige der Spannungen und des Stromes aktivieren. Neben ihnen befinden sich Tasten, die die Änderung der Farbe der präsentierten Verläufe ermöglichen.

Auf der rechten Seite des Fensters befinden sich die Tasten der verfügbaren Phasen. Momentverläufe der jeweiligen Phase werden nach Betätigen der Taste gezeigt, wobei jede Phase einzeln gezeigt wird.

Die Zeitskala (Achse X) wird durch den gemessenen Frequenzwert aktualisiert (z.B. von 0 bis 40ms bei 50Hz)

Auf der linken Achse Y befinden sich die Werte der Spannung, auf der rechten Achse Y – die Stromwerte. Die Einheiten des Stromes und der Spannung werden automatisch ausgewählt. Die Skala wird ausgewählt:

- statisch; der obere Bereich der Achse wird auf einen Wert der dem Nennwert der Spannung oder des maximalen Bereichs der Zangen ähnelt,
- dynamisch; die Diagramme werden automatisch skaliert, bis zum höchsten Momentwert des Verlaufs.

Die Änderung des Skalierungsmodus ist nur nach Klicken der rechten Maustaste im Bereich des Diagramms: das Kontextmenü beinhaltet die Optionen: **automatische Skalierung des Stromes, automatische Skalierung der Spannung**. Nachdem Sie die Anwendung einschalten, wird die automatische Skalierung ausgeschaltet.

Im Falle, das in den allgemeinen Einstellungen des Messpunktes keine Stromzangen gewählt wurden, sind die Stromverläufe inaktiv.

6.2 Zeitdiagramm des Stromes und der Spannung

Rys. 47Auf der Abb. 47 wurde das Display mit dem Diagramm des Verlaufs des Strom- und Spannungswerts (sog. timeplot). Die Konfigurationselemente sind identisch mit den auf der Oszillogrammanzeige: im oberen Teil kann die Anzeige der Spannungen und des Stromes ein- und ausgeschaltet und die Farbe der Diagramme geändert werden, und auf der rechten Seite können die jeweiligen Phasen aktiviert werden.

Die Zeitskala auf dem Diagramm, die ab dem Moment des Übergangs in den Ablesemodus der aktuellen Werte angezeigt wird. Zeitformat HH:MM:SS. Das Diagramm ist in gleiche Teile von jeweils 60 Sekunden unterteilt. Nachdem das Ende der Skala erreicht wurde, wird das ganze Diagramm um 60 Sekunden nach links verschoben.

Das Diagramm wird unabhängig davon, ob die Registerkarte eingeschaltet ist, aktualisiert, d.h. es wird im Hintergrund gezeichnet, unabhängig davon, ob z.B. die Oberwellen durchgeschaut werden.

Ähnlich wie für Oszillogramme, kann eine statische Skalierung gewählt werden (gemäß der allgemeinen Einstellungen des Messpunktes) oder eine dynamische.

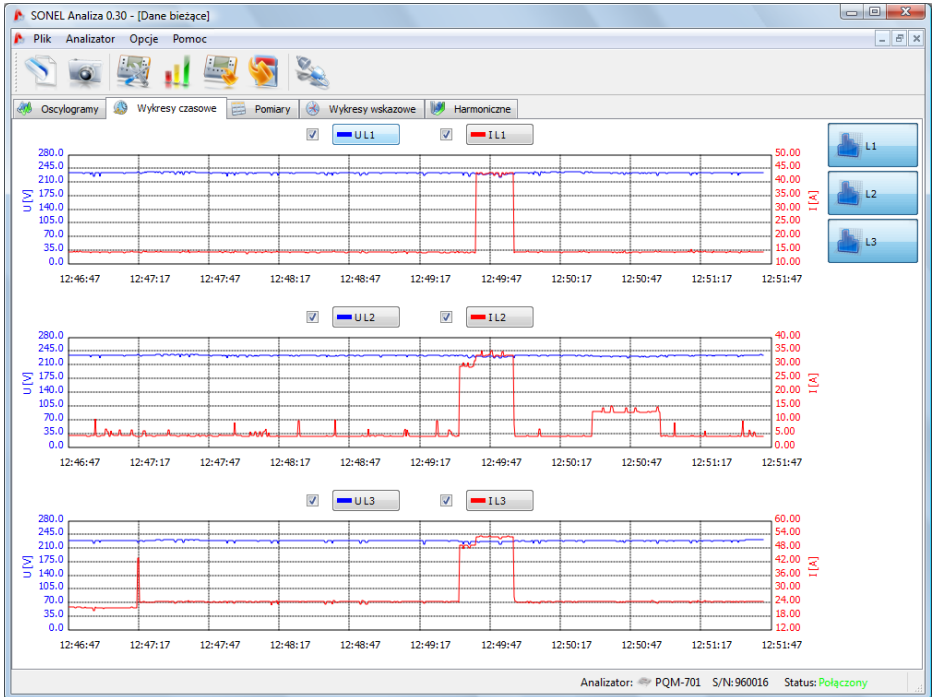


Abb. 47. Diagramm mit den Werten in Echtzeit.

6.3 Phasenwerte und Gesamtwerte

Die Registerkarte **Messungen** ermöglicht die Vorschau der Werte diverser Parameter des gemessenen Netzes.

Rys. 48Auf der Abb. 48 wurde ein Beispiel eines Displays gezeigt, dass eine zusammenfassende Tabelle der Werte, die aus dem Analysator gelesen werden und in Echtzeit übermittelt werden.

In den folgenden Registerkarten werden die einzelnen Parameter in mehreren Kategorien aufgeführt:

- Spannung – Effektivwert der Spannung U , fester Bestandteil U_{DC} , Frequenz f ,
- Strom – Effektivwert des Stromes I , fester Bestandteil I_{DC} ,
- Leistung – Wirkleistung P , Blindleistung Q_B (nach der Theorie von Budeanu) oder Blindleistung der grundlegenden Komponente (nach IEEE 1459), Scheinleistung S , Verzerrungsleistung D (nach Budeanu) oder Scheinverzerrungsleistung S_N (nach IEEE 1459),
- Energie – aufgenommene Wirkenergien E_{P+} und abgegebene Wirkenergien E_{P-} , aufgenommene Blindenergien E_{Q+} und abgegebene Blindenergien E_{Q-} (entsprechend nach Budeanu oder IEEE 1459), Scheinenergie E_S ,
- Faktoren – Leistungsfaktor PF , Phasenverschiebungswert $\cos\phi$, harmonische Verzerrungsfaktoren THD für die Spannungen und den Strom, Scheitelfaktoren CF der Spannungen und des Stromes, Flickerfaktoren P_{st} und P_{it} ,
- Unsymmetrie – für Spannungen: Nullkomponente U_0 , Gleichkomponente U_1 und Gegenkomponente U_2 , Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente u_2 , Unsymmetriefaktor der Nullkomponente u_0 ,

6Ablesen der aktuellen Daten1 Allgemeine Angaben

ponente u_0 ; für Strom: Nullkomponente i_0 , Gleichkomponente I_1 und Gegenkomponente I_2 ,
Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente i_2 , Unsymmetriefaktor der Nullkomponente i_0 .

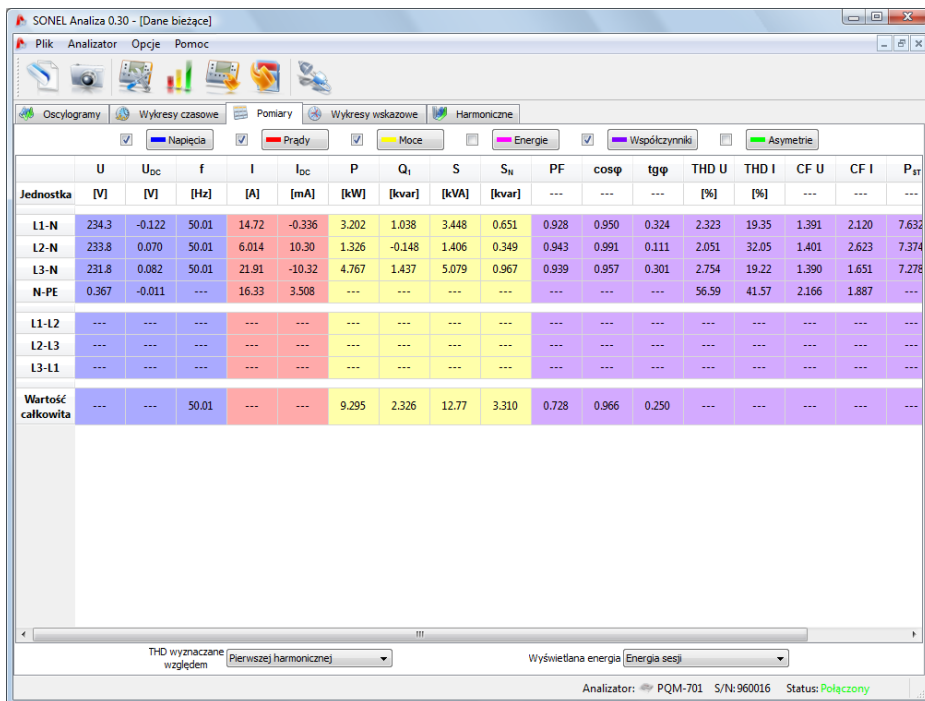


Abb. 48. Anzeige der Phasenwerte und Gesamtwerte.

Jede Gruppe kann unabhängig ein- und ausgeschaltet werden und die Hintergrund Farbe der Registerkarte kann über die Optionsfelder und die Tasten im oberen Teil der Registerkarte individuell angepasst werden.

Nach dem erneuten Start der Anwendung werden folgende Werte angezeigt: Spannungen, Strom, Leistungen und Faktoren.

Die Parameterwerte werden in den aufeinander folgenden Zeilen gezeigt, die wie folgt beschrieben sind:

- **L1-N** – Phase L1 in Systemen mit Nulleiter N,
- **L2-N** – Phase L2 in Systemen mit Nulleiter N,
- **L3-N** – Phase L3 in Systemen mit Nulleiter N,
- **N-PE** – Werte der Parameter im Spannungskanal N-PE oder Stromkanal I_N,
- **L1-L2** – Phase L1 in Systemen ohne Nulleiter (mit Leiterspannungen),
- **L2-L3** – Phase L2 in Systemen ohne Nulleiter (mit Leiterspannungen),
- **L3-L1** – Phase L3 in Systemen ohne Nulleiter (mit Leiterspannungen),
- **Gesamtwert** – Gesamtwert des gesamten Systems oder Durchschnittswert der Phasenwerte.

Beispielsweise, für ein 3-Phasennetz mit Nulleiter N werden die Werte der Phasenparameter in den Zeilen **L1-N**, **L2-N**, **L3-N** angezeigt. Wenn in der Konfiguration die Spannungsmessung N-PE und/oder Strommessung I_N aktiviert wurde, werden in der Zeile **N-PE** auch die Werte der Parameter angezeigt, die in einem solchen Fall berechnet werden. In der Zeile **Gesamtwert** werden die summarischen Werte des gesamten Systems angezeigt.

Im Falle eines Dreieck-Systems werden die Phasenwerte in den Zeilen **L1-L2**, **L2-L3**, **L3-L1** und **Gesamtwert** angezeigt.

Hinweis

In einigen Netzwerkkonfigurationen ist es nicht möglich den Werte einiger Parameter zu berechnen (zu messen). Beispielsweise, in einem 3-Phasen-Dreieck-Netzwerk kann der Phasenverschiebungsfaktor $\cos\varphi$ zwischen dem Strom und der Spannung nicht berechnet werden, weil die gemessene Spannung die Leiterspannung ist, und der gemessene Strom ein Linienstrom ist, der sich in zwei Leiterzweige des Empfängers unterteilt.

Falls in der gegebenen Netzwerkkonfiguration der jeweilige Parameter nicht berechnet wird, wird anstelle des Wertes „--“ angezeigt.

Im unteren Teil der Registerkarte kann die Berechnungsmethode des Faktors Gehalts der Oberwellen THD: im Bezug auf die Grundkomponente (THD_F) oder den Effektivwert (THD_R). Die angezeigten Energiewerte sind mit dem Schalter **Angezeigte Energie** verbunden. Der Benutzer kann entscheiden, ob die Energieanzeigen beim Start der Messung auf Null zurückgestellt werden sollen oder die gesamte, vom Analysator gemessene Energie, anzeigen sollten.

Die internen Energieanzeigen des Analysators werden auf Null zurückgestellt:

- bei Wechsel des Messpunktes,
- bei Beginn der Aufzeichnung,
- nach Einschalten des Analysators (bei Beginn des Autotests).

Nach Auswahl der Anzeige der Energie während der Sitzung, werden die internen Energieanzeigen nicht modifiziert. Das Funktionsprinzip ist wie folgt: bei der ersten Ablesung der Werte der Energieanzeigen durch die Anwendung (z.B. nach wechseln zur Registerkarte **Messungen**), die Werte werden gespeichert und die angezeigten Werte sind die Differenz zwischen dem aktuellen Energiewert und dem gespeicherten Wert.

6.4 Zeiger

Rys. 49 Der Zeiger (Abb. 49) wird zur Anzeige der Vektoren der Grundkomponenten der Spannungen und des Stromes verwendet. Die Winkel zwischen den Vektoren entsprechen den Winkeln der Phasenverschiebung zwischen den jeweiligen Phasen. Auf der linken Seite des Diagramms wird eine Tabelle mit Zahlenangaben angezeigt. In den folgenden Registerkarten werden angezeigt:

- U - die Amplitude der Grundkomponente der Spannung
- φ_U – Winkel der Grundkomponente der Spannung im Bezug auf die Grundkomponente der Spannung L1 (in Grad),
- I - die Amplitude der Grundkomponente des Stromes
- φ_I – Winkel der Grundkomponente des Stromes im Bezug auf die Grundkomponente der Spannung L1 (in Grad),
- $\varphi_{U,I}$ – Winkel zwischen Vektoren von Spannung und Strom ($\varphi_U - \varphi_I$) für die jeweilige Phase.

Über der Tabelle befinden sich die Tasten zum Ein- oder Ausschalten der Spannung (U , φ_U), des Stromes (I , φ_I) und des Winkels $\varphi_{U,I}$. Zusätzlich kann der Benutzer die Standardhintergrundfarbe der Tabelle für diese Gruppen ändern.

Für die verschiedenen Netzwerksysteme werden unterschiedliche Zeiger und unterschiedliche Parameter in der Tabelle angezeigt. Die folgende Tabelle zeigt die Parameter, die abhängig vom Netzwerksystem angezeigt werden:

Die Winkel der Vektoren beziehen sich auf den Winkel des Vektors L1, der immer den Wert $\varphi = 0^\circ$ hat.

Die Skalierung der Amplitude des Vektors wird automatisch in Bezug auf den größten Wert, unabhängig von Strom und Spannung vorgenommen.

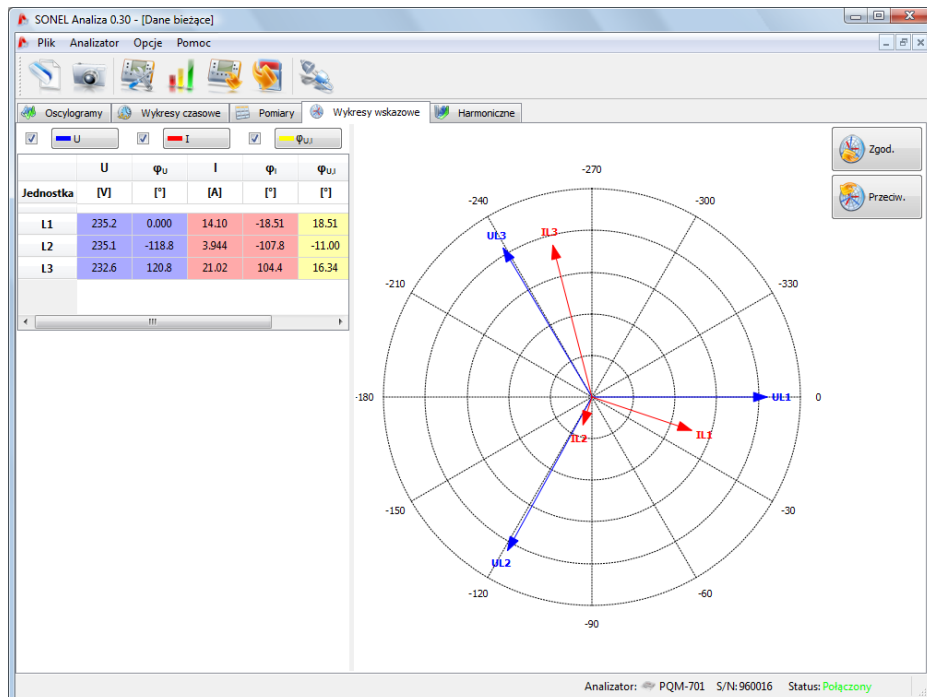


Abb. 49. Zeiger für Stern-Verbindungen.

Neben dem Diagramm rechts befinden sich zwei Tasten, zum Drehen des Zeigerdiagramms um 90° im oder gegen den Uhrzeigersinn dienen.

6.5 Oberwellen

Die Registerkarte Oberwellen erlaubt eine Vorschau der Werte der Oberwellen in der Spannung und im Strom, der Wirkleistungen und Blindleistungen der Oberwellen, der Faktoren des Inhalts der Oberwellen und des Verlustfaktors im Transformator K. Ein Beispiel eines solchen Displays zeigt die Abb. 50. Es werden die Parameter einer Phase, die über die Tasten rechts gewählt wird, angezeigt.

Im zentralen Teil des Fensters wird ein Balkendiagramm der Oberwellen angezeigt: von der konstante Komponente (DC) über die erste Oberwellen bis zur 50.

Der Schalter **Messung** im unteren Teil des Fensters erlaubt die Auswahl einer von zwei Optionen:

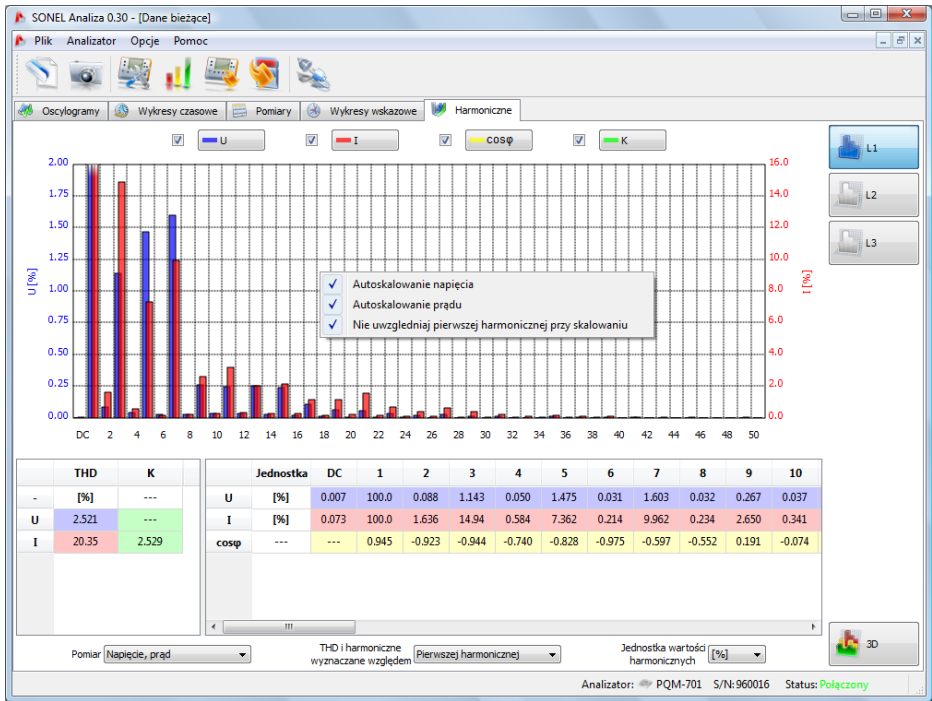
- **Spannung, Strom** – die Oberwellen der Spannung und des Stromes werden angezeigt,
- **Leistung** – die Wirkleistungen und Blindleistungen der Oberwellen werden angezeigt.

Links und rechts von dem Diagramm befinden sich die Achsen, mit den entsprechenden Einheiten für den jeweiligen Modus: im Modus **Spannung, Strom** befinden sich auf der linken Seite die Achse der Oberwellen der Spannung und rechts des Stromes. Im Modus **Leistung**, befindet sich auf der linken Seite die Achse der Wirkleistung, rechts der Blindleistung.

Unter dem Balkendiagramm wurden in Tabellen von links bis rechts folgende Daten angegeben:

- THD-Faktoren,
- K-Faktoren (nur im Modus **Spannung, Strom**),
- eine Tabelle mit den Zahlenwerten der Spannung und des Stromes, der Faktoren der Phasenverschiebung $\cos\varphi$ (im Modus **Spannung, Strom**) oder mit Wirkleistungen und Blindleistungen der Oberwellen und der Faktoren der Phasenverschiebung $\cos\varphi$ (im Modus **Leistung**).

6Ablesen der aktuellen Daten1 Allgemeine Angaben



50Abb. 50. Oberwellen in dem 2D-Diagramm.

Im Modus der Anzeige der Oberwellen der Spannung und des Stromes hat der Benutzer Zugriff auf zwei Einstellungen:

- **THD und Oberwellen** – es stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: im Bezug auf den RMS-Wert oder die erste Oberwellen (diese Option ist nur nach Auswahl der Angabe in Prozentsätzen – siehe unten),
- **Einheit der Werte der Oberwellen** – es stehen auch zwei Möglichkeiten zur Verfügung: in absoluten Einheiten [V], [A], oder in Prozentsätzen.

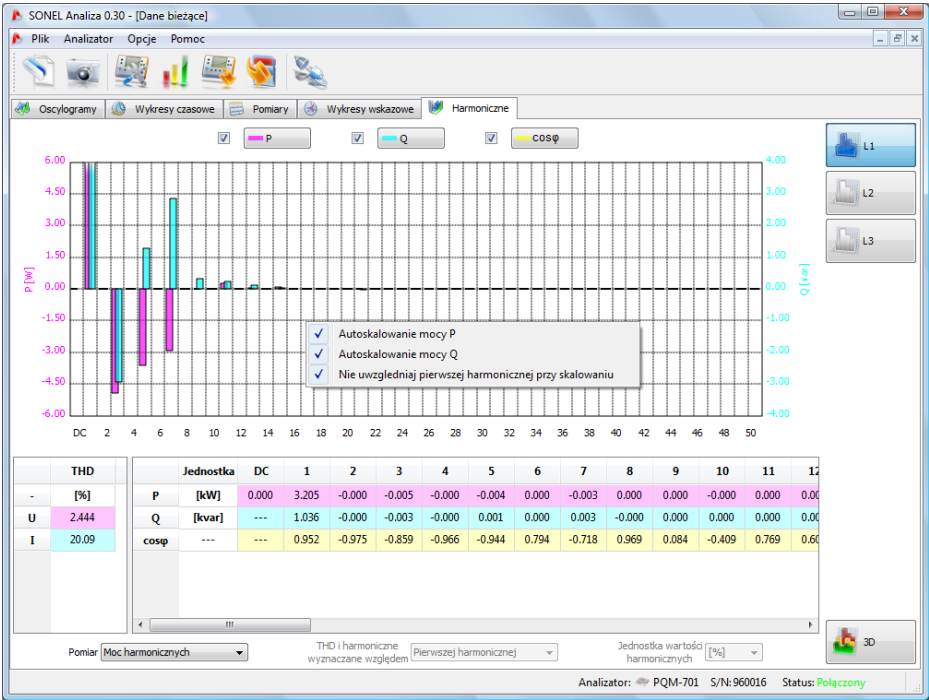


Abb. 51. Display mit den Leistungen der Oberwellen.

Indem Sie mit der rechten Taste auf den Bereich des Diagramms klicken, erscheint ein Menü, in dem folgende Optionen verfügbar sind:

- **Automatische Skalierung der Spannung, des Stromes oder der Leistung P und der Leistung Q** (abhängig von der Art der Oberwellen). Diese Option hat zur Folge die Skalierung der Balken der Oberwellen und Anpassung Ihrer Höhe zum Fenster,
- **Die erste Oberwellen bei der Skalierung nicht berücksichtigen** – dies hat zur Folge, dass der Balken der ersten Oberwellen bei der Autoskalierung nicht berücksichtigt wird; auf diese Weise können die Balken der Höheren Oberwellen, die normalerweise viel niedriger von der grundlegenden Komponente sind, schnell vergrößert werden (ein Beispiel finden Sie auf der Abb. 50Abb. 50).

Rechts unten befindet sich eine Taste zu Umschalten in den 2D- / 3D-Modus. Nachdem Sie diese Taste klicken, werden die Oberwellen in einem dreidimensionalen Diagramm angezeigt. Nachdem Sie die Taste **Beliebige Ansicht** betätigen, kann das Diagramm mithilfe der Maus beliebig modifiziert werden – halten dafür die linke Maustaste gedrückt und stellen Sie mit der Maus die gewünschte Position des Diagramms ein, indem Sie die rechte Maustaste gedrückt halten, können Sie auf ähnliche Weise das Diagramm annähern und entfernen. Sie können zu diesem Zweck auch die Schieberegler auf der linken Seite des Fensters verwenden oder das Mausrad. Wenn Sie die LEERTASTE drücken wird eine einfache 3D-Vorschau erstellt.

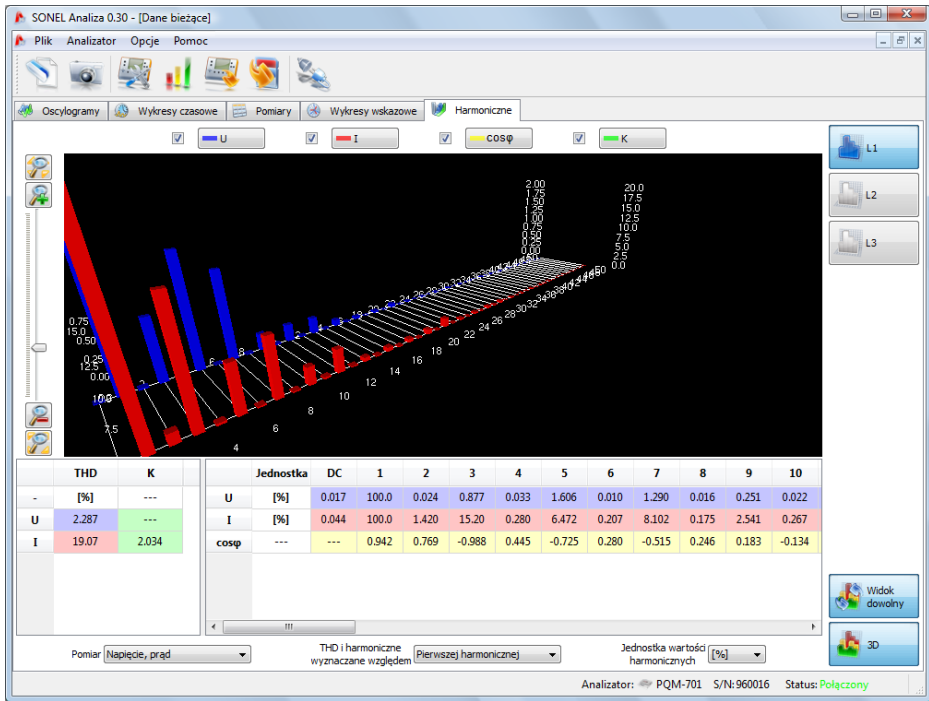


Abb. 52. Oberwellen in dem 3D-Diagramm.

7 Datenanalyse

Der Analyseblock ermöglicht eine Datenablesung durch den Analysator während der Aufzeichnung, das Aufrufen von Daten und eine grafische Visualisierung. Es ist möglich Berichte zu erstellen, die auf bündige Weise das geprüfte System charakterisieren.

Die auf der SD-Karte gespeicherten Daten können mit zwei unterschiedlichen Methoden abgelesen werden:

- über die USB-Verbindung oder drahtlos von der Karte, die sich im Analysator befindet,
- über einen externen SD-Kartenleser, der an den Computer angeschlossen ist.

Bei großer Datenmenge wird empfohlen einen Kartenleser zu verwenden.

Die Wahl einer der Methoden beruht auf der Auswahl eines Symbols auf der Toolleiste:

- **Ablesung aus dem Analysator** – Ablesen der Daten direkt aus dem Analysator,
- **Ablesung von der SD-Karte** – Ablesen der Daten über einen externen Kartenleser.

7.1 Ablesen der Daten aus dem Analysator und der SD-Karte

4.4 Nach Auswahl aus dem oberen Menü oder durch klicken des Symbols **Ablesung aus dem Analysator**, wenn keine Verbindung Analysator – Programm besteht, wird eine standardmäßige Prozedur zur Verbindung mit dem Programm durchgeführt (Punkt 4.4).

Nach Wahl des Symbols **Ablesung von der SD-Karte** wird die Anwendung die verfügbaren Geräte nach der SD-Karte durchsuchen. Wenn die Anwendung im Kartenlesegerät die entsprechende SD-Karte findet, wird ein Dialogfenster aufgerufen, in dem die Informationen über den Analysator, aus dem die Daten stammen, angezeigt. Klicken Sie die entsprechende Position aus der Liste an und klicken Sie **Auswählen**.

Rys. 53 Nach korrekter Verbindung des Messgeräts mit dem Computer oder des SD-Kartenlesers, wird das Dialogfenster (Abb. 53) aufgerufen und die gespeicherten Daten können erfasst werden. In diesem Dialogfenster, markieren Sie die Daten, die heruntergeladen werden sollen. Auf der rechten Seite des Balkens, mit der grafischen Angabe des besetzten Speichers, wird der besetzte Speicherplatz für den jeweiligen Messpunkt in Prozentsätzen und das tatsächliche Volumen angegeben.

Durch Markierung der Optionen **Löschen der Daten nach Ablesung** werden die Daten dieses Punktes (Punkte), aus dem die Daten gelesen werden, gelöscht. Deshalb erscheint nach Drücken der Taste **Ablesung**, vor Beginn der Übertragung eine entsprechende Warnung.

Während des Ablesens erscheint ein Dialogfenster mit einem Balken, der den Fortschritt anzeigt und die Menge der heruntergeladenen Daten angibt.

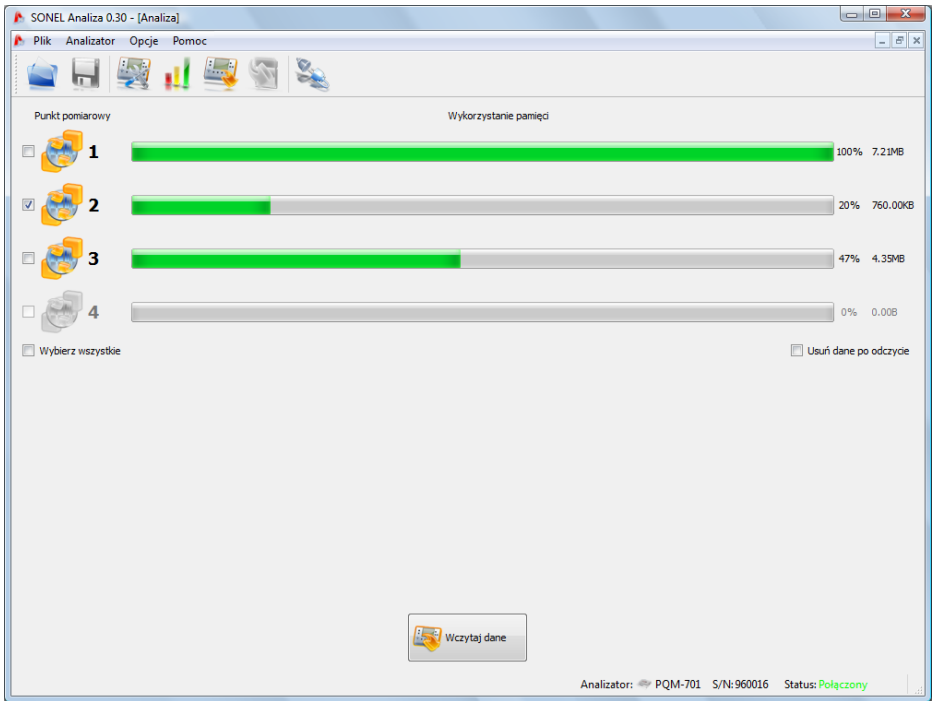


Abb. 53. Auswahl des Messpunktes, der gelesen werden soll.

Falls sich in dem Kartenleser eine Speicherkarte mit den falschen Daten befindet, oder keine Karte vorhanden ist, erscheint die Meldung **Keine Speicherkarte mit Daten vorhanden**.

7.2 Auswahl des Zeitraums für die Analyse

Rys. 54 Nach erfolgreichem Ablesen der Daten erscheint ein Dialogfenster, in dem der Zeitraum für die Analyse angegeben wird. Nur die Daten aus dem jeweiligen Zeitraum werden analysiert. Das Dialogfenster ist auf der Abb. 54 dargestellt. Die Bedeutung der einzelnen Elemente des Fensters ist wie folgt:

- Der linke Teil enthält die Liste der abgerufenen Messpunkte. Nach dem den Messpunkt anklicken, erscheinen die Daten: Name des Messpunkts (wenn er vorher in der Konfiguration angegeben wurde), und alle Zeitabstände, in denen der Analysator die Daten aufgezeichnet hat.
- Ein Doppelklick auf das Anfangssymbol stellt den Schieberegler **P** zum Anfang der Aufzeichnung für den jeweiligen Messpunkt zurück, und ein Doppelklick auf dem Endsymbol, stellt den Schieberegler **K** zum Ende der Aufzeichnung für den jeweiligen Messpunkt zurück.
- Der mittlere und rechte Teil des Displays zeigt in grafischer Form, als Streifen, die Zeitabstände der Aufzeichnungen in allen Messpunkten an. Nach Markierung eines der Messpunkte, ändern die Streifen des jeweiligen Punktes die Farbe und werden rot, wodurch angezeigt wird, welche Daten analysiert werden können. Gleichzeitig wird die Taste - **Datenanalyse** aktiviert.
- Neben der Beschreibung **Messpunkt X** befindet sich die Information, ob die Daten für diesen Punkt aufgezeichnet wurden nach Norm (Beschreibung **EN 50160**) oder gemäß der Benutzereinstellungen (Beschreibung **BENUTZER**),

- Drei Felder bezeichnen den Anfang, die Laufzeit und das Ende des für die Analyse, über zwei Schieberegler **P** (Anfang) und **K** (Ende), gewählten Zeitabstandes. Über diese Schieberegler kann ein kleinerer Zeitabstand für die Analyse gewählt werden. Durch Markierung eines größeren Zeitabschnitts, als der gewählte Zeitabstand, wird der gesamte Zeitabstand gewählt.
- Im mittleren Feld **Bereich** erscheint die Information über den für die Analyse gewählten Zeitabschnitt, in dem Format Woche:Stunde:Minute:Sekunde. Aus der Dropdown-Liste kann ein Standard-Zeitabschnitt gewählt werden: 10 Minuten, Stunde, Tag oder Woche. Wenn der gewählte Zeitabschnitt länger ist als die Aufzeichnung, wird die gesamte Aufzeichnung markiert.
- Durch klicken der Taste **Datenanalyse** wird die Datenanalyse des jeweiligen Zeitabschnitts eingeleitet.

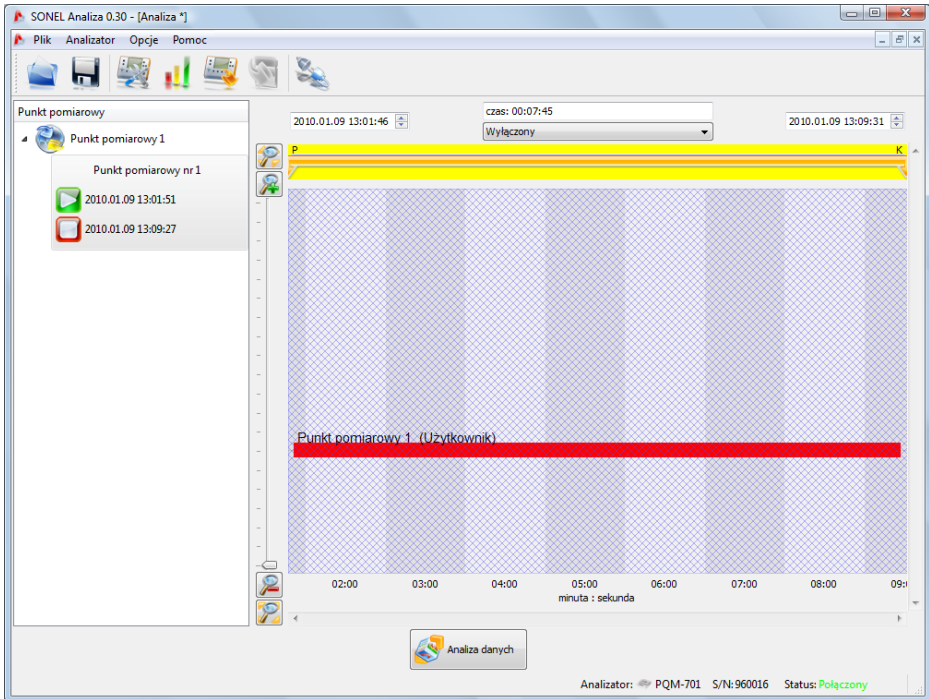


Abb. 54. Auswahl des Zeitabschnitts für die Analyse.

Wenn der Benutzer vor hat mehrere Analysen auf Basis der abgelesenen Daten durchzuführen, sollte er sie nach dem Abrufen auf der lokalen Festplatte in dem Format *.pqm701 speichern. Diese Datei wird eine genaue Kopie der abgerufenen Dateien erhalten und sie kann jederzeit verwendet werden und zum Dialogfenster zur Auswahl des Zeitabschnitts für die Analyse zurückzukehren (Abb. 54Abb. 54). Bitte beachten Sie, dass im Fall einer neuen Konfiguration der Messpunkte die SD-Karte formatiert wird und alle Aufzeichnung-Daten gelöscht werden.

Wechsel in den Analyse-Modus (nach Drücken der Taste **Datenanalyse**) wird eine erneute Ablesung der Daten von der Speicherkarte bedürfen, falls der Benutzer eine erneute Analyse aufgrund der auf der Karte gespeicherten Daten durchführen möchte.

Die Daten werden auf der Festplatte gespeichert, indem das Symbol **Speichern** auf der Menüleiste geklickt wird oder indem die Funktion **Speichern** oder **Speichern als** aus dem Menü **Datei** gewählt wird.

7.3 Analyse der abgerufenen Daten

7.3.1 Allgemeine

Rys. 55Nach erfolgreichem Abrufen der Daten das Hauptfenster des Daten-Analysemoduls. Dieses Dialogfenster ist in mehrere Teile aufgeteilt (Abb. 55):

- Auf der linken Seite befinden sich die Tasten, die die folgenden Daten aufrufen:
 - **Allgemeine** – es werden alle Daten der jeweiligen Typen in Form von Punkten gezeigt (Messungen, Ereignisse und Oszillogramme),
 - **Messungen** – alle Typen der Messungen, die gemäß der Mittelungszeit aufgezeichnet wurden (Spannung, Frequenz usw.) werden in Form von Punkten werden angezeigt,
 - **Ereignisse** – alle Arten der erkannten Ereignisse (Einbrüche, Überspannungen, Unterbrechungen usw.) werden in Form von Punkten gezeigt.
- Die Wahl der entsprechenden Taste hat die anzeige der entsprechenden Daten in der Tabelle unter dem Diagramm zur Folge.
- Über dem Diagramm befinden sich die Felder mit dem Anfangsdatum, dem Zeitbereich und dem Enddatum.

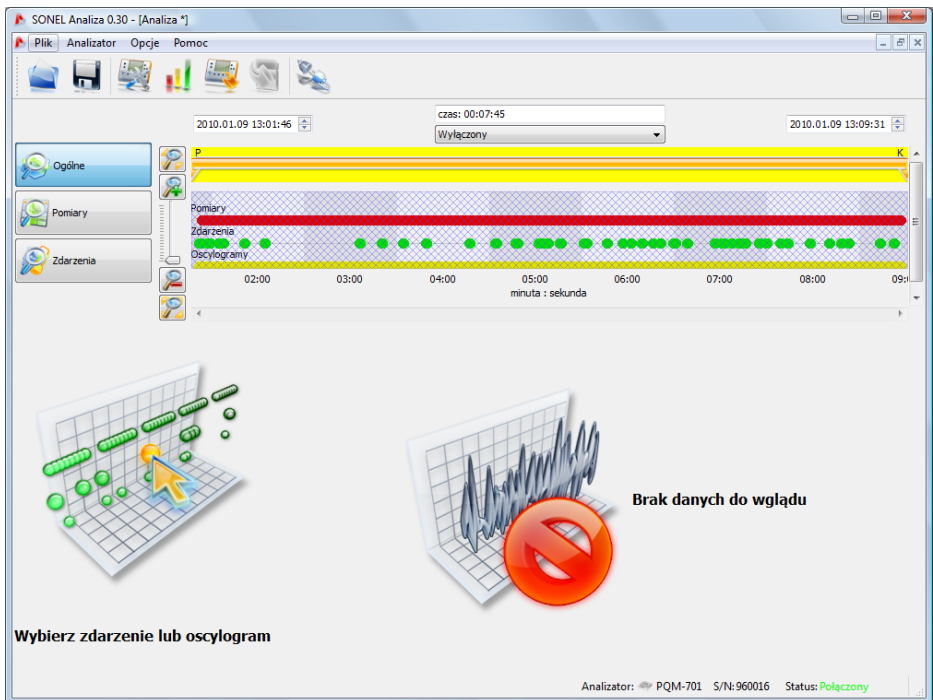


Abb. 55. Ansicht des allgemeinen Analysefensters.

Rys. 56In der Ansicht **Allgemein** kann eine schnelle Vorschau des Oszillogramms und/oder des Ereignisses vorgenommen werden. Es kann aber keine Vorschau der Messungen vorgenommen werden. Nachdem Sie mit dem Cursor den Messpunkt markieren und die linke Maustaste

te klicken, erscheinen auf dem Display Informationen bezüglich dieses Ereignisses und die Oszillogramme, falls sie mit dem Ereignis aufgezeichnet werden (Abb. 56).

Es kann passieren, das Ereignisdiagramm sehr dicht ist und an einer Stelle mehrere Punkte übereinander platziert wurden, in diesem Fall wird der Cursor das Ereignis und Oszillogramm anzeigen, deren Erscheinung am ehesten geschah. Gleichzeitig erscheint über dem markierten Punkt die Information über die Anzahl der Ereignisse und Oszillogramme.

Eine größere Anzahl der Ereignisse in diesem Punkt hat zur Folge, dass über dem Diagramm Registerkarten erscheinen. Beschreibungen der jeweiligen Registerkarten entsprechen dem Ereignistyp oder Oszillogramm.

Das Oszillogramm, das nach Wahl des Ereignisses angezeigt wird, stammt vom Anfang des Ereignisses.

Der Benutzer Kann den Schieberegler auf der linken Seite des Fensters verwenden (oder das Mausrad) um den ausgewählten Bereich zu vergrößern (Verkleinerung des Zeitabstandes). Die Markierung der Punkte des Ereignisses, für das Anfangs- und End-Oszillogramme verfügbar sind, hat die Markierung der Punkte der Oszillogramme zur Folge. Ähnlich wenn Oszillogramme nach der Mittelungszeit aufgezeichnet werden, wird das Anklicken des Punktes der Messung gleichzeitig den Punkt des zugehörigen Oszillogramms beleuchten.

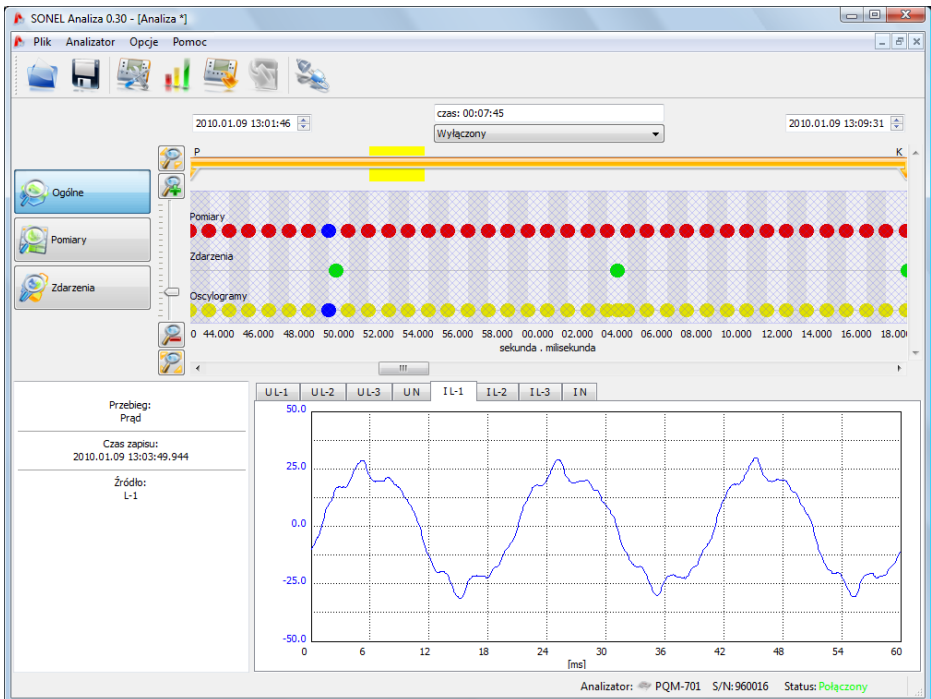


Abb. 56. Allgemeine Ansicht mit Vorschau des Oszillogramms.

7.3.2 Messungen

Rys. 57 Durch Drücken der Taste **Messungen** wird die Ansicht des Fensters geändert (Abb. 57). Im unteren Teil erscheinen die verfügbaren Parameter, die analysiert werden können.

Auf dem Diagramm erscheinen Punkte, die die Messung der Parameter in dem Zeitbereich darstellen. Bei einer großen Datenmenge, können sich die Punkte zu einer Linie verbinden.

Unterhalb des Diagramms wird die zusammenfassende Tabelle angezeigt, die die aufgezichneten Werte zeigt. Die Tabelle zeigt nur die Daten aus dem ausgewählten Zeitraum an.

Die Auswahlfelder links erlauben die jeweiligen Arten der Parameter aus der Tabelle ein- und auszuschalten.

Die Wahl des Parameters, der in verschiedenen Phasen gemessen wird (z.B. Spannung), wird alle Registerkarten in der Tabelle aufrufen (U L1, U L2, U L3). Um die in der Tabelle angezeigte Datenmenge zu begrenzen, auf z.B. eine Phase, verwenden Sie die Tasten (L1, L2, L3, N) auf der rechten Seite des Fensters.

Durch klicken mit der rechten Maustaste auf den Bereich der Tabelle, wird ein Kontextmenü mit den folgenden Optionen angezeigt: **Mittel**, **Moment**, **Min.**, **Max.** (Abb. 58Abb. 58). Durch Auswahl dieser Optionen werden die entsprechenden aufgezeichneten Werte (abhängig von der Konfiguration) angezeigt oder ausgeblendet, wenn die Markierung entfernt wurde.

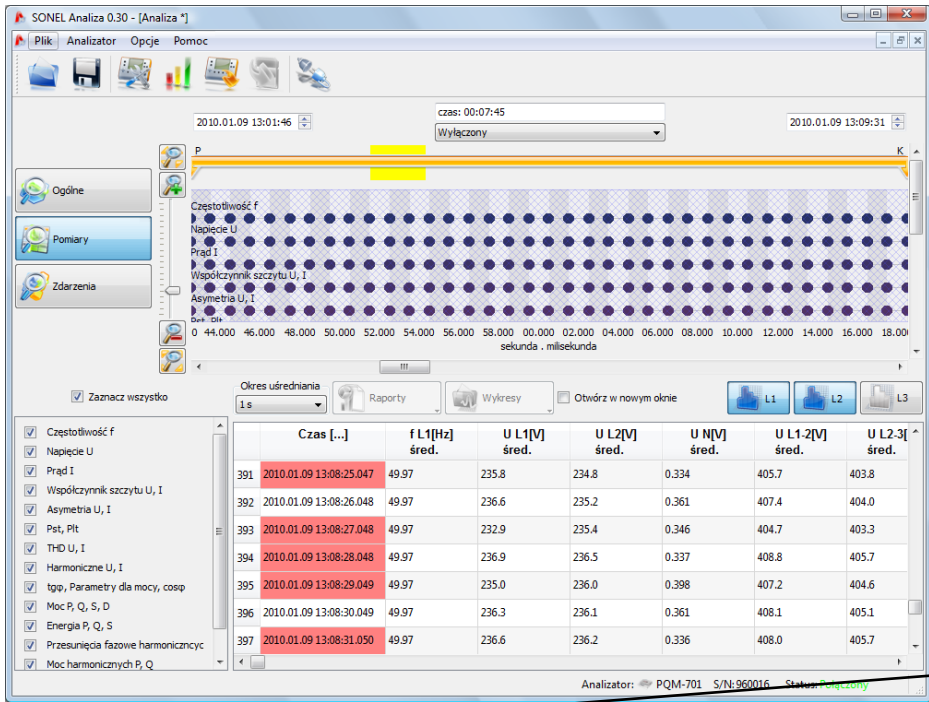


Abb. 57. Das Fenster Messung gemäß der Benutzereinstellungen.

Durch Markierung der Option **In einem neuen Fenster öffnen** hat zur Folge, dass das neue Diagramm oder die neue Tabelle jedes Mal in einem neuen Fenster geöffnet werden. Wenn die Option inaktiv ist, wird das separate Fenster mit dem Diagramm oder der Tabelle aktualisiert.

Die Zeilen, in denen das Feld **Zeit** einen roten Hintergrund hat, bedeutet, dass der jeweilige Messungs-Datensatz markiert ist, d.h. während des jeweiligen Mittelungszeitabschnitts kam es zu einem Ereignis (Überspannung, Einbruch oder Unterbrechung). Das Konzept der Kennzeichnung wurde durch die Norm PN-EN 61000-4-30 eingeführt. Die erwähnten Arten der Ereignisse können Grund für die fehlerhafte Messung einiger Netzwerkparameter sein und die Norm empfiehlt in

diesem Fall, dass der gesamte Mittelungszeitraum markiert wird, wodurch dem Benutzer signalisiert wird, dass die gemessenen Werte fehlerhaft sein können. Dem Benutzer bleibt überlassen, wie er die markierten Messungen interpretieren soll.

Der Benutzer kann verschiedene Arten von Diagrammen generieren. Dazu dient die Taste **Diagramme**. Folgende Möglichkeiten stehen zur Verfügung:

- **Rys. 59 Zeitdiagramm** – nach Markierung der Registerkarte **Zeit**, zusammen mit einer beliebigen anderen Registerkarte (Registerkarten) (wie auf Abb. 58Abb. 58 gezeigt), erscheint nach Wahl dieser Option ein neues Fenster mit dem Diagramm, auf dem der Zeitverlauf der jeweiligen Parameter gezeigt wurde. Um auf dem Diagramm nur einen Teil des gesamten Zeitabschnitts anzuzeigen, müssen Sie in der Registerkarte **Zeit** den gewünschten Zeitraum markieren und danach die Registerkarten der entsprechenden Parameter. Es können Registerkarten mit beliebigen Parametern markiert werden, darunter einzelne Oberwellen z.B. U, I, f, H03, H05 usw. Ein Beispiel eines solchen Diagramms wurde auf der Abb. 59 gezeigt,
- **Oszillogramm** – Verlauf der momentanen Spannung und des Stromes, falls zutreffend, z.B. in Ereignissen oder am Ende der Mittelungszeit (Abb. 63Abb. 63). Das Oszillogramm kann angezeigt werden, indem die Zeile mit dem verfügbaren Oszillogramm markiert wird und die Option **Diagramm** und danach **Oszillogramm** gewählt wird, oder durch doppeltes Klicken der jeweiligen Zeile,
- **Diagramm der Oberwellen** – das Balkendiagramm zeigt die Werte der Oberwellen 1..50. Diese Option ist aktiv, auch wenn nur eine Oberwellen markiert ist (auch dann werden alle Oberwellen angezeigt). Alle anderen markierten Größen (die keine Oberwellen sind, z.B. U, f, I usw.) werden ignoriert. Wenn ein Zeitbereich markiert wurde (mehrere Zeilen) entspricht das angezeigte Diagramm dem Durchschnittswert der Oberwellen in diesem Bereich (Abb. 61Abb. 61).

Im Prinzip werden die Parameter gemäß der in der Konfiguration bestimmten Mittelungszeit aufgezeichnet. Beispielsweise, wenn der Benutzer eine Mittelungszeit von 10 Minuten eingestellt hat, wird alle 10 Minuten auf der Speicherkarte ein Datensatz mit den Mittelwerten (eventuell mit den Minimal-, Maximal- und Momentwerten) der Parameter gespeichert. In einigen Fällen können jedoch Abweichungen von dieser Regel auftreten. Die Beispiele können wie folgt sein:

- **Flickerfaktor P_{fl}** – wird alle 2 Stunden gemessen, also bei einer Mittelungszeit von 10 Minuten, erscheint der neue Wert P_{fl} alle 12 Mittelungszeitabschnitte,
- **Frequenz** - die Messzeit dieser Größe beträgt 10 Sekunden,
- **Die 15-minütigen Wirk- und Blindleistungen** bei der Aufzeichnung nach EN 50160, in der der grundlegende Mittelungszeitabschnitt 10 Minuten beträgt.

Um die Suche von Parameter, die mit unterschiedlichen Mittelungszeiten gemessen wurden, zu erleichtern, wurde die Möglichkeit Parameter in Bezug auf die gewählte Mittelungszeit anzuzeigen, hinzugefügt. Beispielsweise, wenn der Benutzer mit einer Zeit von 10 Minuten gemessen hat und die Datensätze, in denen der Faktor P_{fl} gemessen wurde, schnell aufrufen möchte, kann er aus der Liste **Daten anzeigen alle...** den Wert 2h auswählen. Dann bleiben in der Tabelle nur die Zeilen, deren Zeit ein Vielfaches von zwei Stunden ist, in denen der nächste gemessene Wert des Faktors P_{fl} gefunden wurde.

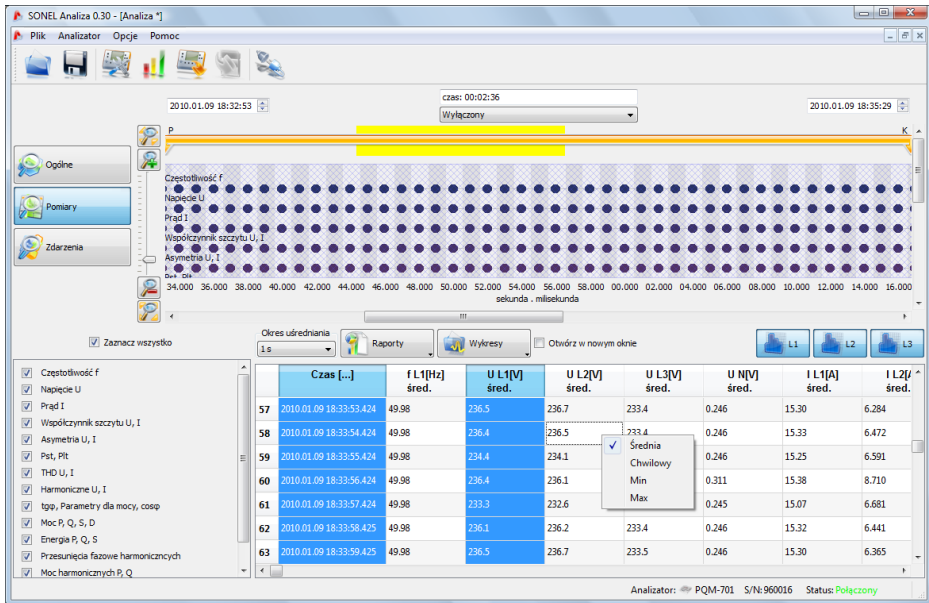


Abb. 58. Auswahl der Daten für das Diagramm.



Abb. 59. Fenster des Zeitdiagramms.

Beschreibung des Zeitdiagramms:

- links oben befindet sich die Information über den Anfang, das Ende und den Zeitunterschied des Diagramms (horizontale Achse),
- links unten werden die Informationen zu den Werten der unabhängigen Marker angezeigt (Kreuze auf dem Diagramm),
- die Marker können mit der linken Maustaste verschoben werden (durch Greifen und Bewegen des Markers)
- mit den Pfeilen links/rechts auf der Tastatur wird der Marker auf der Zeitleiste verschoben,
- mit den Pfeilen oben/unten kann man mit dem aktiven Marker zum nächsten Verlauf wechseln,
- im Standardmodus wird der gegriffene Marker vom nächsten Verlauf angezogen. Wenn der Benutzer durch Klicken der rechten Maustaste im Bereich des Diagramms die Option **Beliebiger Modus** markiert, kann der Marker beliebig platziert werden. Wenn sich in der Nähe des Markers kein Verlauf befindet, wechselt seine Farbe in Grau, und die Koordinaten der Achse X und Y bezeichnen seine aktuelle Lage,
- die jeweiligen Verläufe können ein- und ausgeschaltet werden und ihre Farben können mithilfe der Tasten über dem Diagramm geändert werden,
- das Diagramm kann horizontal und vertikal vergrößert werden, mithilfe der Schieberegler oder des Mousrads (vertikal, wenn der Cursor in der Nähe der seitlichen Grenzen des Diagramms platziert ist, horizontal, wenn der Cursor in der Nähe des unteren Rands ist),
- indem die SHIFT-Taste gedrückt gehalten wird, kann mit der Maus ein rechteckiger Bereich des Diagramms markiert werden, den Sie vergrößern möchten,
- indem die Taste STRG gedrückt gehalten wird, kann durch Klicken mit der linken Maustaste auf das Diagramm und festhalten der sichtbare Teil verschoben werden (der Pfeil des Cursors wechselt zur Hand),
- das Diagramm hat zwei vertikale Skalen - links und rechts, aus den Dropdown-Listen kann die Skala für den Wert, der auf dem Diagramm angezeigt wird, gewählt werden, den der Benutzer aufrufen möchte,
- auf den Dropdown-Listen der Skalen können außer der Parameter, die der Benutzer markiert hat (z.B. UL1, K, P usw.), können auch Gruppen der Parameter gewählt werden, die dieselben Einheiten haben (V, A, W, var, VA, %, Hz, [---] - ohne Einheiten), nach Auswahl der Gruppe, wird auf dem Diagramm eine Skala angenommen (z.B. w V) alle Verläufe dieser Gruppe werden so skaliert, dass sie in die Skala passen,
- die Auswahl der jeweiligen Gruppe für die linke Skala Y, deaktiviert die Gruppe und alle Parameter dieser Gruppe auf der Liste der rechten Skala Y und umgekehrt,
- in den Ecken des Diagramms befinden sich Symbole, die ein Aufrufen einer Miniatur des gesamten Bereichs des Diagramms erlaubt, auf dem das ausgewählte Rechteck den aktuell vergrößerten Bereich darstellt; die Verschiebung mithilfe der Maus auf dem Bereich der Miniatur des Diagramms, hat zur Folge, dass das Diagramm im Hauptfenster auch verschoben wird,
- das Drücken einer der Tasten im oberen Teil des Displays ermöglicht die Speicherung des Diagramms in einem vom Benutzer gewählten Format: jpg, png oder xpm, die Speicherung in der Zwischenablage oder das Ausdrucken,
- auf dem Diagramm können maximal 12 Verläufe dargestellt werden.

Rys. 60 Nach Markierung einer beliebigen Registerkarte (z.B. f, U L1, THD U usw.) oder eines beliebigen Bereichs von Feldern und Klicken der Taste **Bericht**, erscheint ein neues Fenster mit den markierten Daten. Die Daten beziehen sich auf die Zeit aus der markierten Registerkarte (Registerkarten oder Feldern). Ein Beispiel einer Tabelle zeigt die Abb. 60. Die Tabelle kann gespeichert, kopiert oder ausgedruckt werden.

Report

Plik Edytuj

Raport pomiarowy

Czas [...]	f L1[Hz] śred.	U L1[V] śred.	U L2[V] śred.	U L3[V] śred.	U L1-2[V] śred.	U L2-3[V] śred.	I L1[A] śred.	CF U L1[---] śred.
2010.01.11 10:53:34.577	---	227.1	230.6	230.1	395.9	398.3	25.61	1.39
2010.01.11 10:53:35.577	---	228.5	231.5	230.3	398.3	398.9	25.79	1.38
2010.01.11 10:53:36.578	---	227.1	230.2	230.8	395.0	398.5	25.52	1.38
2010.01.11 10:53:37.578	---	226.8	228.6	231.2	393.9	397.4	25.70	1.38
2010.01.11 10:53:38.578	---	228.2	229.7	231.5	397.0	398.2	25.79	1.39
2010.01.11 10:53:39.578	---	225.9	227.3	231.4	391.6	396.7	25.78	1.38
2010.01.11 10:53:40.578	---	228.8	230.3	231.8	398.3	398.9	25.83	1.38
2010.01.11 10:53:41.579	---	225.1	227.7	229.8	391.8	396.1	25.56	1.39
2010.01.11 10:53:42.579	---	227.9	229.4	231.5	396.4	398.1	25.83	1.39
2010.01.11 10:53:43.579	---	227.0	228.0	230.4	394.5	396.0	25.53	1.39
2010.01.11 10:53:44.579	---	226.2	228.0	230.7	393.0	396.7	25.74	1.39
2010.01.11 10:53:45.580	---	228.9	229.8	231.3	398.0	397.9	25.75	1.39
2010.01.11 10:53:46.580	---	228.2	229.4	230.4	397.1	396.9	26.33	1.39
2010.01.11 10:53:47.580	---	227.3	228.3	229.9	395.1	395.4	40.20	1.38
2010.01.11 10:53:48.581	---	226.9	228.2	229.6	394.7	395.2	42.15	1.38
2010.01.11 10:53:49.581	---	227.0	228.3	229.8	394.9	395.6	42.14	1.38
2010.01.11 10:53:50.581	49.98	226.1	226.8	229.0	392.5	393.5	42.00	1.39
2010.01.11 10:53:51.581	49.98	226.6	228.4	229.4	394.6	395.4	42.09	1.39
2010.01.11 10:53:52.582	49.98	226.0	227.5	228.7	393.4	393.9	42.06	1.39

Abb. 60. Beispiel einer Tabelle nach dem Klicken der Taste Bericht.

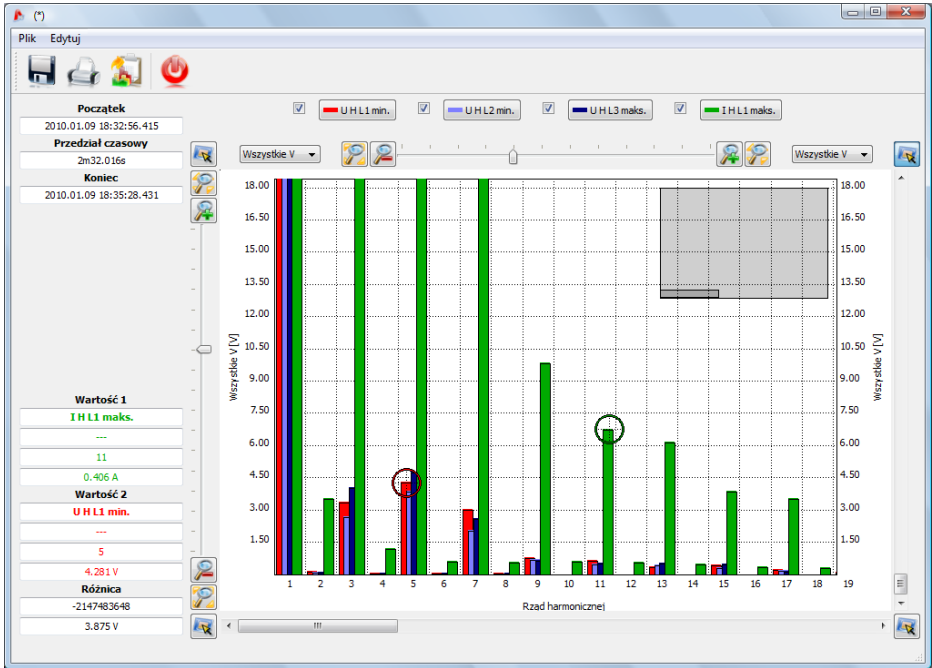


Abb. 61. Diagramm der Oberwellen.

7.3.3 Ereignisse

Rys. 62 Durch Drücken der Taste **Ereignisse** wird die Ansicht des Hauptfensters geändert (Abb. 57). In diesem Modus kann der Benutzer alle durch den Analysator gespeicherten Ereignisse analysieren.

Auf dem Diagramm erscheinen Punkte, die die gespeicherten Ereignisse anzeigen.

Unten links erscheinen die Parameter, die für die Tabellenanzeige gewählt werden können. Der Benutzer kann die ausgewählten Typen ein- und ausschalten, indem die entsprechenden Typen durch Klicken der Auswahlfelder gewählt werden. Die Tabelle zeigt nur die gewählten Typen der Ereignisse.

Erläuterung der einzelnen Registerkarten:

- **Marker** – durch markieren dieses Feldes (mit einem Doppelklick) wird das Ereignis zusammen mit dem Oszillogramm (falls vorhanden) auf dem Punkte-Diagramm gekennzeichnet und das Ereignis wird zur Liste in dem Tab **Marker** hinzugefügt,
- **Typ** – bezeichnet den Ereignistyp (Überspannung, Einbruch, Überschreitung eines Schwellenwertes usw.),
- **Quelle** – bezeichnet die Phase, in der das Ereignis erkannt wurden,
- **Anfang, Ende** – Anfangszeit und Endzeit des Ereignisses,
- **Laufzeit** – Laufzeit des Ereignisses,
- **Extreme** – der Mindest- oder Höchstwert während der Laufzeit des Ereignisses,
- **Schwelle** – der Schwellenwert wird angegeben, deren Überschreitung die Erkennung eines Ereignisses zur Folge hätte (entspricht dem Schwellenwert, der bei der Konfiguration des Analysators eingestellt wurde),

- **Oszillogramm** – das Zeichen **V** bedeutet, dass für dieses Ereignis ein Oszillogramm verfügbar ist, das Zeichen **X** bedeutet, dass kein Oszillogramm verfügbar ist.

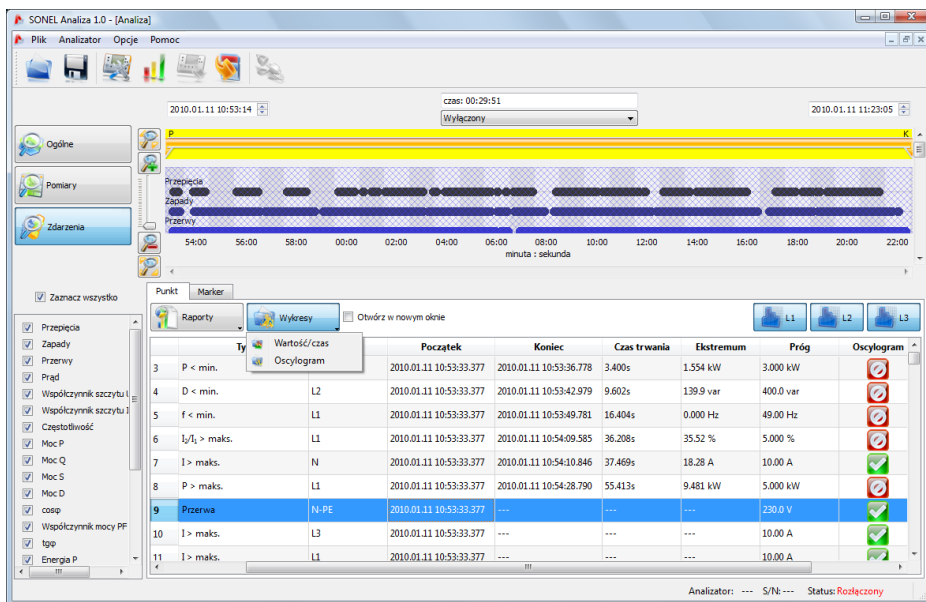


Abb. 62. Ansicht des Ereignisfensters für die benutzerdefinierte Aufzeichnung.

Rys. 64 Die Markierung eines Ereignisses mit Oszillogramm aktiviert das Diagramm **Oszillogramm**. Die Auswahl dieses Diagramms oder ein Doppelklick auf die Zeile des Ereignisses, öffnet das Fenster mit dem Diagramm des Ereignisses (Abb. 64). Die Funktion **In einem neuen Fenster öffnen** funktioniert ähnlich wie im Fall der Datenanalyse.

Das Fenster **Marker** beinhaltet die vom Benutzer gewählten Ereignisse, die gewählt wurden. In dieser Tabelle ist es möglich, Zeilen zu verschieben (oder Ereignisse), so dass der Benutzer sie individuell, den eigenen Bedürfnissen entsprechend, platzieren kann. Die Verschiebung der Zeilen erfolgt über die „Drag and Drop“-Methode, also durch Halten der linken Maustaste auf einem beliebigen Feld der Zeile und durch Verschieben nach oben oder unten.

Alle Tasten in dem Tab **Marker** funktionieren genauso, wie in dem Tab **Punkt**.

Auf der Abb. 63 Abb. 63 wurde ein Beispiel eines Oszillogramms gezeigt. Weil zum Ereignis zwei Oszillogramme zugeschrieben sind (Anfang und Ende), sind auf dem Diagramm mit vertikalen Strichen der Anfang (**Start**) und das Ende (**Ende**) des Ereignisses gekennzeichnet. Im Falle eines kurzen Ereignisses wird der Verlauf kontinuierlich dargestellt. Wenn die Laufzeit des Ereignisses länger ist, werden zwei Oszillogramme ausgegeben (2 Zeitabschnitte vor und 4 nach dem Beginn des Ereignisses und 2 Zeitabschnitte vor und 4 nach dem Ende des Ereignisses). Das Diagramm kann beliebig vergrößert werden, was die Abb. 64 Abb. 64 zeigt. Das Diagramm kann genauso bedient werden, wie das Zeitdiagramm.

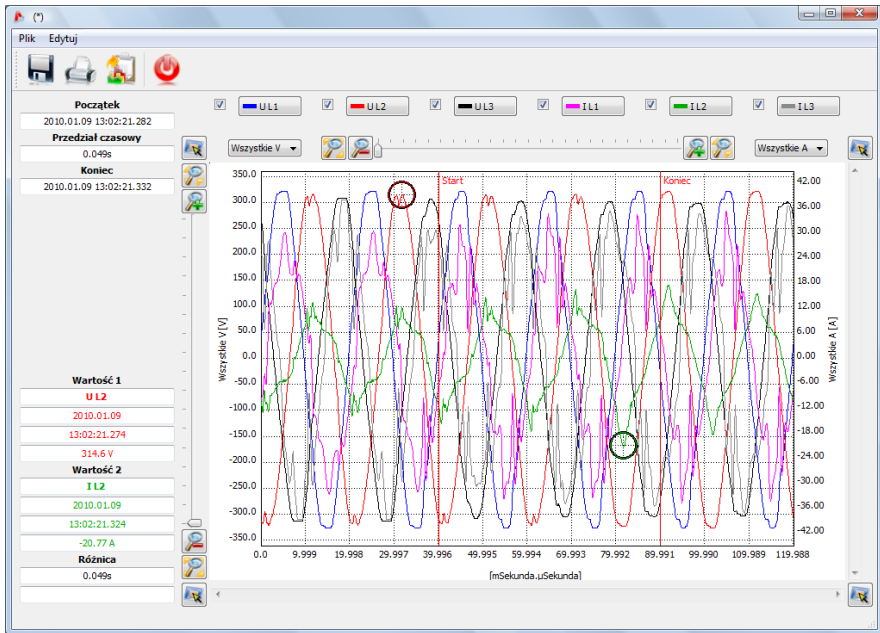
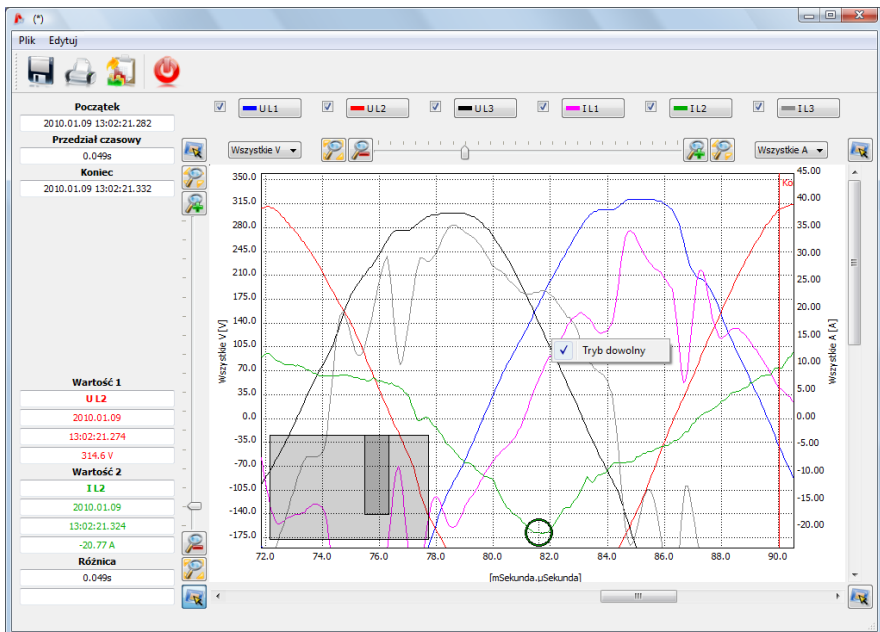
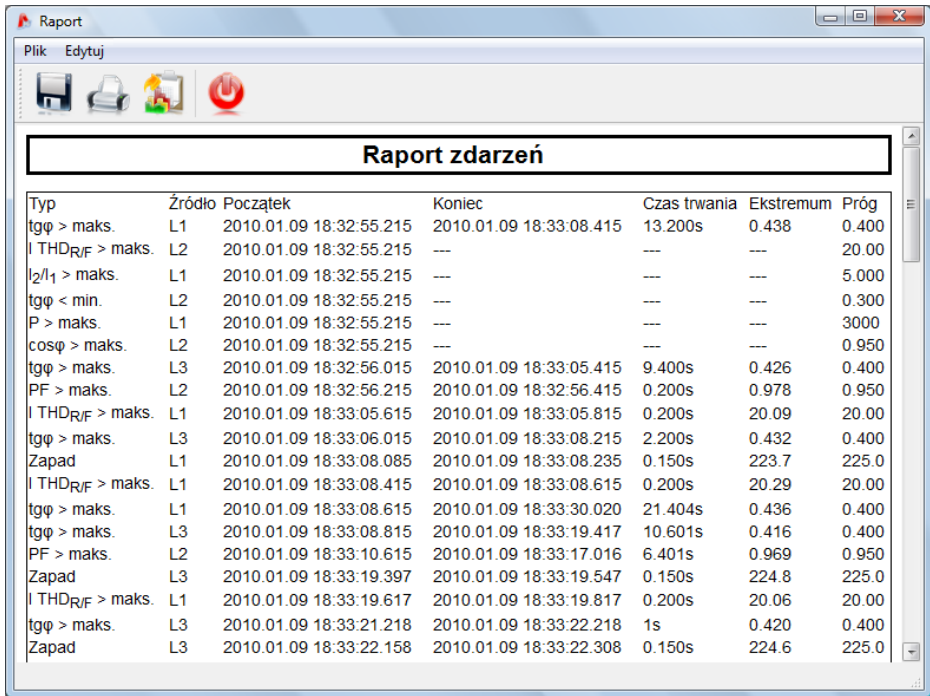


Abb. 63. Diagramm mit den Anfangs- und End-Oszillogramm.



64Abb. 64. Vergrößern eines Teils des Oszillogramms.

Die in der Tabelle angezeigten Ereignisse können in Form eines Berichts nach Wahl der Option **Bericht** → **Ereignisbericht**. Ein Beispiel eines solchen Berichts zeigt die Abb. 65Abb. 65.

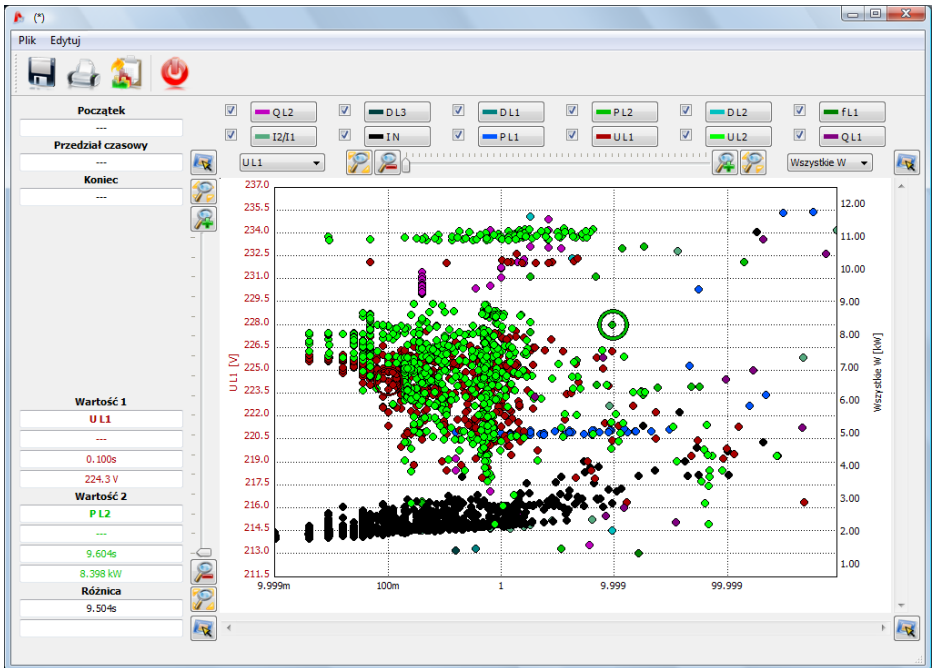


Typ	Źródło	Początek	Koniec	Czas trwania	Ekstremum	Próg
tgφ > maks.	L1	2010.01.09 18:32:55.215	2010.01.09 18:33:08.415	13.200s	0.438	0.400
I THDR/F > maks.	L2	2010.01.09 18:32:55.215	---	---	---	20.00
I ₂ /I ₁ > maks.	L1	2010.01.09 18:32:55.215	---	---	---	5.000
tgφ < min.	L2	2010.01.09 18:32:55.215	---	---	---	0.300
P > maks.	L1	2010.01.09 18:32:55.215	---	---	---	3000
cosφ > maks.	L2	2010.01.09 18:32:55.215	---	---	---	0.950
tgφ > maks.	L3	2010.01.09 18:32:56.015	2010.01.09 18:33:05.415	9.400s	0.426	0.400
PF > maks.	L2	2010.01.09 18:32:56.215	2010.01.09 18:32:56.415	0.200s	0.978	0.950
I THDR/F > maks.	L1	2010.01.09 18:33:05.615	2010.01.09 18:33:05.815	0.200s	20.09	20.00
tgφ > maks.	L3	2010.01.09 18:33:06.015	2010.01.09 18:33:08.215	2.200s	0.432	0.400
Zapad	L1	2010.01.09 18:33:08.085	2010.01.09 18:33:08.235	0.150s	223.7	225.0
I THDR/F > maks.	L1	2010.01.09 18:33:08.415	2010.01.09 18:33:08.615	0.200s	20.29	20.00
tgφ > maks.	L1	2010.01.09 18:33:08.615	2010.01.09 18:33:30.020	21.404s	0.436	0.400
tgφ > maks.	L3	2010.01.09 18:33:08.815	2010.01.09 18:33:19.417	10.601s	0.416	0.400
PF > maks.	L2	2010.01.09 18:33:10.615	2010.01.09 18:33:17.016	6.401s	0.969	0.950
Zapad	L3	2010.01.09 18:33:19.397	2010.01.09 18:33:19.547	0.150s	224.8	225.0
I THDR/F > maks.	L1	2010.01.09 18:33:19.617	2010.01.09 18:33:19.817	0.200s	20.06	20.00
tgφ > maks.	L3	2010.01.09 18:33:21.218	2010.01.09 18:33:22.218	1s	0.420	0.400
Zapad	L3	2010.01.09 18:33:22.158	2010.01.09 18:33:22.308	0.150s	224.6	225.0

Abb. 65. Ereignisbericht.

Auf der Abb. 66Abb. 66 ist ein **Wert/Zeit**-Diagramm zu sehen. Dieses Diagramm zeigt in Form von Punkten die Ereignisse und erlaubt viele Ereignisse auf einmal anzuzeigen, zusammen mit dem Verhältnis zwischen der Laufzeit des Ereignisses (auf der horizontalen Achse) und dem Maximalwert des Ereignisses (auf der vertikalen Achse).

Wenn das Ereignis die Spannung oder den Strom betrifft, kann durch Auswahl mit der Maus des entsprechenden Punkts und Doppelklick ein neues Fenster mit dem Verlauf des Oszillogramms, falls verfügbar, aufgerufen.



66Abb. 66. Ereignisanalyse – Wert-/Zeit-Diagramm.

Hinweis

Rys. 64Rys. 63Rys. 65Rys. 59Die Vergrößerung/Verkleinerung, Verschiebung und andere Aktionen und die Funktionsweise der Kreuze, die auf der Abb. 64, Abb. 63, Abb. 65 gezeigt sind, sind ähnlich wie für das Diagramm auf Abb. 59.

7.3.4 Datenanalyse nach EN 50160

Die Datenanalyse nach EN 50160 verläuft ähnlich, wie die **benutzerdefinierte Analyse**. Der Unterschied ist, dass aus den Ereignistypen nur drei berücksichtigt werden (Überspannungen, Einbrüche und Unterbrechungen).

Falls der Strom gemessen wurde, werden in der Tabelle mit den gemessenen Parametern 15-minütige Mittelwerte der Wirk-, Blind- und Scheinleistung und $\cos\phi$.

Rys. 67Hier wird eine zusätzliche Taste **Bericht EN 50160** erscheinen. Nach Drücken dieser Taste ist es möglich den Endbericht der Messungen auf Übereinstimmung mit der Norm EN 50160 zu speichern. Der Bericht wird als PDF (zusammen mit dem Diagramm), als HTML oder als Textdatei gespeichert. Nachdem Sie die Taste **Bericht EN 50160** klicken, erscheint ein Fenster, in Sie die zusätzlichen Daten für den Bericht eingeben können (Abb. 67).

Raport EN 50160

Miejsce pomiaru:

Rozdzielnia główna

Przyczyna pomiaru:

Badania jakości energii zgodnie z EN 50160

Pomiar wykonał:

Jan Kowalski

Logo firmy:

C:\logo Sonelec.png

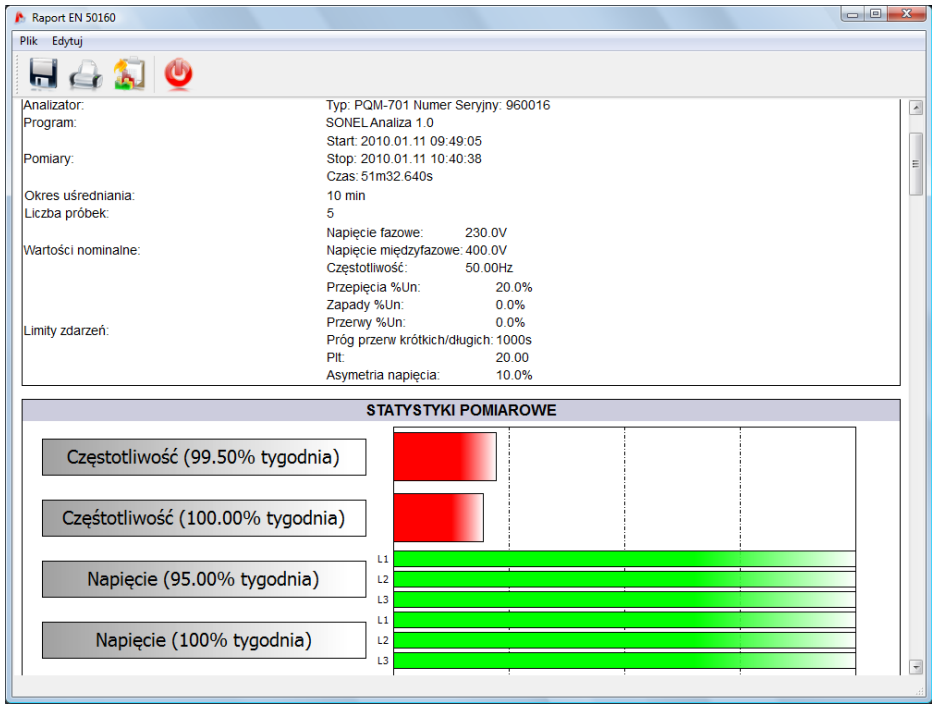
Uwagi:

OK

Anuluj

Abb. 67. Eingabe von zusätzlichen Daten in den Bericht.

Wenn die Felder leer bleiben, bleiben die entsprechenden Felder im Bericht ebenfalls leer. Wenn der Benutzer möchte, dass in der Kopfzeile des Berichts das Firmenlogo oder eine andere Grafik eingefügt wird, kann er sie in dem Feld **Firmenlogo** auswählen. Als Beispiel eines Teils eines Berichts zeigt die Abb. 68Abb. 68.



68Abb. 68. Bericht der Messung der Einhaltung der Norm EN 50160.

Hinweis

Der Zeitabschnitt, der für den Bericht verwendet wird, stammt aus dem Zeitabschnitt, den der Benutzer bei dem Abrufen der Daten für die Analyse ausgewählt hat. Wenn dieser Zeitabschnitt kürzer oder länger als 1 Woche ist (von der Norm angefordert), wird der Bericht weiterhin generiert. Der Benutzer ist für die Wahl der entsprechenden Zeitabschnitt, wobei in diesem Fall gibt das Programm eine Warnmeldung aus, das der Zeitabschnitt anders ist als eine Woche, bevor der Bericht erstellt wird.

8 Weitere Optionen der Anwendung

8.1 Status des Analysators

Rys. 69Der Status des Analysators kann zu jeder Zeit überprüft werden. Das Fenster mit den Parametern des Analysators wird über das Hauptmenü aufgerufen: **Analysator** → **Status**. Nach der Auswahl der Option erscheint das Fenster mit den Grundparametern des Analysators (Typ, Status, Versorgung, usw.), wie auf Abb. 69 gezeigt.

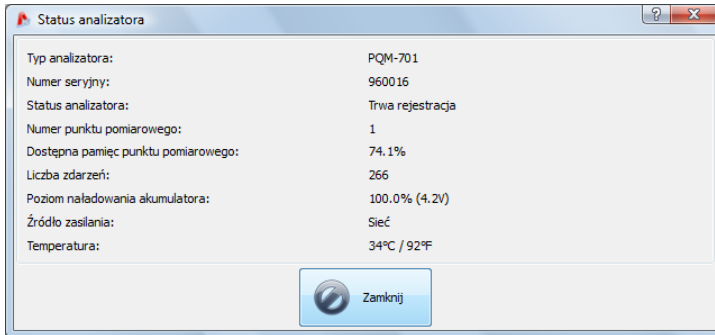


Abb. 69. Status des Analysators.

Die Anzahl der Ereignisse entspricht der Anzahl der Ereignisse, die in dem jeweiligen Messpunkt erkannt wurde, ab dem Beginn der zuletzt gestarteten Aufzeichnung. Das Senden einer neuen Konfiguration oder Ausschalten des Analysators setzt alle Zähler zurück.

8.2 Fernauslösung und Anhalten der Messung, Änderung des Messpunktes.

Rys. 70In dem Programm ist es möglich, die Aufzeichnung Drahtlos zu starten und anzuhalten. Dazu dient die entsprechende Option aus dem Menü: **Analysator** → **Starten/Anhalten**. Nach Auswahl der Option erscheint das Fenster (Abb. 70) zur Wahl des Starts oder des Beendens der Aufzeichnung. Unten befinden sich die Tasten **Starten/Anhalten/Schließen** zur Wahl der gewünschten Aktion.

Hinweis

*Während der Aufzeichnung darf der Messpunkt nicht geändert werden.
Der Messpunkt kann nur nach Anhalten der Aufzeichnung geändert werden (der Zustand **STOPP**).*

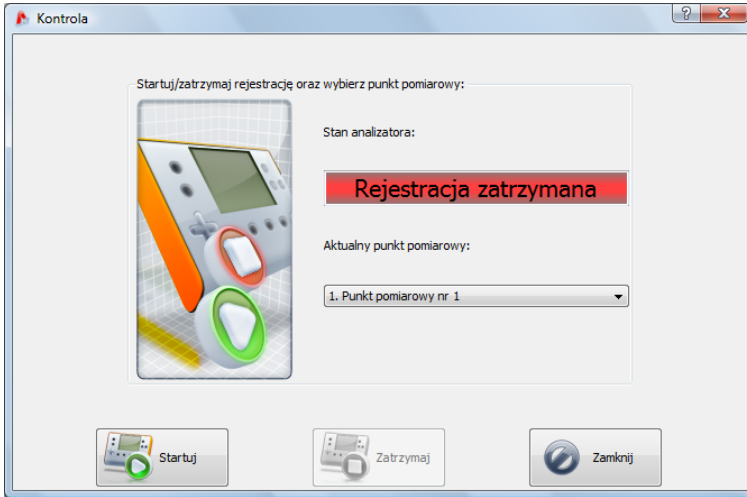


Abb. 70. Fernauslösung und -abschluss der Aufzeichnung und die Änderung des Messpunktes.

8.3 Konfiguration des Programms

Rys. 71 Nachdem Sie aus dem Menü die Option **Optionen** → **Konfiguration des Programms** gewählt haben, können Sie die Grund der Anwendung ändern (Abb. 71).

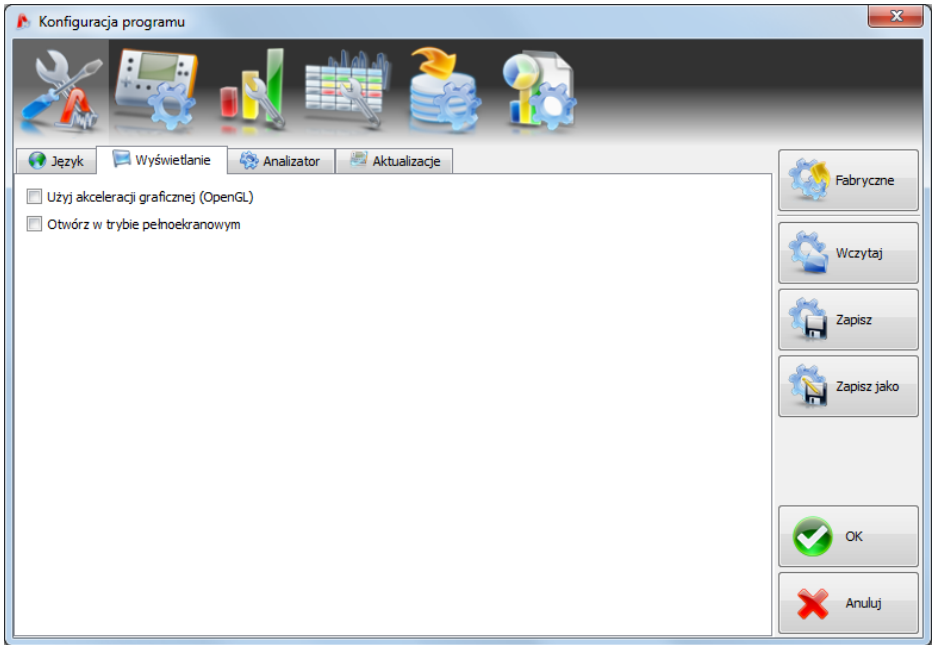


Abb. 71. Konfiguration des Programms – Anzeigeoptionen.

Die gesamten Einstellungen wurden in mehrere Teile unterteilt, die durch die Symbole gekennzeichnet werden:

- Haupteinstellungen,
- Konfiguration des Analysators,
- Aktuelle Messungen
- Farbeinstellungen,
- Datenanalyse,
- Einstellungen der Berichte.

Nach der Auswahl jeder von ihnen, erscheinen in der Mitte des Fensters die detaillierten Einstellungen, die in Registerkarten unterteilt sein können.

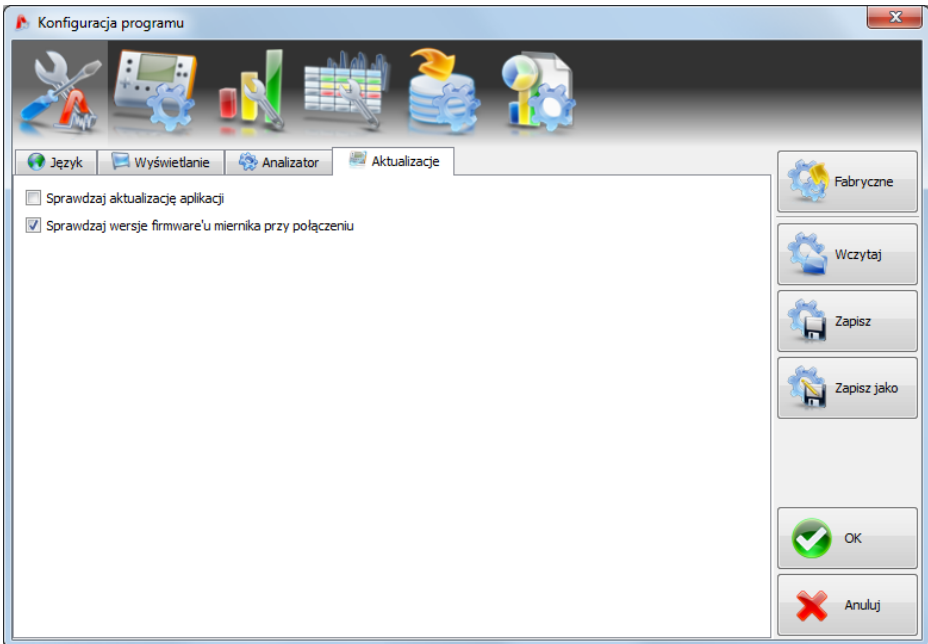
Auf der rechten Seite befinden sich die Navigationstasten des Fensters:

- **Grund** – setzt die Einstellungen der Applikation zurück,
- **Einlesen** – Einlesen der Einstellungen aus einer Datei,
- **Speichern / Speichern als** – speichern der Programmeinstellungen in einer Datei,
- **Ok** – Speichert die eingegebenen Änderungen (nur für die Laufzeit der aktuellen Sitzung; die Änderungen werden nach Schließen der Anwendung verworfen),
- **Abbrechen** – schließt das Fenster, ohne die Änderungen zu speichern.

8.3.1 Haupteinstellungen

- Die Registerkarte **Sprache** – ermöglicht die Auswahl der Sprache.
- Rys. 71Die Registerkarte **Anzeige** (Abb. 71):

-
- **Grafikbeschleunigung verwenden** – die Markierung dieser Option bewirkt, dass der Computerprozessor bei der Grafikgenerierung entlastet wird (z.B. Zeichnen von Diagrammen).
- Die letzte Option **Im Vollbildmodus öffnen** ermöglicht das Öffnen der Anwendung im Vollbildmodus.
- Die Registerkarte **Analysator** bezeichnet den Typ des Analysators, mit dem die Anwendung zusammenarbeiten soll, es muss der Analysator PQM-701 gewählt werden.
- Die Registerkarte **Updates** erlaubt die automatische Suche nach einer neuen Version von „Sonel Analysis“ und der Firmware des Analysators ein- und auszuschalten. Nachdem diese Option markiert ist, wird das Programm nach jedem Start eine Verbindung mit dem Server des Herstellers aufbauen und die Verfügbarkeit neuer Versionen überprüfen. Der Benutzer wird darüber mit einer entsprechenden Rückmeldung informiert, und kann über die Installation des Updates selbst entscheiden.



72Abb. 72. Konfiguration des Programms - Updates.

8.3.2 Konfiguration des Analysators

Diese Option ermöglicht es, die Standardkonfiguration des Analysators nach Start der Anwendung einzustellen. Die Markierung der Option **Aus einer Datei** hat zur Folge, dass die Anwendung die Standardeinstellung aus der Datei in dem Format *.settings übernehmen wird. Wenn der Benutzer die Datei nicht im Feld **Pfad** markiert hat, wird die Anwendung die Datei, die im Installations-Ordner gespeichert ist, übernehmen.

Wenn die Option „Aus einer Datei“ nicht markiert ist, wird die Anwendung die Herstellerkonfiguration übernehmen.

8.3.3 Aktuelle Messungen

Rys. 73 Dieser Teil der Einstellungen (Abb. 73) ermöglicht die Bestimmung der Farbgebung der Elemente und der Einstellungen im Modus der aktuellen Messungen. Das Ganze wurde aufgeteilt in Tabs: **Oszillogramme**, **Zeitdiagramm**, **Messungen**, **Zeiger**, **Oberwellen**.

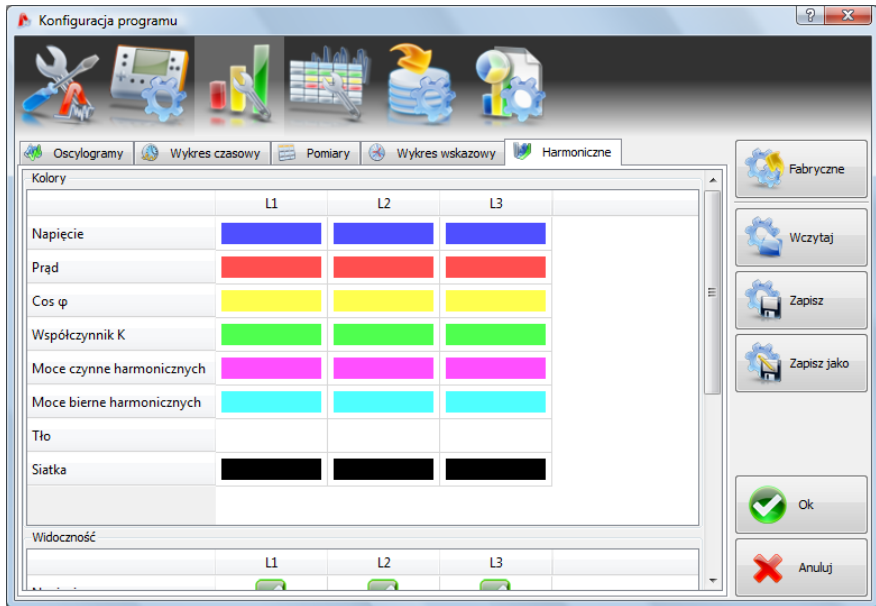


Abb. 73. Einstellungen des Modus aktuelle Messungen.

8.3.4 Farbeinstellungen

Dieser Teil ermöglicht es, die Farben der einzelnen Anwendungskomponenten zu ändern. Er wurde in folgende Tabs aufgeteilt:

- Farben des Diagramms,
- allgemeine Farben,
- Farben der Messungen,
- Farben der Ereignisse.

8.3.5 Datenanalyse

Die Registerkarte **Suche nach Geräten** erlaubt es Geräte anzuzeigen (Festplatten), die bei der Suche nach Kartenlesern mit der SD-Karte mit den Messdaten ignoriert werden sollen.

8.3.6 Einstellungen der Berichte

In diesem Bereich können zusätzliche Felder markiert werden, die bei der Erstellung von Berichten der Messungen verwendet werden.

8.4 Datenbank der Analysatoren

Rys. 74Indem in dem Hauptmenü **Optionen** →**Datenbank der Analysatoren**, gewählt wird, können weitere Analysatoren hinzugefügt werden oder die Vorhandenen bearbeitet (Abb. 74).

Nur Analysatoren, die der Benutzer zur Datenbank hinzugefügt hat, werden bei der drahtlosen Auswahl des Analysators sichtbar sein. Die in der Datenbank gespeicherte Seriennummer muss mit der Seriennummer des Analysators, mit dem die Verbindung aufgebaut werden soll, übereinstimmen. Analysatoren mit anderen Seriennummern werden von der Anwendung abgelehnt und nicht in der Analysatorenauswahl angezeigt (die betrifft nicht die USB-Verbindung).

Die Registerkarte **Auto PIN** informiert, ob vor der Datenübertragung die PIN-Angabe notwendig sein wird. Falls das Feld inaktiv ist, wird der Benutzer die PIN eingeben müssen.

Zusätzlich kann der Benutzer eine Option aktivieren, die über die Notwendigkeit der erneuten Kalibrierung des Geräts informieren wird. Der Hersteller gibt die Zeit an, nach der der Benutzer das Gerät Kalibrieren sollte, um die Genauigkeit der gemessenen Parameter einhalten zu können. Diese Genauigkeit verschlechtert sich durch die Alterung der Komponenten.

Um diese Funktion zu aktivieren, muss die Option **Vor dem Ablaufen des Kalibrierungszertifikats warnen** markiert sein. Wenn sie markiert ist, werden die Listen **Gültigkeit** und **Erinnerung** aktiviert. Funktionen:

- **Gültigkeit** (6, 12, 18 oder 24 Monate) – informiert darüber, in welchen Zeitabständen das Gerät Kalibriert werden sollte,
- **Erinnerung** (eine Woche, zwei Wochen, ein Monat) – hier wird eingestellt, wie viel Zeit vor Ablauf des Zertifikats die Erinnerung angezeigt werden soll (bei Start).

Die Registerkarte **Datum der Eichung** gibt den Tag, an dem der Analysator geeicht wurde an.

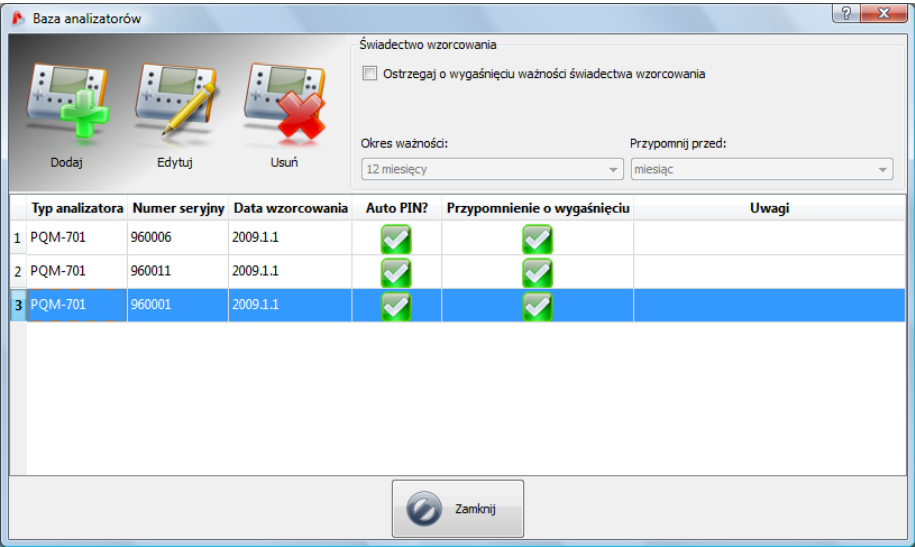


Abb. 74. Datenbank der Analysatoren.

Durch Klicken auf das Symbol **Hinzufügen** können weitere Analysatoren hinzugefügt werden, wie im Fenster unten gezeigt:

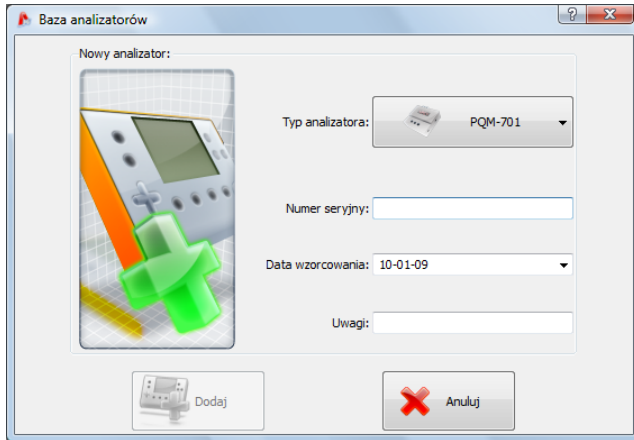


Abb. 75. Hinzufügen des Analysators zur Datenbank.

Nachdem **Entfernen** geklickt wurde, erscheint ein Fenster, wie unten gezeigt, das ermöglicht den Analysator zu entfernen:

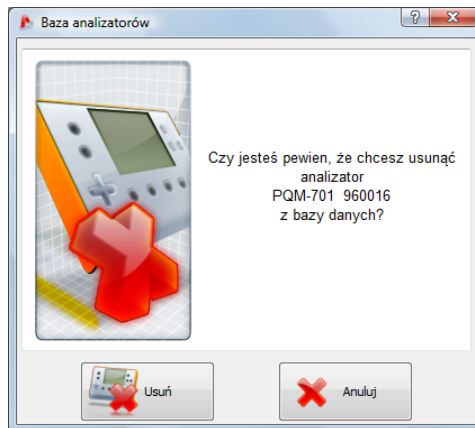


Abb. 76. Bestätigung, dass der Analysator aus der Datenbank gelöscht wurde.

8.5 Aktualisierung des Programms und der Firmware

8.3.1Bei jedem Start des Programms, wird die Verfügbarkeit einer neuen Version auf dem Server überprüft. Diese Funktion kann ein- und ausgeschaltet werden (siehe Abschnitt 8.3.1). Wenn die Option ausgeschaltet ist, wird die Aktualisierung manuell durchgeführt, durch Wahl aus

dem Menü der Option **Hilfe →Aktualisierung Online**. Um die Aktualisierung durchzuführen, ist eine Internetverbindung notwendig.

Wenn das Programm eine neuere Version von "Sonel Analysis" erkennt, kann der Benutzer selbst über die Aktualisierung entscheiden. Nach dem Download der Dateien wird die neue Version installiert und die Anwendung wird erneut gestartet.

Das Programm kann auch die Verfügbarkeit einer neueren Firmwareversion überprüfen. Die Firmware kann nur bei aktiver USB-Verbindung aktualisiert werden. Wenn eine neue Version verfügbar ist, wird die Information über die neue Version und den eingeführten Änderungen angezeigt. Nach Bestätigung durch den Benutzer wird die Aktualisierung eingeleitet. Nach Abschluss der Aktualisierung unterbricht der Analysator die Verbindung und wird erneut gestartet.

9 Qualität der Stromversorgung – Leitfaden

9.1 Allgemeine Informationen

Die Messmethode wurde vor allem unter Berücksichtigung der Anforderungen der Energiequalitätsnorm entwickelt. Es wird vor allem die Norm PN-EN 61000-4-30:2009 gemeint. Das steigende Interesse an diesem Thema und der steigende Bedarf an Geräten zur Messung der Parameter von elektrischen Netzen hatte zur Folge, dass auf dem Markt verschiedene Netzwerkanalysatoren erschienen. Diese Geräte haben jedoch verschiedene Algorithmen verwendet, deshalb waren die Messergebnisse desselben Objekts mit verschiedenen Geräten oftmals unterschiedlich.

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

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

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

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

Wie bereits erwähnt, hat die fehlende Standardisierung der Messverfahren erhebliche Unterschiede in den durch verschiedene Geräte berechneten Werten der verschiedenen Parameter des Netzwerks verursacht. Durch Bemühen vieler Ingenieure entstand die Energiequalitäts-Norm PN-EN 61000-4-30. Zum ersten Mal wurden in ihr (und den verwandten Normen) präzise Methoden, mathematische Abhängigkeiten und verlangte Messgenauigkeiten der Stromanalysatoren angegeben. Die Einhaltung der Norm (insbesondere mit der Klasse A) sollte das Erhalten von wiederholbaren und nahezu identischen Messergebnissen derselben Größen, die mit Geräten verschiedener Hersteller gemessen wurden, gewährleisten.

9.2 Spannungseingänge

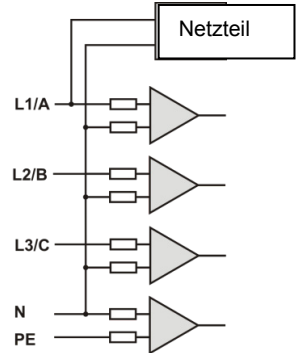
Rys. 77 Rys. 77 Der Bau von Spannungseingängen wurde schematisch auf der Abb. 77 gezeigt. Drei Phaseneingänge L1/A, L2/B, L3/C und eine Schutzleitung PE haben eine gemeinsame Bezugslinie, die die Leitung N (neutral) bildet. Diese Konfiguration reduziert die Anzahl der benötigten Leitungen, um den Analysator an die aufwändigste Option acht auf fünf. Ach Leitungen kommen in Analysatoren mit vier unabhängigen Differentialkanälen vor, in der Praxis jedoch wurde

bewiesen, dass die Lösung mit 5 Leitungen der Lösung mit 8 Leitungen in nichts nachsteht und es ist möglich, das Gerät an eine größere Auswahl von Netzen und Empfangssystemen anzuschließen. Die Lösung mit 5 Leitungen vereinfacht den Anschluss an das geprüfte Objekt und verringert die Verwechslungsgefahr. Abb. 77 zeigt auch die Lösung des Stromkreises des Analysators. Das Netzteil mit einem Nennbereich der Eingangsspannungen 100..690V AC wurde intern zwischen die Leitungen L1/A und N angeschlossen.

9.3 Stromeingänge

Der Analysator verfügt über vier unabhängige Stromeingänge mit den gleichen Parametern. An jeden von ihnen können harte Stromzangen, mit einem Stromausgang im Standard 1V, oder flexible Stromzangen F-1, F-2 und F-3 angeschlossen werden.

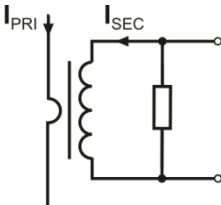
Eine typische Situation ist die Verwendung von flexiblen Stromzangen zusammen mit dem eingebauten elektronischen Integrator. Allerdings kann das Gerät PQM-701 direkt an den Eingang des Stromkanals der Rogowski-Spule angeschlossen werden, und die Integration des Signals erfolgt digital.



77Abb. 77.
Spannungseingänge mit
Netzteil

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

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



78Abb. 78. Harte Zangen
mit Spannungsausgang

Diese Art eines Stromwandlers hat mehrere Merkmale. Es kann mit ihm Strom mit einem sehr hohen Wert gemessen werden, und gleichzeitig ist sein Stromverbrauch sehr gering. Magnetisierungsstrom ist der Grund für die Verschiebung der Phase (Zehntelgrad), was zu einem Messfehler führen kann (vor allem

bei einem niedrigem Leistungsfaktor). Ein Nachteil dieser Zangen ist auch die Sättigung des Kerns bei der Messung von sehr hohem Strom (über dem Nennbereich). Die Sättigung des Kerns aufgrund der Hysterese der Magnetisierung hat Messfehler zur Folge, die nur durch die Entmagnetisierung eliminiert werden kann. Auch in einer Situation, in der der gemessene Strom eine erheblichen DC-Komponente enthält, wird der Kern gesättigt. Ein weiterer Teil der harten Zangen ist auch deren hohes Gewicht.

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

Es können folgende CT-Zangen zur Messung von Wechselstrom mit dem Gerät PQM-701 verwendet werden:

- C-4, mit einem Nennbereich von 1000A AC,
- C-6, mit einem Nennbereich von 10A AC,

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

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

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

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

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

9.3.3 Flexible Zangen (biegsam)

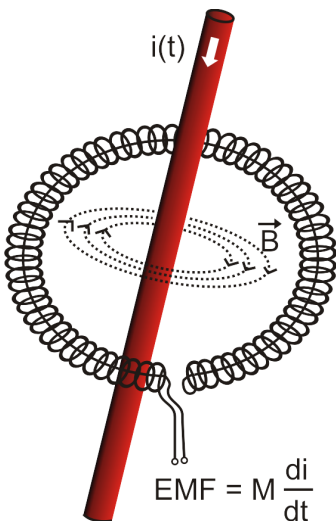
Flexible Zangen (eng. *Flexible Current Probes*) haben eine vollkommen andere Funktionsweise, als ein Stromwandler. Ihr wichtigstes Teil ist die sog. Rogowski-Spule, die nach dem deutschen Physiker Walter Rogowski benannt wurde.

Diese Spule ist eine Luftspule, die um einen Leiter mit Strom gewickelt ist. Der spezielle Aufbau der Spule erlaubt die Ausführung beider Enden an einer Seite, was so einen einfachen Anschluss der Zangen an den Leiter ermöglicht (das rückkehrende Endstück wurde auf der ganzen Länge in der Spule platziert). Der Strom der durch den gemessenen Leiter fließt, erzeugt zentrische Linien des Magnetfelds, die das Phänomen der eigenen Induktion nutzen, um die elektromotorische Kraft an den Enden der Spule zu induzieren. Jedoch ist die Spannung proportional zur Geschwindigkeit des Stromwechsels im Leiter und nicht zum Strom.

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

Jedoch bis vor kurzem hatten flexible Zangen Schwierigkeiten mit der Verbreitung im Bereich der

Strommessung. Tatsächlich gibt es einige Faktoren, die die praktische Umsetzung des Messsystems mit Rogowski-Spulen behindern. Einer von ihnen ist die sehr niedrige Spannung, die an den Zangen induziert wird (sie ist von den geometrischen Abmessungen der Spule abhängig). Beispielsweise beträgt die Ausgangsspannung der flexiblen Zangen der Serie F (zum Gebrauch mit dem Gerät PQM-701) für eine Frequenz von 50Hz ca. 45µV/A. Solche niedrigen Spannungswerte verlangen die Verwendung von präzisen Verstärkern mit niedrigem Rauschen, die die Kosten



79Abb. 79. Rogowski-Spule

selbstverständlich steigern.

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

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

Zusammen mit dem Analysator PQM-701 können folgende flexible Zangen aus dem Angebot von Sonel S.A. verwendet werden:

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

Alle erwähnten Zangen haben dieselben elektrischen Parameter. Der Spitzenstrom, der nach Anschluss an das Gerät PQM-701 gemessen werden kann, beträgt 10kA (diese Einschränkung ergibt sich aus den Eigenschaften der Eingangsstromwege, und nicht aufgrund der Eigenschaften der Zangen).

9.3.4 Digitaler Integrator

Im Analysator PQM-701 wurde eine Lösung mit digitaler Integration des Signals der Rogowski-Spule verwendet. Eine solche Vorgehensweise ermöglichte die Probleme von analogen Integratoren, die mit der Notwendigkeit der Gewährleistung der angegebenen Genauigkeit in langen Zeitabschnitten und unter schwierigen Messbedingungen, auszuschalten. Analoge Integratoren müssen auch Sicherungssysteme beinhalten, die vor der Sättigung des Eingang im Fall Gleichspannung am Eingang schützen.

Der Perfekte Integrator hat eine unendliche Verstärkung für konstante Signale, die mit einer Geschwindigkeit von 20dB/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 „*leakyintegrator*“ angenommen, was einen Integrator mit Auslauf bedeutet. Ein analoger „*leakyintegrator*“ 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 endliche und unerwünschte Vorspannung besitzen, die vor der Integration entfernt werden muss. In der Software des Analysators PQM-701 wurde ein digitaler Filter integriert, deren Aufgabe es ist die konstante Komponente der Spannung zu eliminieren. Das gefilterte Signal wird der digitalen Integration unterzogen. Die resultierende Phasencharakteristik hat hervorragende Eigenschaften und die Phasenverschiebung für die kritischen Frequenzen von 50 und 60Hz ist minimal.

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

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

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.

9.4 Signalabtastung

Das Signal wird abgetastet in allen acht Kanälen gleichzeitig abgetastet mit der Versorgungsspannungsfrequenz des Referenzkanals. Diese Frequenz ist 256 Mal höher als die Frequenz der Netzwerke und beträgt 12,8kHz für die Frequenzen 50Hz und 15,36kHz für Netzwerke 60Hz. Jede Periode enthält daher 256 Proben. Es wurde ein 16-Bit-Analog-Digital-Wandler, der ein 64-faches Oversampling gewährleistet.

Die analoge 3-dB-Dämpfung der Wege wurde für eine Frequenz von 13kHz bestimmt, der Amplitudenfehler für die maximale brauchbare Frequenz 3kHz (also die Frequenz der 50. Oberwellen für ein 60Hz-Netzwerk) hingegen beträgt ca. 0,3dB. Die Phasenverschiebung für dieselbe Frequenz ist geringer als 20° . Die Sperrdämpfung beträgt mehr als 75dB.

Beachten Sie, dass für eine korrekte Messung der Phasenverschiebung zwischen den Oberwellen der Spannung im Bezug auf die Oberwellen des Stromes und der Leistung dieser Oberwellen 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 $f = 3\text{kHz}$ max. 15° . Der Fehler wird geringer, wenn die für uns interessante Frequenz sinkt. Bei der Fehlereinschätzung der Messung der Leistung der Oberwellen, muss der zusätzliche Fehler, den die Verwendeten Stromzangen und Wandler einführen.

9.5 PLL-Synchronisation

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

Die Notwendigkeit der Verwendung einer Phasenschleife ergibt sich aus den Anforderungen der Norm PN-EN 61000-4-7, die die Prüf- und Messverfahren und die zulässigen Fehler bei der Messung der Komponenten der Oberwellen beschreibt. Diese Norm verlangt, dass das Messfenster, das die Grundlage einer Messung und Bewertung des Inhalts der Oberwellen ist, entspricht der Laufzeit von 10 Perioden des energetischen Netzwerks in 50Hz-Installationen, und 12 Perioden für 60Hz. In beiden Fällen entspricht dies einer Zeit von ca. 200ms. Da die Frequenz des Stromnetzes regelmäßigen Änderungen und Schwankungen unterliegen kann, kann die Laufzeit des Fensters von 200ms abweichen und z.B. für eine Netzfrequenz von 51Hz, wird sie ca. 196ms betragen.

Die Norm empfiehlt auch, dass bevor die Fourier-Transformation eingeführt wird (um die spektralen Komponenten auszusondern), keine Windowing-Vorgänge vorgenommen werden. Ei-

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

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

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

Ein weiteres Problem ist der Bereich der Werte der Eingangsspannung, unter der der PLL-Kreis korrekt funktionieren wird. Die Norm 61000-4-7 gibt hier keine spezifische Anleitung oder Anforderungen an. Hingegen die Norm 61000-4-30 bestimmt den Wertebereich der Versorgungsspannung, in der die metrologischen Parameter nicht verschlechtert werden und die Klasse A bestimmt sie auf $10\% \dots 150\% U_{din}$. Der Analysator PQM-701 erfüllt die obigen Anforderungen, bezüglich der Funktionsweise des PLL-Systems auch für die niedrigste unterstützte Nennspannung $U_{nom} = 110V$, also bis ca. 10 V.

9.6 Flimmern (Flicker)

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

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

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

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

Und was ist die Ursache des Flimmers? Die häufigste Ursache ist der Spannungsabfall auf-

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

9.7 Leistungsmessung

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

In der Elektrotechnik können verschiedene Leistungsarten erkannt werden:

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

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

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

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

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

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

9.7.1 Wirkleistung

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

Die Grundformel für die Berechnung der Wirkleistung ist wie folgt:

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

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

In sinusförmigen Systemen kann die Wirkleistung wie folgt berechnet werden:

$$P = UI \cos \varphi$$

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

Die Wirkleistung wird durch den Analysator PQM-701 direkt aus der Formel der Integralen, unter Verwendung der abgetasteten Spannungs- und Stromverläufe, berechnet :

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

wobei M die Anzahl der Proben im Messfenster ist (10/12 Perioden - 2560 für 50Hz und 3072 für 60Hz), U_i und I_i sind die aufeinanderfolgenden Proben der Spannung und des Stromes.

9.7.2 Blindleistung

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

$$Q = UI \sin \varphi$$

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

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

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

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

Die oben genannte Standard ist das letzte Dokument dieser Art, das von einer anerkannten Organisation herausgegeben wurde und Ordnung in das Thema der Leistungsdefinitionen bringen

sollte. Dies war umso notwendiger, weil unter Wissenschaftlern seit vielen Jahren vermehrt argumentiert wurde, dass die bisher verwendeten Definitionen verfälschte Ergebnisse ergeben können. Die Kontroverse betraf vor allem die Definition der Blindleistung und Scheinleistung (und die Verzerrung, aber darüber später) in Einphasen- und Dreiphasen-Stromkreisen mit nicht-sinusförmigem Spannungs- und Stromverlauf.

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

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

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

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

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

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

Die Blindleistung wird seit Jahren mit den Energieschwingungen zwischen der Quelle und der Belastung in Verbindung gebracht. Anhand der Formel ist zu beobachten, dass die Blindleistung nach der Definition von Budeanu die Summe der Blindleistungen der jeweiligen Oberwellen ist. Aufgrund des Faktors $\sin \varphi$ können die Komponenten positiv oder negativ sein, abhängig vom Winkel zwischen der Spannung und dem Strom der Oberwellen. Somit ist die Situation möglich, in der die gesamte Blindleistung Q_B Null betragen wird, bei Oberwellen, die ungleich von Null sind. Die Beobachtung, dass bei Komponenten, die ungleich Null sind, die Gesamtblindleistung nach dieser Definition Null betragen kann, ist der Schlüssel zu einer tieferen Analyse, die letztendlich erlaubt zu beweisen, dass die Größe Q_B in einigen Situationen überraschende Ergebnisse ergeben kann. Die durchgeführten Studien stellen den allgemein verbreiteten Glauben in Frage, dass eine Beziehung zwischen den Energieschwingungen und der Blindleistung Budeanu Q_B besteht. Es können Beispiele von Stromkreisen herangezogen werden, in denen trotz schwingendem Charakter des Momentleistungsverlaufs, die Blindleistung nach Budeanu Null beträgt. Im Laufe der Jahre waren die Forscher nicht in der Lage, eine Verbindung zwischen der Blindleistung nach dieser Definition mit keinem physikalische Phänomen finden.

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

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

dass diese Spannung nicht hinsichtlich des Stromes verzerrt ist. Im Falle der sinusförmigen Spannung und der Belastung, die eine beliebige Kombination der RLC-Elemente ist diese Bedingung immer erfüllt (für einen sinusförmigen Verlauf behalten diese Komponenten ihre Linearität). Allerdings wenn die Spannung verzerrt ist, kann die RLC-Belastung keine Nicht-Verzerrung des

Stromes in Bezug auf die Spannung gewährleisten und ist keine lineare Belastung mehr – es ist notwendig gewisse zusätzliche Voraussetzungen zu erfüllen (das sich mit entsprechender Frequenz ändernde Modul und Phase des Widerstands der Belastung).

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

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

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

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

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

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

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

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

Die weiteren Bestandteile der inaktiven Leistung sind mit bestimmten physikalischen Erschei-

nungen verbunden. Nach einer der Theorien von Prof. Czarnecki, die die physikalischen Erscheinungen in Dreiphasennetzen erklärt, kann die Gleichung der Leistungen in solchen Stromkreisen wie folgt beschrieben werden:

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

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

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

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

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

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

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

In Einphasenstromnetzen:

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

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

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

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

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

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

9.7.3 Blindleistung und 3-Leiter-Systeme

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

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

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

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

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

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

9.7.4 Blindleistung und Blindverbrauchsähler

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Je höher der Anteil der Oberwellen, desto höher wird der Unterschied in den Messungen sein und selbstverständlich, als Folge dessen, werden sich die Entgelte für die berechnete Energie unterscheiden.

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

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

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

9.7.5 Scheinleistung

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

$$S = UI$$

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

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

Im sinusförmigen Systemen:

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

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

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

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

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

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

$$S_e = 3U_e I_e$$

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

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

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

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

In Vier-Leiter-Netzen:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Gemäß der Definition (für Dreiphasennetze):

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

wo:

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

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

In Einphasennetzen kann zur Berechnung der Scheinleistung der Verzerrung eine einfachere

Formel verwendet werden:

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

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

9.7.7 Leistungsfaktor

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

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

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

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

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

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

Auf diese Weise werden diese Faktoren durch den Analysator PQM-701 berechnet.

9.8 Oberwellen

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

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

Warum ist die Anwesenheit von höheren Oberwellen im Netz unerwünscht?

Einer der Gründe dafür ist die Stromverdrängung, das auf der Abstoßung der Elektronen aus dem Inneren des Leiters (der Leitung) nach Außen zusammen mit der gleichzeitigen Steigerung der Frequenz des Stromes beruht. Als Ergebnis je höher die Frequenz, desto kleiner das effektive Durchmesser des Leiters, das für die Elektronen verfügbar ist, was gleichbedeutend mit der Erhöhung seiner Resistenz ist. Als Folge dieses Phänomens, je höher der Oberwellenstrom, desto

größer ist der effektive Widerstand der Verkabelung für diese Oberwellen, und dies wiederum führt unweigerlich zu höheren Leistungsverlusten und Erwärmung der Leitungen.

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

Versuchen wir nun auf zwei grundlegende Fragen zu antworten:

Was verursacht die Erscheinung von harmonischen Komponenten in der Spannung?

Was verursacht die Erscheinung von harmonischen Komponenten in der Spannung?

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

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

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

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

Betrachten wir das folgende Beispiel. Ein typischer nichtlinearer Empfänger, wie z.B. häufig verwendete Schaltnetzteile (z.B. für Computer), wird von einem perfekten Generator sinusförmiger Spannung versorgt. Nehmen wir an, dass die Impedanz der Verbindungen zwischen dem Generator und dem Empfänger einen Nullwert hat. Die Spannung, die auf den Klemmen des Empfängers gemessen wurde, wird einen sinusförmigen Verlauf haben (ohne Oberwellen) – dies ist einfach nur die Spannung des Generators. Der Stromverlauf des Empfängers wird jedoch schon harmonische Komponenten erhalten – ein nichtlinearer Empfänger nimmt oft Strom nur in bestimmten Momenten der gesamten Sinuswelle auf (z.B. der Maximalwert des Stromes kann auf die Spitzen der Spannungssinuswelle fallen).

Doch der Empfänger erzeugt diese Oberwellen nicht, er nimmt lediglich den Strom wechselnd oder unstetig auf. Die gesamte Energie wird einzig und allein vom Generator geliefert. Im nächsten Schritt kann der Stromkreis modifiziert werden, indem zwischen Generator und den Empfänger eine gewisse Impedanz eingeführt wird, die den Widerstand der Verkabelung, der Transformatorwicklungen usw. darstellt.

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

Bei der Analyse des Spannungsverlaufs auf dem Empfänger, könnte beobachtet werden,

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

Das hier beschriebene Beispiel und die „flachen Spitzen“ der Sinuswelle der Spannung ist ein sehr oft gesehenes

Bild in typischen Netzen, an die allgemein bekannte Schaltnetzteile angeschlossen werden.

9.8.1 Wirkleistungen der Oberwellen

Die Verteilung der Spannung und des Stromes auf harmonische Komponenten erlaubt eine gründlichere Kenntnis der Einzelheiten des Energieflusses zwischen dem Lieferanten und dem Abnehmer.

Angenommen, das der Netzqualitätsanalysator zwischen der Spannungsquelle und dem Empfänger angeschlossen ist. Sowohl die Spannung, als auch der Versorgungsstrom wird der FFT-Analyse unterzogen, durch die wir die harmonischen Amplituden und ihre Phasenverschiebungen erhalten.

Es stellt sich heraus, dass das Wissen über die Oberwellen der Spannung und des Stromes und über die Phasenverschiebung zwischen den Oberwellen, es uns ermöglicht, die Wirkleistungen jeder Oberwellen einzeln zu berechnen:

$$P_h = U_h I_h \cos \varphi_h$$

wo:

P_h – Wirkleistung der Oberwellen h-ter Ordnung,

U_h – effektiver Wert der Oberwellen h-ter Ordnung,

I_h – effektiver Wert der Oberwellen des Stromes h-ter Ordnung,

φ_h – Winkel der Phasenverschiebung zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes h-ter Ordnung.

Wenn die Leistung P_h positiv ist, bedeutet das, dass die dominierende Energiequelle dieser Oberwellen auf der Seite des Energielieferanten liegt. Wenn sie negativ ist, ist die dominierende Quelle der Empfänger. Es sei darauf hingewiesen, dass man nicht auf der Grundlage der auf diese Weise gemessenen harmonischen Wirkleistung, dass nur eine Partei die Quelle der Oberwellen, weil das Ergebnis die Resultante des Lieferanten und des Abnehmers ist.

Beispiel

Wenn der Lieferant die Wirkleistung der Oberwellen $P_{hD} = 1\text{kW}$ generiert, und der Abnehmer „generiert“ die Leistung dieser Oberwellen mit einem Wert $P_{hO} = 100\text{W}$, dann beträgt die Resultante, gemessen zwischen dem Abnehmer und Lieferanten, $P_h = P_{hD} - P_{hO} = 0,9\text{kW}$.

In einer Situation wie im obigen Beispiel haben wir es mit zwei getrennten Quellen des Energieflusses zu tun. Leider auf Grundlage einer solchen Messung ist es nicht möglich, direkt die tatsächliche Verteilung aufzuzeigen.

In realen Systemen ist es oftmals ausreichend, die Quelle aufzuzeigen. Indem positive harmonische Komponenten gruppiert werden, erhalten wir eine Menge von Leistungen, die für den Energiefluss von der Quelle zum Empfänger verantwortlich sind, also eine Menge von Nutzenergie.

Wiederum die Menge der negativen harmonischen Wirkleistungen charakterisiert den Teil der Leistung, die keine praktische Funktion hat und zum Verteilersystem „zurückgegeben“ wird.

Indem alle Wirkleistungskomponenten der Oberwellen addiert werden, erhalten wir die Wirkleistung des Empfängers. Somit kann festgestellt werden, dass es mindestens zwei alternative Methoden der Messung der Wirkleistung gibt.

Die erste Methode beruht auf der Berechnung des Momentwerts der Wirkleistung, die auf Basis der nächsten Proben der Spannung und des Stromes berechnet wird:

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

wobei U_i die nachfolgende Spannungsprobe ist, I_i die nachfolgende Stromprobe, und M ist die Anzahl der Proben im Messfenster.

Die zweite Methode beruht auf dem Addieren der jeweiligen harmonischen Wirkleistungen, die wir in Folge der FFT-Aufteilung erhalten:

$$P = \sum_h U_h I_h \cos \varphi_h$$

9.8.2 Blindleistungen der Oberwellen

Ähnlich wie die Wirkleistungen können auch die Blindleistungen der Oberwellen berechnet werden:

$$Q_h = U_h I_h \sin \varphi_h$$

Die Kenntnis der Blindleistungen der Oberwellen ist eine wertvolle Information, die bei der Entwicklung von parallelen Reaktanzkompensatoren der Blindleistung verwendet werden. Solche Kompensatoren bestehen aus dem LC-Zweigen, die auf bestimmte Frequenzen der Oberwellen abgestimmt sind.

Das Zeichen der jeweiligen Komponenten der Leistung bezeichnet den Charakter der Belastung für diese Komponente. Wenn das Zeichen positiv ist, zeugt das von einem induktiven Charakter, falls negativ von einem Kapazitätscharakter.

Der Blindstrom der Quelle kann auf Null verringert werden, nachdem die Anforderung für jede Oberwellen erfüllt wurde²:

$$B_h + B_{kh} = 0$$

wo:

B_h – Blindleitwert des Empfängers für die Oberwellen h -ter Ordnung,

B_{kh} – Blindleitwert des parallelen Kompensators für die Oberwellen h -ter Ordnung.

Weil die Komplexität des Kompensators im Verhältnis zur Anzahl der Oberwellen, die kompensiert werden, wächst, wird meistens nur die Grundkomponente kompensiert und und höchstens einige weiteren höheren Oberwellen mit dem höchsten Wert. Jedoch kann alleinig die Kompensation der Grundkomponente den Leistungsfaktor deutlich verbessern.

9.8.3 Charakteristik der Oberwellen in Dreiphasennetzen

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

² L.S. Czarniecki: „Moce w obwodach elektrycznych z niesinusoidalnymi przebiegami prądów i napięć”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005, S.109

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

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

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

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

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

Reihenfolge	Ordnung der Oberwellen
gleichgerichtet „+“	$3k + 1$
gegengerichtet „–“	$3k - 1$
Null „0“	$3k$

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

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

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

Der Charakter der jeweiligen Oberwellen, wie es die Tabelle zeigt, behält die volle Genauigkeit nur in symmetrischen Dreiphasennetzen. Nur in solchen Systemen hat die grundlegende

Oberwellen eine ausschließlich gleichgerichtete Reihenfolge. In realen Stromnetzen, in denen eine gewisse Unsymmetrie der Versorgungsspannung und Unsymmetrie der Belastung auftritt, erscheinen nicht-nullwertige Reihenfolgen (gegengerichtete und Null-Reihenfolgen). Das Maß für diese Unsymmetrie sind die sog. Unsymmetriefaktoren. Und gerade wegen dieser Unsymmetrie der Grundkomponente, sowie die Unterschiede in den Amplituden und Phasen der höheren Oberwellen in jeder Phase, werden auch diese Oberwellen Komponenten mit gleichgerichteter, gegengerichteter und Null-Reihenfolge haben. Je größer die Unsymmetrie, desto größer wird auch der Anteil der anderen Komponenten sein.

9.8.4 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 Tabelle 9Tabelle 9 wurde der Fehler der Phasendifferenz zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes für den Analysator PQM-701 (ohne Zangen und Wandler) gezeigt.

Fehler der Phasendifferenz					
Frequenzbereich	0..200Hz	200..500Hz	500Hz..1kHz	1..2kHz	2..3kHz
Fehler	≤1°	≤2,5°	≤5°	≤10°	≤15°

9Tabelle 9. Der Fehler der Phase des Analysators PQM-701 abhängig von der Frequenz.

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 bedeutet φ den tatsächlichen Winkel der Verschiebung zwischen den Oberwellen des Stromes und der Spannung, und $\Delta\varphi$ den 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. Dies zeigt die Abb. 80.

Beispiel

Berechnung der Messunsicherheit der Wirkleistung und der grundlegenden Komponente.

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

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

Für einen Frequenzbereich 0..200Hz ist der Phasenfehler PQM-701 gleich 1° . Nach Einsetzung in der Gleichung:

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

somit beträgt die Messunsicherheit:

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

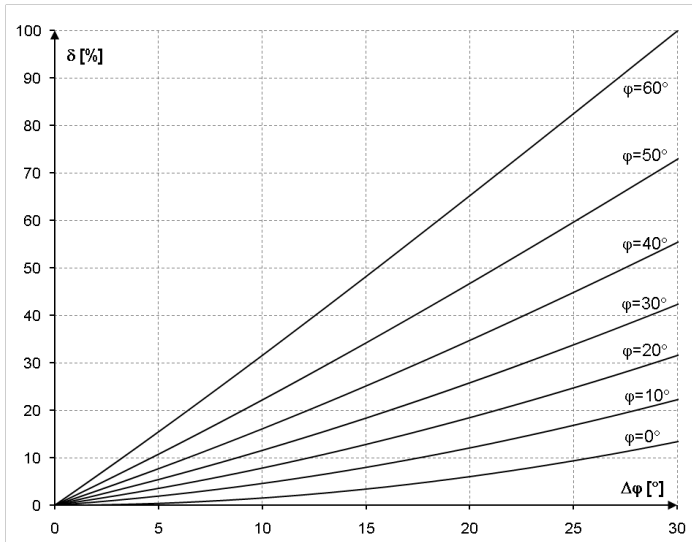
Unter denselben Bedingungen, aber bei einer Phasenverschiebung $\varphi = 10^\circ$, erhalten wir:

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

und die Messunsicherheit wird betragen:

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

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



80Abb. 80. Die zusätzliche Unsicherheit des Phasenfehlers in Abhängigkeit vom Winkel der Phasenverschiebung.

9.8.5 Methode der Messung der Komponenten der Oberwellen

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

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

Der gesamte Prozess besteht aus mehreren Phasen:

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

Der FFT-Analyse wurde das 10/12-Perioden-Messfenster (ca. 200ms) unterzogen. Als Ergebnis erhalten wir eine Reihe von Spektralbändern mit einer Frequenz von 0Hz (DC) bis zur 50. Oberwellen (ca. 2,5kHz für 50Hz oder 3kHz für 60Hz). Der Abstand zwischen den Spektralbändern resultiert aus der angenommenen Zeit des Messfensters und beträgt ca. 5Hz.

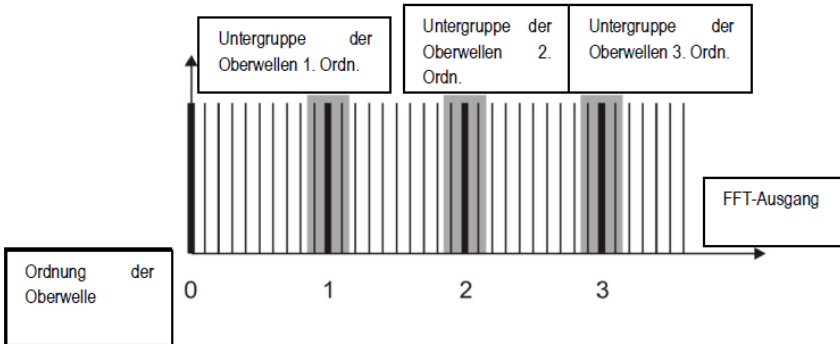
Weil der Analysator PQM-701 in einer Periode 256 Proben sammelt, beträgt die Gesamtzahl der Proben für ein Messfenster 2560 oder 3072 (für die Frequenz 50Hz und 60Hz). Die Schnelle Fourier-Transformierte verlangt jedoch, dass die Anzahl der Proben, die der Transformation unterzogen werden der Zweierpotenz entsprechen. Deshalb führt der Analysator eine Frequenzänderung der Abtastung durch (Interpolation mit Dezimierung), wodurch genau 2048 Proben gesammelt werden (2^{11}).

Es ist äußerst wichtig, eine konstante Synchronisation der Abtastfrequenz mit dem Netz aufrecht zu erhalten. FFT kann nur auf Daten angewendet werden, die eine gesamte Multiplizität der Netzperiode haben. Die Einhaltung dieser Bedingung ist notwendig, um die sog. spektrale Leckagen zu verringern, die die Informationen über die tatsächliche Stufe der Spektralbänder verzerrt. Der Analysator PQM-701 erfüllt diese Anforderungen, weil die Abtastfrequenz durch das System der Phasenschleife PLL stabilisiert wird.

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

Es wurden zwei Gruppierungsmethoden vorgesehen:

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



81Abb. 81. Bestimmung von Subharmonischen (50 Hz-Netz).

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

Beispiel

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

Die so berechneten Komponenten der Oberwellen werden eine Glättung im Tiefpassfilter der 1-ten Ordnung mit einer Zeitkonstante von 1,5 Sekunden unterzogen. Die Glättung bewirkt, dass bei einer plötzlichen Änderung des Spektrums des Eingangsverlaufs die Komponenten der Oberwellen, die im Vorschauodus gesehen werden, werden einige Sekunden brauchen, um in den eingeschwungenen Zustand zu gelangen.

9.8.6 THD-Faktor

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

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

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

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

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

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

Die Begrenzung der Anzahl der Oberwellen, die bei der Berechnung von THD berücksichtigt wird, hat einen formellen Charakter und resultiert vor allem aus den Messbegrenzungen des Geräts. Das der Analysator PQM-701 die Messung der Komponenten der Oberwellen bis zur 50-ten Ordnung ermöglicht, werden bei der Berechnung von THD die Oberwellen bis zur 50-ten Ordnung berücksichtigt.

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

9.8.7 K-Faktor

Der K-Faktor, auch Koeffizient der Verluste im Transformator bekannt ist (K-Factor), ist eine Größe, die bei der Bestimmung der Anforderungen von Versorgungstransformatoren verwendet wird. Höhere Oberwellen im Strom haben einen Wärmeverlust in den Wicklungen und Metallelementen des Transformators zur Folge. Die Hauptursache sind Wirbelströme, die durch die Stromkomponenten mit höheren Frequenzen und die Stromverdrängung verursacht werden.

Der Temperaturanstieg des Transformators ist direkt proportional zum Quadrat der Frequenz der Stromkomponenten, deshalb berücksichtigt die Größe, die als Verlustrate im Transformator oder K-Faktor bezeichnet wird, diese Tatsache und er wird anhand der folgenden Formel berechnet:

$$KFactor = \sum_{h=1}^{50} I_{hr}^2 h^2 = \frac{\sum_{h=1}^{50} I_h^2 h^2}{I_1^2}$$

wo: I_{hr} - relativer Wert der harmonischen Komponente des Stromes h -ter Ordnung (bezogen auf die grundlegende Komponente),
 I_h - Amplitude der Oberwellen des Stromes h -ter Ordnung,
 I_1 - Amplitude der Grundkomponente des Stromes
 h – te Ordnung der Oberwellen.

Dieser Parameter legt deshalb viel größeren Wert auf die höheren Oberwellen als auf die niedrigeren - jede harmonische Komponente wird durch das Quadrat ihrer Ordnung multipliziert.

K-Faktor ist nützlich bei der Definition der Anforderungen an die Transformatoren, die unter erheblichen Stromverzerrung arbeiten müssen. Es wird angenommen, dass der Transformator, der unter Bedingungen, für die der K-Faktor x beträgt, x Mal mehr Wärme erzeugen wird, als im Falle eines rein sinusförmigen Stromes (K gleich 1).

9.9 Unsymmetrie

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

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

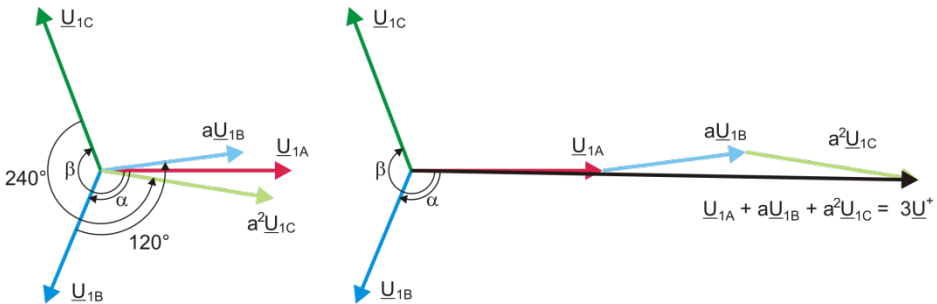
Die Unsymmetrie der Spannungen (des Stromes) tritt in Drei-Phasen-Netzen auf, bei denen der Wert der drei Spannungen (Ströme) der Komponenten sich unterscheidet und / oder die Winkel zwischen den verschiedenen Phasen sich von 120° unterscheiden°.

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

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

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

Der Analysator PQM-701 erlaubt eine Messung der Spannung und des Stromes über die Methode der symmetrischen Komponenten. Diese Methode beruht auf der Annahme, dass jedes Set der drei unausgeglichene Vektoren auf eine Summe von drei Vektorengruppen aufgeteilt werden kann: der Gleichkomponente, Gegenkomponente und Nullkomponente.



82Abb. 82. Beispiel der Bestimmung der symmetrischen Gleichkomponente.

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

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

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

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

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

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

Rys. 82Auf der Abb. 82 wurde grafisch die Methode der Bestimmung dieser Komponente gezeigt. Wie in der angegebenen Definition zu sehen ist, ist der Vektor der Gleichkomponente einem Drit-

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

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

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

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

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

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

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

wo: u_0 – Unsymmetriefaktor der Nullkomponente,
 u_2 – Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente,
 U_0 – symmetrische Nullkomponente,
 U_1 – symmetrische Gleichkomponente,
 U_2 – symmetrische Gegenkomponente.

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

9.10 Erkennung der Ereignisse

Der Analysator PQM-701 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 Tabelle listet alle Parameter, für die Ereignisse mit Unterscheidung der Art des Schwellenwerts festgestellt werden können.

Parameter		Unterbrechung	Einbruch	Überspannung	Minimum	Maximum
U	Effektivwert der Spannung	•	•	•		
f	Frequenz				•	•
CF U	Maximaler Spannungsfaktor				•	•

u_2	Unsymmetriefaktor der Gegenkomponente der Spannung					•
P_{st}	Flickerfaktor P_{st}					•
P_{lt}	Flickerfaktor P_{lt}					•
I	Effektivwert des Stromes				•	•
$CF\ I$	Maximaler Stromfaktor					
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 $\tan\varphi$				•	•
E_{P+}, E_{P-}	Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)					•
E_{Q+}, E_{Q-}	Blindenergie (aufgezeichnet und abgegeben)					•
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 $n = 2...50$)					•
K	Verlustfaktor im Transformator K					•

10Tabelle 10. Arten der Schwellenwerte für die jeweiligen Parameter.

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 10kW. 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 10kW (z.B. -11kW) wird ein Ereignis aufgezeichnet - in diesem Fall das Überschreiten der maximalen Wirkleistung.

Zwei Arten von Parameter: sowohl Wirkleistung des Spannung, als auch die Wirkleistung des Stromes können ein Ereignis auslösen, das der Benutzer um die Aufzeichnung der Momentverläufe ergänzen kann (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). Die Oszillogramme werden in einem 8-Bit-Format mit 256 Proben pro Periode aufgezeichnet.

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 Wirkspannung und dem Wirkstrom 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 effektiven Wert der Spannung bezogen, ist dies ein Prozentsatz des Nennwerts der Spannung (z.B. 2% von 230V, also 4,6V),
- für Ereignisse auf den effektiven Wert des Stromes bezogen, ist dies ein Prozentsatz des Nennbereichs des Stromes (z.B. für die Zangen C-4 und bei keinen Stromwandlern, ist die Hysterese 2% gleich $0,02 \times 1000A = 20A$,
- 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).

9.11 Erkennung von Spannungseinbrüchen, Überspannungen und Stromausfällen

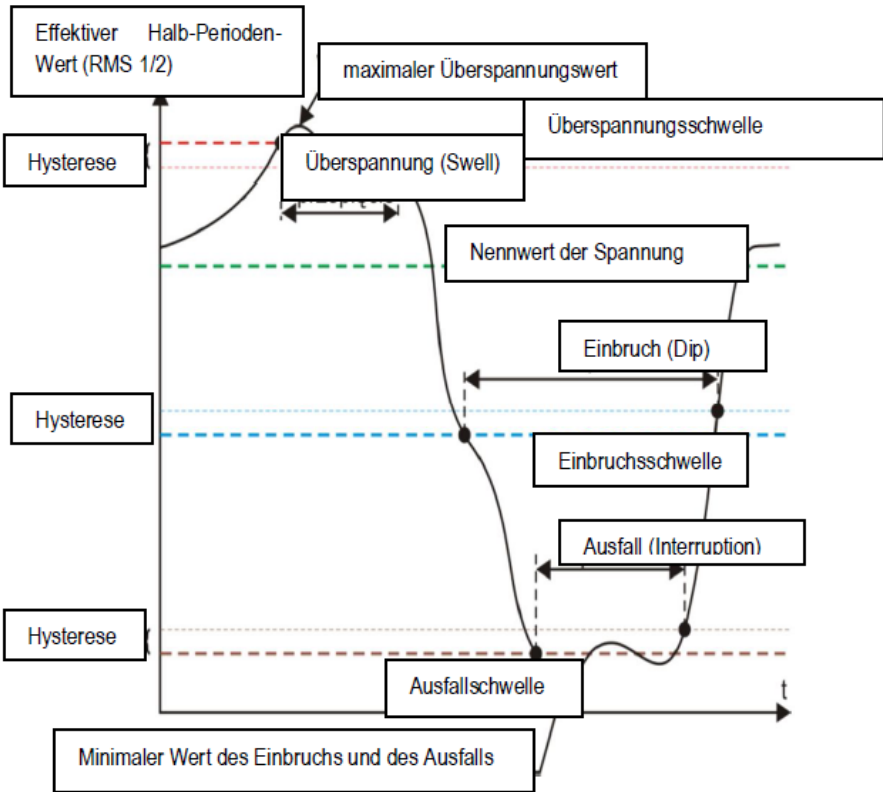
Spannungseinbrüchen, Überspannungen und Stromausfällen sind Netzwerkprobleme, bei denen der effektive Wert der Spannung sich vom Nennwert deutlich unterscheidet. Jeder dieser drei Zustände kann vom Analysator erkannt werden, nachdem die Ereigniserkennung eingeschaltet wurde und der Benutzer die Schwellenwerte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

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

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

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

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

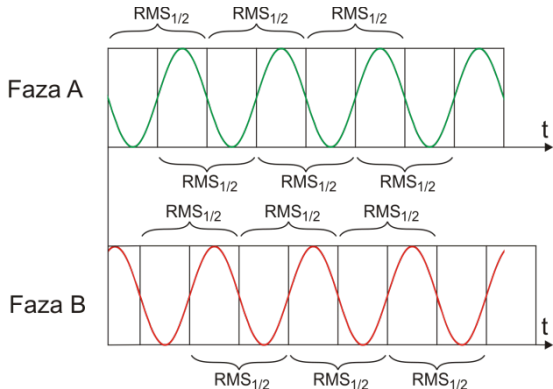


83Abb. 83. Überspannungen, Spannungseinbrüche und Stromausfälle.

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

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

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



84Abb. 84. Bestimmung des Wertes $U_{\text{rms}(1/2)}$

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

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

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

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

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

Rys. 84Die Werte $U_{RMS(1/2)}$ werden innerhalb 1 Periode bestimmt, in dem Moment, in dem die Grundkomponente der Spannung den Nullpunkt passiert und wird alle halbe Periode aktualisiert, unabhängig für jeden Spannungs kanal. Dies bedeutet, dass diese Werte zu unterschiedlichen Zeitpunkten für unterschiedliche Kanäle abgerufen werden. Abb. 84 zeigt, wie die Werte $RMS_{1/2}$ bestimmt werden, am Beispiel zwei Spannungsphasen. Die Information darüber, dass die Grundkomponente den Nullpunkt passiert hat, wird über die FFT-Transformation erhalten.

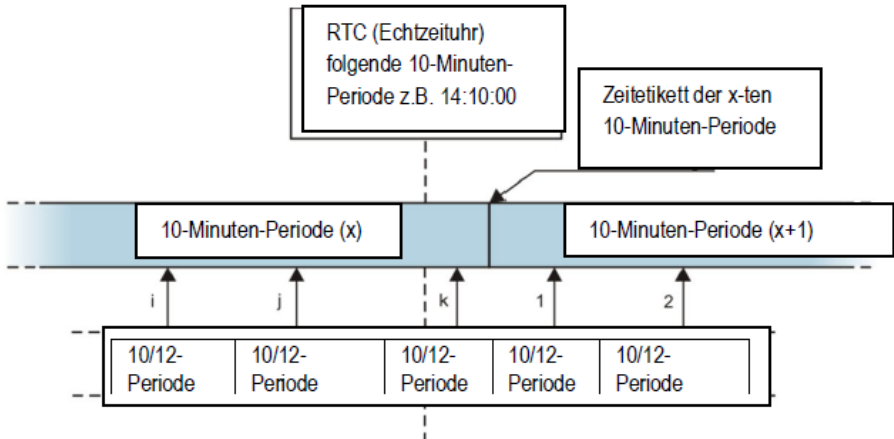
9.12 Mittelung der Messergebnisse

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

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

Deshalb wurde das Konzept der Mittelung eingeführt, die auf der Aufzeichnung von jeweils einem Wert pro Zeitabschnitt für die Analyse beruht. Für die Norm EN-50160 beträgt sie 10 Minuten. In so einem Fall berechnet der Analysator den Durchschnittswert aus 10 Minuten aufgrund von ca. 3000 200-milisekundigen Werten (in Annäherung ist der formelle 200-milisekundige Wert in Wirklichkeit ein 10/12-Perioden Wert, der mit der Frequenz des Netzes synchronisiert ist). Alle 10 Minuten wird ein weiterer Durchschnittswert der Spannung gespeichert, was zur Ansammlung von „nur“ 1.008 Messergebnissen führt.

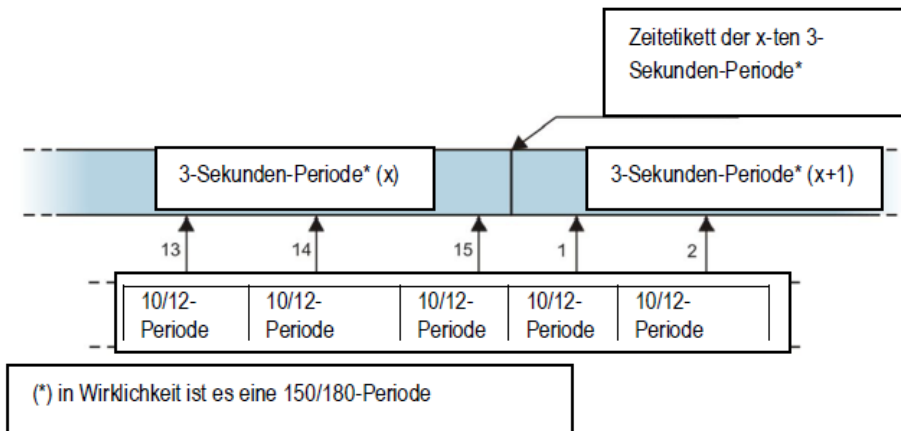
Rys. 85Die Abb. 85 zeigt die Methode zur Bestimmung der durchschnittlichen Werte des Analysators PQM-701 bei Mittelungszeiten von 10 Sekunden oder mehr, am Beispiel einer 10-minütigen Mittelungszeit. Diese Methode erfüllt die Anforderungen der Klasse S der Norm PN-EN 61000-4-30:2009.



85Abb. 85. Die Bestimmung der Mittelungsintervalle von 10 Sekunden und länger (am Beispiel einer 10-minütigen Mittelung)

Rys. 85 Die Mittelwerte sind mit der Echtzeituhr synchronisiert wie folgt. Wenn die Uhr eine weitere Multiplizität der Mittelungszeit abmisst, wird die aktuelle 10/12-Perioden Messung als letzte zum Durchschnittswert hinzugefügt (k-te Messung auf der Abb. 85). Gleichzeitig wird die endende Mittelungsintervall mit einem Zeitetikett gekennzeichnet, dass den Ende entspricht. Die nächste 10/12-Perioden-Messung ist die erste in der nächsten Mittelungsintervall.

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



86Abb. 86. Die Bestimmung der Mittelungsintervalle von weniger als 10 Sekunden (am Beispiel einer 3-sekündigen Mittelung)

Rys. 86 Die Art der Bestimmung der Mittelwerte für diese Zeiten zeigt die Abb. 86. Die Synchronisierung mit der Echtzeituhr findet hier keine Anwendung. Nachdem eine bestimmte Anzahl von 10/12-Perioden-Messungen gespeichert wurde, wird der aktuelle Mittelungsintervall beendet und ein neuer wird eingeleitet. Die Zeitetikette entspricht dem Ende des Mittelungsintervalls.

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

Für Effektivwerte von Strömen und Spannungen ist die Methode der Suche nach minimalen und maximalen Werten viel flexibler und wird durch den Parameter **Bestimmungsperiode min./max.** kontrolliert. Dem Benutzer stehen folgende Optionen zur Verfügung: die Hälfte der Periode, 200ms, 1s, 3s und 5s. Durch Auswahl der Option Hälfte der Periode resultiert in der Suche nach dem minimalen und maximalen Wert mit höchster Empfindlichkeit – mit einer Genauigkeit die dem Wert $U_{rms(1/2)}$ entspricht. Mit Zunahme dieser Zeit wird eine zusätzliche Glättung eingeführt, z.B. bei 5 Sekunden wird zuerst der 5-sekündige Durchschnittswert berechnet, der danach zur Suche nach dem minimalen und maximalen Wert verwendet wird. Dies resultiert in einer verringerten Empfindlichkeit auf kurzfristige Änderungen des gemessenen Werts.

Hinweis: ähnlich wie für die Mittelungszeiten unter 10 Sekunden, werden die Zeiten 200 ms, 1s, 3s und 5s in Wirklichkeit in Multiplizitäten der Netzperiode ausgedrückt - entsprechend 10/12, 50/60, 150/180 und 250/300 der Perioden des Netzes.

Die Wahl der richtigen Mittelungszeit ist nicht einfach. Größtenteils wird sie durch die Art der Störungen im Netz und die Erwartungen des Benutzers, bezüglich der endgültigen Datenanalyse bedingt. Oft entsteht die Situation, dass nur die Tatsache bekannt ist, dass gewisse Probleme im Versorgungsnetz auftreten und die Messungen mit einem Analysator die Ursache feststellen sollen. In so einem Fall ist es besser kürzere Mittelungszeiten zu verwenden (z.B. 10 Sekunden) und die Speicherung der minimalen und maximalen Werte zu aktivieren (für Spannungen und Ströme wird empfohlen eine Periode zur Bestimmung des minimalen und maximalen Werts zu wählen, die die kürzeste ist, also 1/2 Periode). Eine kurze Mittelungszeit erlaubt es genauere Diagramme

des Verlaufs der Parameter zu erstellen, und die Minima und Maxima werden erkannt und gespeichert. Die Aufzeichnung mit kurzen Mittelungszeiten wird meistens in eingeschränkten Zeiträumen durchgeführt, vor allem aufgrund des schnellen Datenwachses; das Ziel einer solchen Aufzeichnung ist es die mögliche Ursache der Anomalie zu erkennen und nicht eine langfristige Analyse.

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

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

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

9.13 Frequenzmessung

Das Signal zur 10-sekündigen Messung der Frequenz wird aus dem Spannungs kanal L1 entnommen. Dies ist das gleiche Signal, mit dem die PLL-Schleife synchronisiert wird. Das Signal L1 passiert den Bandpassfilter des 2-ten Grades, dessen Durchlaßbereich auf eine Frequenz von 40..70Hz 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.

10 Berechnungsformeln

Einphasen-Netz			
Parameter			Berechnungsmethode
Bezeichnung	Kennzeichnung	Einheit	
Effektive Spannung (True RMS)	U_A	V	$U_A = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i^2}$ wobei U_i die folgende Spannungsprobe ist U_{A-N} $M = 2560$ für ein 50Hz-Netz $M = 3072$ für ein 60Hz-Netz
Konstante Komponente der Spannung	U_{ADC}	V	$U_{ADC} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i$ wobei U_i die folgende Spannungsprobe ist U_{A-N} $M = 2560$ für ein 50Hz-Netz $M = 3072$ für ein 60Hz-Netz
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 $M = 2560$ für ein 50Hz-Netz $M = 3072$ für ein 60Hz-Netz
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 $M = 2560$ für ein 50Hz-Netz $M = 3072$ für ein 60Hz-Netz
Wirkleistung	P	W	$P = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M U_i I_i$ wobei U_i die folgende Spannungsprobe ist U_{A-N} I_i folgende Stromprobe I_A $M = 2560$ für ein 50Hz-Netz $M = 3072$ für ein 60Hz-Netz
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 Oberwellen der Spannung U_{A-N} ist I_h ist die h-te Oberwellen 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 Grundspannung des Stromes I_A φ_1 ist der Winkel zwischen den Grundkomponenten U_1 i I_1
Scheinleistung	S	VA	$S = U_{ARMS} I_{ARMS}$
Scheinleistung der Verzerrung	S_N	VA	$S_N = \sqrt{S^2 - (U_1 I_1)^2}$

Leistungen der Verzer- rung 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
Phasenverschiebungs- faktor	$\cos \varphi$ DPF	-	$\cos \varphi = DPF = \cos(\varphi_{U_1} - \varphi_{I_1})$ wo φ_{U1} der absolute Winkel der Grundkomponente der Spannung U_{A-N} ist φ_{I1} absoluter Winkel der Grundkomponente des Stromes I_A
Tangens φ	$tg \varphi$	-	$tg \varphi = \frac{Q_1}{P}$
Klirrfaktor bezogen auf die grundlegende Kom- ponente	$THDU_F$	-	$THDU_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} U_h^2}}{U_1} \times 100\%$ wo U_h die h -te Oberwellen der Spannung U_{A-N} ist U_1 Grundkomponente der Spannung U_{A-N}
Klirrfaktor bezogen auf den Effektivwert	$THDU_R$	-	$THDU_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} U_h^2}}{U_{ARMS}} \times 100\%$ wo U_h die h -te Oberwellen der Spannung U_{A-N} ist
Klirrfaktor des Stromes bezogen auf die grundle- gende Komponente	$THDI_F$	-	$THDI_F = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$ wo I_h die h -te Oberwellen des Stromes ist I_A I_1 ist die Grundspannung des Stromes I_A
Klirrfaktor des Stromes bezogen auf den Effek- tivwert	$THDI_R$	-	$THDI_R = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{50} I_h^2}}{I_{ARMS}} \times 100\%$ wo I_h die h -te Oberwellen des Stromes ist I_A
Maximaler Spannungs- faktor	CFU	-	$CFU = \frac{\max U_i }{U_{ARMS}}$ $\max U_i $ Wo der Operator den größten Wert unter den absoluten Werten der Spannungsproben U_{A-N} $i = 2560$ für ein 50Hz-Netz $i = 3072$ für ein 60Hz-Netz
Maximaler Stromfaktor	CFI	-	$CFI = \frac{\max I_i }{I_{ARMS}}$ $\max I_i $ Wo der Operator den größten Wert unter den absoluten Werten der Stromproben I_A $i = 2560$ für ein 50Hz-Netz $i = 3072$ für ein 60Hz-Netz
Verlustfaktor im Trans- formator K	$K\text{-Factor}$	-	$K\text{Factor} = \frac{\sum_{h=1}^{50} I_h^2 h^2}{I_1^2}$ Wo I_h die h -te Oberwellen des Stromes ist I_A I_1 ist die Grundspannung des Stromes I_A
Wirkleistung der Ober- wellen	P_h $h=1..50$	W	$P_h = U_h I_h \cos \varphi_h$ Wo U_h die h -te Oberwellen der Spannung U_{A-N} ist I_h ist die h -te Oberwellen des Stromes I_A φ_h ist der Winkel zwischen den Oberwellen U_h i I_h
Blindleistung der Ober- wellen	Q_h $h=1..50$	var	$Q_h = U_h I_h \sin \varphi_h$ Wo U_h die h -te Oberwellen der Spannung U_{A-N} ist I_h ist die h -te Oberwellen des Stromes I_A φ_h ist der Winkel zwischen den Oberwellen U_h i I_h

Kurzfristiger Flickerfaktor	P_{ST}	-	berechnet nach PN-EN 61000-4-15
Langfristiger Flickerfaktor	P_{LT}	-	$P_{LT} = \frac{1}{3} \sqrt{\sum_{i=1}^{12} (P_{STi})^3}$ wo P_{STi} der i-te kurzfristige Flickerfaktor ist
Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	E_{P+} E_{P-}	Wh	$E_{P+} = \sum_{i=1}^m P_+(i)T(i)$ $P_+(i) = \begin{cases} P(i) & \text{dla } P(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } P(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{P-} = \sum_{i=1}^m P_-(i)T(i)$ $P_-(i) = \begin{cases} P(i) & \text{dla } P(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } P(i) \geq 0 \end{cases}$ 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 nach Budeanu (aufgezeichnet und abgegeben)	E_{QB+} E_{QB-}	varh	$E_{QB+} = \sum_{i=1}^m Q_{B+}(i)T(i)$ $Q_{B+}(i) = \begin{cases} Q_B(i) & \text{dla } Q_B(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } Q_B(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{QB-} = \sum_{i=1}^m Q_{B-}(i)T(i)$ $Q_{B-}(i) = \begin{cases} Q_B(i) & \text{dla } Q_B(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } Q_B(i) \geq 0 \end{cases}$ wo: <i>i</i> ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters <i>Q_B(i)</i> steht für den Wert der Blindleistung nach Budeanu <i>Q_B</i>, der in dem <i>i</i>-ten Messfenster berechnet wurde <i>T(i)</i> steht für die Laufzeit des <i>i</i>-ten Messfensters in Stunden

Blindleistung der Grundkomponente (aufgezeichnet und abgegeben)	E_{Q1+} E_{Q1-}	varh	$E_{Q1+} = \sum_{i=1}^m Q_{1+}(i)T(i)$ $Q_{1+}(i) = \begin{cases} Q_1(i) & \text{dla } Q_1(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } Q_1(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{Q1-} = \sum_{i=1}^m Q_{1-}(i)T(i)$ $Q_{1-}(i) = \begin{cases} Q_1(i) & \text{dla } Q_1(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } Q_1(i) \geq 0 \end{cases}$ wo: i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $Q_1(i)$ steht für den Wert der Blindleistung der Grundkomponente Q_1 , der in dem i -ten Messfenster berechnet wurde $T(i)$ steht für die Laufzeit des i -ten Messfensters in Stunden
Scheinenergie	E_S	VAh	$E_S = \sum_{i=1}^m S(i)T(i)$ wo: i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $S(i)$ steht für den Wert der Scheinleistung S , der in dem i -ten Messfenster berechnet wurde $T(i)$ steht für die Laufzeit des i -ten Messfensters in Stunden
Zweiphasennetz (nicht erwähnte Parameter, die wie für ein Einphasennetz berechnet werden)			
Parameter			Berechnungsmethode
Bezeichnung	Kennzeichnung	Einheit	
Gesamte Wirkleistung	P_{tot}	W	$P_{tot} = P_A + P_B$
Gesamte Blindleistung nach Budeanu	Q_{Btot}	var	$Q_{Btot} = Q_{BA} + Q_{BB}$
Gesamte Blindleistung der Grundkomponente	Q_{1tot}	var	$Q_{1tot} = Q_{1A} + Q_{1B}$
Gesamte Scheinleistung	S_{tot}	VA	$S_{tot} = S_A + S_B$
Gesamte Scheinleistung der Verzerrung	S_{Ntot}	VA	$S_{Ntot} = S_{NA} + S_{NB}$
Gesamte Leistung der Verzerrung nach Budeanu	D_{Btot}	var	$D_{Btot} = D_{BA} + D_{BB}$
Gesamter Leistungsfaktor	PF_{tot}	-	$PF_{tot} = \frac{P_{tot}}{S_{tot}}$
Gesamter Phasenverschiebungsfaktor	$\cos \varphi_{tot}$ DPF_{tot}	-	$\cos \varphi_{tot} = DPF_{tot} = \frac{1}{2} (\cos \varphi_A + \cos \varphi_B)$
Gesamter Tangens φ	$tg \varphi_{tot}$	-	$tg \varphi = \frac{Q_{1tot}}{P_{tot}}$

Gesamte Wirkenergie (aufgezeichnet und ab- gegeben)	E_{P+tot} E_{P-tot}	Wh	$E_{P+tot} = E_{P+A} + E_{P+B}$ $E_{P-tot} = E_{P-A} + E_{P-B}$
Gesamte Blindenergie nach Budeanu (aufgezeichnet und ab- gegeben)	E_{QB+tot} E_{QB-tot}	varh	$E_{QB+tot} = E_{QB+A} + E_{QB+B}$ $E_{QB-tot} = E_{QB-A} + E_{QB-B}$
Gesamte Blindenergie der Grundkomponente (aufgezeichnet und ab- gegeben)	E_{Q1+tot} E_{Q1-tot}	varh	$E_{Q1+tot} = E_{Q1+A} + E_{Q1+B}$ $E_{Q1-tot} = E_{Q1-A} + E_{Q1-B}$
Gesamte Scheinenergie	E_{Stot}	VAh	$E_{Stot} = E_{SA} + E_{SB}$
Dreiphasen-Stern-Netzwerk mit N (nicht erwähnte Parameter, die wie für ein Einphasennetz berechnet werden)			
Parameter			Berechnungsmethode
Bezeichnung	Kenn- zeich- nung	Einheit	
Gesamte Wirkleistung	P_{tot}	W	$P_{tot} = P_A + P_B + P_C$
Gesamte Blindleistung nach Budeanu	Q_{Btot}	var	$Q_{Btot} = Q_{BA} + Q_{BB} + Q_{BC}$
Gesamte Blindleistung nach IEEE 1459	Q_1^+	var	$Q_1^+ = 3U_1^+ I_1^+ \sin \varphi_1^+$ wo: U_1^+ ist die Gleichkomponente der Spannung (der Grundkomponente) I_1^+ ist die Gleichkomponente des Stromes (der Grundkomponente) φ_1^+ ist der Winkel zwischen den Komponenten U_1^+ und I_1^+
Effektive Scheinleistung	S_e	VA	$S_e = 3U_e I_e$ wo: $U_e = \sqrt{\frac{3(U_A^2 + U_B^2 + U_C^2) + U_{AB}^2 + U_{BC}^2 + U_{CA}^2}{18}}$ $I_e = \sqrt{\frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2 + I_N^2}{3}}$
Effektive Scheinleistung der Verzerrung	S_{eN}	VA	$S_{eN} = \sqrt{S_e^2 + S_{e1}^2}$ wo: $S_{e1} = 3U_{e1} I_{e1}$ $U_{e1} = \sqrt{\frac{3(U_{A1}^2 + U_{B1}^2 + U_{C1}^2) + U_{AB1}^2 + U_{BC1}^2 + U_{CA1}^2}{18}}$ $I_{e1} = \sqrt{\frac{I_{A1}^2 + I_{B1}^2 + I_{C1}^2 + I_{N1}^2}{3}}$
Gesamte Leistung der Verzerrung nach Budea- nu	D_{Btot}	var	$D_{Btot} = D_{BA} + D_{BB} + D_{BC}$
Gesamter Leistungsfa- ktor	PF_{tot}	-	$PF_{tot} = \frac{P_{tot}}{S_e}$

Gesamter Phasenverschiebungsfaktor	$\cos \varphi_{\text{tot}}$ DPF_{tot}	-	$\cos \varphi_{\text{tot}} = DPF_{\text{tot}} = \frac{1}{3} (\cos \varphi_A + \cos \varphi_B + \cos \varphi_C)$
Gesamter Tangens φ	$tg \varphi_{\text{tot}}$	-	$tg \varphi_{\text{tot}} = \frac{Q_{1\text{tot}}}{P_{\text{tot}}}$
Gesamte Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben)	$E_{P+\text{tot}}$ $E_{P-\text{tot}}$	Wh	$E_{P+\text{tot}} = E_{P+A} + E_{P+B} + E_{P+C}$ $E_{P-\text{tot}} = E_{P-A} + E_{P-B} + E_{P-C}$
Gesamte Blindenergie nach Budeanu (aufgezeichnet und abgegeben)	$E_{QB+\text{tot}}$ $E_{QB-\text{tot}}$	varh	$E_{QB+\text{tot}} = E_{QB+A} + E_{QB+B} + E_{QB+C}$ $E_{QB-\text{tot}} = E_{QB-A} + E_{QB-B} + E_{QB-C}$
Gesamte Blindenergie der Grundkomponente (aufgezeichnet und abgegeben)	$E_{Q1+\text{tot}}$ $E_{Q1-\text{tot}}$	varh	$E_{Q1+\text{tot}} = E_{Q1+A} + E_{Q1+B} + E_{Q1+C}$ $E_{Q1-\text{tot}} = E_{Q1-A} + E_{Q1-B} + E_{Q1-C}$
Gesamte Scheinenergie	E_{Stot}	VAh	$E_{\text{Stot}} = \sum_{i=1}^m S_e(i)T(i)$ wo: i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $S_e(i)$ steht für den Effektivwert der Scheinleistung S_e berechnet in dem i-ten Messfenster $T(i)$ steht für die Laufzeit des i-ten Messfensters in Stunden
Effektivwert der Nullkomponente der Spannung	U_0	V	$\underline{U}_0 = \frac{1}{3} (\underline{U}_{A1} + \underline{U}_{B1} + \underline{U}_{C1})$ $U_0 = \text{mag}(\underline{U}_0)$ wo $\underline{U}_{A1}$, $\underline{U}_{B1}$, $\underline{U}_{C1}$ die Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen sind U_A, U_B, U_C Operator mag() bezeichnet den Modul des Vektors
Effektivwert der Gleichkomponente der Spannung	U_1	V	$\underline{U}_1 = \frac{1}{3} (\underline{U}_{A1} + a\underline{U}_{B1} + a^2\underline{U}_{C1})$ $U_1 = \text{mag}(\underline{U}_1)$ wo $\underline{U}_{A1}$, $\underline{U}_{B1}$, $\underline{U}_{C1}$ die Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen sind U_A, U_B, U_C Operator mag() bezeichnet den Modul des Vektors $a = 1e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j$ $a^2 = 1e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j$
Effektivwert der Gegenkomponente der Spannung	U_2	V	$\underline{U}_2 = \frac{1}{3} (\underline{U}_{A1} + a^2\underline{U}_{B1} + a\underline{U}_{C1})$ $U_2 = \text{mag}(\underline{U}_2)$ wo $\underline{U}_{A1}$, $\underline{U}_{B1}$, $\underline{U}_{C1}$ die Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen sind U_A, U_B, U_C Operator mag() bezeichnet den Modul des Vektors $a = 1e^{j120^\circ} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j$ $a^2 = 1e^{j240^\circ} = -\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2}j$

Unsymmetriefaktor der Spannung der Nullkomponente	u_0	%	$u_0 = \frac{U_0}{U_1} \cdot 100\%$
Unsymmetriefaktor der Spannung Gegenkomponente	u_2	%	$u_2 = \frac{U_2}{U_1} \cdot 100\%$
Konstante Komponente des Stromes	I_0	A	$I_0 = \frac{1}{3}(I_{A1} + I_{B1} + I_{C1})$ $I_0 = \text{mag}(I_0)$ Wo I_{A1}, I_{B1}, I_{C1} die Vektoren der Grundkomponenten der Phasenströme I_A, I_B, I_C sind Operator mag() bezeichnet den Modul des Vektors
Effektivwert der Gleichkomponente des Stromes	I_1	A	$I_1 = \frac{1}{3}(I_{A1} + aI_{B1} + a^2I_{C1})$ $I_1 = \text{mag}(I_1)$ Wo I_{A1}, I_{B1}, I_{C1} die Vektoren der Grundkomponenten der Ströme I_A, I_B, I_C sind Operator mag() bezeichnet den Modul des Vektors
Effektivwert der Gegenkomponente des Stromes	I_2	A	$I_2 = \frac{1}{3}(I_{A1} + a^2I_{B1} + aI_{C1})$ $I_2 = \text{mag}(I_2)$ Wo I_{A1}, I_{B1}, I_{C1} die Vektoren der Grundkomponenten der Phasenspannungen I_A, I_B, I_C sind Operator 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	%	$i_2 = \frac{I_2}{I_1} \cdot 100\%$
Dreiphasen-Netzwerk Dreieck und Stern mit N (Parameter: Wirkspannung und -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_{iAC} folgende Spannungsprobe U_{A-C} U_{iBC} folgende Spannungsprobe U_{B-C} I_{iA} folgende Stromprobe I_A I_{iB} folgende Stromprobe I_B $M = 2560$ für ein 50Hz-Netz $M = 3072$ für ein 60Hz-Netz

Gesamte Scheinleistung	S_e	VA	$S_e = 3U_e I_e$ 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	$Q = N = \sqrt{S_e^2 - P^2}$
Gesamte Leistung der Verzerrung nach Budeanu	D_{Btot}	var	$D_{Btot} = 0$
Effektive Scheinleistung der Verzerrung	S_{eN}	VA	$S_{eN} = \sqrt{S_e^2 + S_{e1}^2}$ 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	$E_{P+tot} = \sum_{i=1}^m P_{+tot}(i)T(i)$ $P_{+tot}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{dla } P_{tot}(i) > 0 \\ 0 & \text{dla } P_{tot}(i) \leq 0 \end{cases}$ $E_{P-tot} = \sum_{i=1}^m P_{-tot}(i)T(i)$ $P_{-tot}(i) = \begin{cases} P_{tot}(i) & \text{dla } P_{tot}(i) < 0 \\ 0 & \text{dla } P_{tot}(i) \geq 0 \end{cases}$ wo: i ist die folgende Nummer des 10/12-Perioden Messfensters $P_{tot}(i)$ steht für 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 Gesamtwert der Scheinleistung S_e berechnet in dem i-ten Messfenster $T(i)$ steht für die Laufzeit des i-ten Messfensters in Stunden

11 Technische Daten

- Die Spezifikationen können ohne Ankündigung geändert werden. Die neuesten Versionen der Datenblätter sind auf der Website www.sonel.pl erhältlich.
- Die grundlegende Unsicherheit ist die Unsicherheit des Messgeräts unter den Referenzbedingungen, die in der Tabelle 11 aufgeführt sind.
- Die angegebenen Unsicherheiten betreffen den Analysator PQM-701 ohne zusätzliche Wandler und Stromzangen.
- Abkürzungen:
 - m.v. - Eichwert,
 - U_{nom} – Nennwert der Spannung,
 - I_{nom} – Nennbereich des Stroms (Zangen),
 - RMS - Effektivwert,
 - h – te Ordnung der Oberwellen,
 - δ_{ph} – zusätzliche Unsicherheit, die aus dem Messfehler der Messung der Phase zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes hervorgehen.

11.1 Eingänge

Spannungseingänge	
Anzahl der Eingänge	5 (L1, L2, L3, N, PE - 4 Messkanäle) galvanisch nicht isoliert
Maximale Eingangsspannung	690V _{RMS}
Peak-Eingangsspannung	1150V
Analoge Bandbreite (-3dB)	>12kHz
Wandler	vom Benutzer bestimmt
Impedanz der Messeingänge	14M Ω (berücksichtigt den Netzadapter L1-N nicht)
CMRR	>70dB (50Hz)

Stromeingänge	
Anzahl der Eingänge	4 (3 Phasen + Nulleiter) galvanisch nicht isoliert
Maximale Eingangsspannung	1V _{RMS}
Peak-Eingangsspannung	3,6V
Analoge Bandbreite (-3dB)	>12kHz
Eingangsimpedanz	Kanal der harten Zangen: 100k Ω Kanal der flexiblen Zangen: 12,4k Ω
Messbereich (ohne Wandler)	Flexible Zangen F-1/F-2/F-3: 1..3000A (10000A Peak) Harte Zangen C-4, C-5: 1..1000A (3600A Peak) Harte Zangen C-6: 0,01..10A (36A Peak)
Wandler	vom Benutzer bestimmt
CMRR	60dB (50Hz)

Abtastung und RTC-Uhr	
A/C-Netzteil	16-Bit
Abtastrate	12,8kHz für 50Hz 15,36kHz für 60Hz Simultane Abtastung auf allen Kanälen
Proben je Periode	256
PLL-Synchronisation	40..70Hz
Referenz-Kanal für das System PLL	L1
Echtzeituhr	$\pm 3,5$ ppm max. (ca. ± 9 Sekunden/Monat) im Temperaturbereich -20°C...+55°C

11.2 Gemessene Parameter - Genauigkeit, Auflösung und Bereiche

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

11Tabelle 11. Bezugsbedingungen.

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

Strom	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
I _{RMS} (AC+DC)	Eingangskanal ohne Stromzangen		
	0..1V (0..3,6V _{p-p})	0,01% I _{nom}	±0,1% I _{nom} (±0,4% I _{nom} mit Berücksichtigung des Fehlers aufgrund von Strahlungsstörungen RF)
	Flexible Zangen F-1/F-2/F-3		
	0..3000A (10 000A _{p-p})	0,01% I _{nom}	Zusätzliche Messunsicherheit ±1% (±2% mit Berücksichtigung des zusätzlichen Fehlers aufgrund der Lage)
	Harte Zangen C-4		
	0..1000A (3600A _{p-p})	0,01% I _{nom}	Zusätzliche Messunsicherheit 0,1..10A: ± (3% + 0,1A) 10A: ±3% 50A: ±1,5% 200A: ±0,75% 1000..1200A: ±0,5%
	Harte Zangen C-5		
	0..1000A (3600A _{p-p})	0,01% I _{nom}	Zusätzliche Messunsicherheit 0,5..100A: ≤ (1,5% + 1A) 100..800A: ≤ 2,5% 800..1000A AC: ≤ 4% 800..1400A DC: ≤ 4%
	Harte Zangen C-6		
	0..10A (36A _{p-p})	0,01% I _{nom}	Zusätzliche Messunsicherheit 0,01..0,1A: ± (3% + 1mA) 0,1..1A: ±2,5% 1..12A: ±1%

11Technische Daten1 Allgemeine Angaben

Scheitelfaktoren	1..10 (1..3,6 für I_{nom}) für $I_{RMS} \geq 1\% I_{nom}$	0,01	±5%
------------------	---	------	-----

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

Harmonisch	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
Ordnung der Oberwellen (n)	DC, 1..50, Gruppierung: Untergruppen der Oberwellen nach PN-EN 61000-4-7		
Amplitude U_{RMS}	0..120% U_{nom}	0,01% U_{nom}	±0,05% U_{nom} wenn m.v.<1% U_{nom} ±5% m.v. wenn m.v.≥ 1% U_{nom} (nach PN-EN 61000-4-7 Klasse I)
Amplitude I_{RMS}	Abhängig von den verwendeten Zangen (siehe Datenblatt I_{RMS})	0,01% I_{nom}	±0,15% I_{nom} wenn m.v.<3% I_{nom} ±5% m.v. wenn m.v.≥ 3% I_{nom} (nach PN-EN 61000-4-7 Klasse I)
THD-R der Spannung (n = 2..50)	0,0...100,0% für $U_{RMS} \geq 1\% U_{nom}$	0,1%	±5%
THD-R des Stromes (n = 2..50)	0,0...100,0% für $I_{RMS} \geq 1\% I_{nom}$	0,1%	±5%
K-Factor	1,0...50,0 für $I_{RMS} \geq 1\% I_{nom}$	0,1	±10%
Phasenwinkel (Spannung)	-180°...+180°	0,1°	±(n × 1°)
Phasenwinkel (Strom)	-180°...+180°	0,1°	±(n × 1°)

Leistungen der Oberwellen	Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit ⁽¹⁾
Wirk- und Blindleistung der Oberwellen	80% $U_{nom} \leq U_{RMS} < 120\% U_{nom}$ 5% $I_{nom} \leq I_{RMS} \leq I_{nom}$	abhängig von U_{nom} und I_{nom}	$\pm \sqrt{\delta_{Uh}^2 + \delta_{Ih}^2 + \delta_{ph}^2} \%$ wo: δ_{Uh} – grundlegende Amplitude der Oberwelle der Spannung, δ_{Ih} – grundlegende Amplitude der Oberwelle des Stroms, δ_{ph} – grundlegende Unsicherheit, die aus dem Messfehler der Messung der Phase zwischen den Oberwellen der Spannung und des Stromes hervorgeht

(1) Siehe Abschnitt 9.8.4.

Leistung und Energie	Bedingungen (für die Leistung und Energie $80\% U_{nom} \leq U_{RMS} < 120\% U_{nom}$)	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit ⁽¹⁾
Wirkleistung Wirkenergie	1% $I_{nom} \leq I_{RMS} < 5\% I_{nom}$ $\cos\varphi = 1$	abhängig von U_{nom} und I_{nom}	$\sqrt{1,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	5% $I_{nom} \leq I_{RMS} \leq I_{nom}$ $\cos\varphi = 1$		$\sqrt{0,5^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	2% $I_{nom} \leq I_{RMS} < 10\% I_{nom}$ $\cos\varphi = 0,5$		$\sqrt{1,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$

	$10\% I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} \leq I_{\text{nom}}$ $\cos\varphi = 0,5$		$\sqrt{0,6^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
Blindleistung Blindenergie	$2\% I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < 5\% I_{\text{nom}}$ $\sin\varphi = 1$	abhängig von U_{nom} und I_{nom}	$\sqrt{1,25^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	$5\% I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < I_{\text{nom}}$ $\sin\varphi = 1$		$\sqrt{1,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	$5\% I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < 10\% I_{\text{nom}}$ $\sin\varphi = 0,5$		$\sqrt{1,25^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	$10\% I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < I_{\text{nom}}$ $\sin\varphi = 0,5$		$\sqrt{1,0^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
	$10\% I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < I_{\text{nom}}$ $\sin\varphi = 0,25$		$\sqrt{1,25^2 + \delta_{ph}^2} \pm \%$
Scheinleistung Scheinenergie	$2\% I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < 5\% I_{\text{nom}}$	abhängig von U_{nom} und I_{nom}	$\pm 1\%$
	$5\% I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} \leq I_{\text{nom}}$		$\pm 0,5\%$
Leistungsfaktor (PF)	$0 \dots 1$ $50\% U_{\text{nom}} \leq U_{\text{RMS}} < 120\% U_{\text{nom}}$ $10\% I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < I_{\text{nom}}$	0,01	$\pm 0,03$
Phasenverschiebungsfaktor ($\cos\varphi$ /DPF)	$0 \dots 1$ $50\% U_{\text{nom}} \leq U_{\text{RMS}} < 120\% U_{\text{nom}}$ $10\% I_{\text{nom}} \leq I_{\text{RMS}} < I_{\text{nom}}$	0,01	$\pm 0,03$

(1) Siehe Abschnitt 9.8.4.

Lichtflimmern (flicker)	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
P_{st} (10 Min.), P_{it} (2h)	$0,2 \dots 10$ für $U_{\text{RMS}} \geq 80\% U_{\text{nom}}$	0,01	$\pm 5\%$ im Bereich der in der Norm PN-EN 61000-4-15 tabellarisierten Werte

Unsymmetrie (Spannung und Strom)	Umfang und Bedingungen	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
Unsymmetriefaktor der Gleichkomponente, Gegenkomponente und der Nullkomponente	$0,0\% \dots 20,0\%$ für $80\% U_{\text{nom}} \leq U_{\text{RMS}} < 120\% U_{\text{nom}}$	0,1%	$\pm 0,15\%$ (Absolute Unsicherheit)

11.3 Ereigniserkennung - Effektivwerte der Spannung und des Stromes

Spannung U_{RMS} (Einbrüche, Ausfälle und Überspannungen)	Bereich	Auflösung	Grundlegende Unsicherheit
$U_{\text{RMS}(1/2)}$	$0,0\% \dots 120,0\% U_{\text{nom}}$	$0,01\% U_{\text{nom}}$	$\pm 0,2\% U_{\text{nom}}$
Erkennungsschwellen	Vom Benutzer in Prozentsätzen oder absoluten Werten eingestellt. Die Ereigniserkennung nach $U_{\text{RMS}(1/2)}$ (effektiver Wert 1. Periode, der jede $\frac{1}{2}$ Periode aktualisiert wird).		
Laufzeit	hh:mm:ss.ms	Halbe Periode	Eine Periode
Aufzeichnung eines Oszillogramms	2 Perioden vor dem Ereignis + 4 Perioden nach dem Ereignis (insgesamt 6 Perioden) 256 Proben je Periode		

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

11.4 Ereigniserkennung - weitere Parameter

Parameter	Bereich	Erkennungsmethode
Frequenz (min., max.)	40 ... 70Hz (prozentual oder absolut)	Basisdetektion bei der 10-Sekunden-Messung (nach PN-EN 61000-4-30)
Scheitelfaktor der Spannung (Krest Faktor) (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 $\cos\phi$ /DPF (min., max.)	0...1	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
$\tan\phi$ (min., max.)	0...10	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts
Wirkleistung 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)
Scheinenergie E_S (max.)	Abhängig von der Konfiguration	Die Überschreitung wird alle 10/12-Perioden 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
K-Faktor (K-Factor) (max.)	1,0..50,0	Auf der Grundlage des 10/12-Perioden-Werts

Hysterese der Ereigniserkennung	Bereich	Berechnungsmethode
Hysterese	0..10% in Schritten von 0,5%	Für jeden Parameter wird sie als Prozentsatz des maximalen Schwellenwerts berechnet

11.5 Aufzeichnung

Recorder	
Mittelungszeit ⁽¹⁾	200ms, 1s, 3s, 5s, 10s, 15s, 30s, 1min, 3min, 5min, 10min, 15min, 30min, 60min, 120min. Sondermodus: ½ Periode (Aufzeichnung nur von $U_{RMS(1/2)}$ und $I_{RMS(1/2)}$) ⁽²⁾
Min./max. Mittelung für U_{RMS}	½ Periode, Periode, 200ms, 1s, 3s, 5s ⁽³⁾
Min./max. Mittelung für I_{RMS}	½ Periode, Periode, 200ms, 1s, 3s, 5s ⁽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)
Messpunkte	4 unabhängige Benutzerkonfigurationen, definierte Speicherplatzzuweisung, Möglichkeit für einen ausgewählten Messpunkt den gesamten Speicher zuzuweisen
Aufzeichnungsdauer	Abhängig von der Konfiguration
Speicherplatz	SD-Karte
Modell des Speichers	Linear
Sicherheitseinstellungen	Möglichkeit die Tastatur zu sperren, um sie vor unbefugtem Zugriff zu schützen, Datensicherung durch PIN-Code

(1) Mittelungszeiten von weniger als 10 Sekunden gleichen in Wirklichkeit der Multiplizität der Periode des Netzwerks:

200ms – 10/12-Periode, 1s – 50/60-Periode, 3s – 150/180-Periode, 5s – 250/300-Periode.

(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. 200ms, 1s, 3s, 5s gleichen in Wirklichkeit der Multiplizität der Periode des Netzwerks: 200ms – 10/12-Periode, 1s – 50/60-Periode, 3s – 150/180-Periode, 5s – 250/300-Periode

Aufgezeichnete Parameter	Durchschnittswert	Minimalwert	Maximalwert	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 Krest Faktor	•	•	•	•
Strom Krest Faktor CF I	•	•	•	•
Unsymmetriefaktor der Gegen- und Gleichkomponente, symmetrische Komponenten: Gegen-, Gleich-, Null- (Spannung) U_0, U_1, U_2, u_0, u_2	•	•	•	•
Unsymmetriefaktor der Gegen- und Gleichkomponente, symmetrische Komponenten: Gegen-, Gleich-, Null- (Strom) I_0, I_1, I_2, i_0, i_2	•	•	•	•
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 Ver-	•	•	•	•

zerrung S_N				
Leistungsfaktor PF	•	•	•	•
Phasenverschiebungsfaktor $\cos\varphi$ /DPF	•	•	•	•
Faktor $\tan\varphi$	•	•	•	•
Wirkenergie (aufgezeichnet und abgegeben) E_{P+} , E_{P-}				•
Blindenergie (aufgezeichnet und abgegeben) E_{Q+} , E_{Q-}				•
Scheinernergie E_S				•
Gesamte Oberwellen-Verzerrung (THD-F) THD-F der Spannung	•	•	•	•
Gesamte Oberwellen-Verzerrung (THD-F) THD-F des Stromes	•	•	•	•
Amplituden der Oberwellen der Spannung $U_{h1} \dots U_{h50}$	•	•	•	•
Amplituden der Oberwellen des Stromes $I_{h1} \dots I_{h50}$	•	•	•	•
K-Faktor (K-Factor)	•	•	•	•
Wirkleistungen der Oberwellen (1...50) $P_{h1} \dots P_{h50}$	•	•	•	•
Blindleistungen der Oberwellen (1...50) $Q_{h1} \dots Q_{h50}$	•	•	•	•
Phasenwinkel der Oberwellen der Spannung und des Stromes $\varphi_1 \dots \varphi_{50}$	•	•	•	•

11.6 Stromversorgung und Heizung

Stromversorgung	
Netzanschluss	Eingebautes Netzteil 100...690V AC, intern an die Klemmen L1 – N angeschlossen
Stromverbrauch	max. 30VA
Akku	Li-Ion 6,9Ah
Betriebsdauer mit Akku	> 5h
Akkuladezeit (vollständig entladen)	8h
Akkustromaufnahme bei ausgeschaltetem Analysator (ohne Netzversorgung)	< 1mA

Heizung	
Temperaturschwellenwert für die Einschaltung der Heizung	+5°C
Stromversorgung der Heizung	integriertes Netzteil L1 - N
Leistung der Heizung	max. 10W

11.7 Unterstützte Netze

Arten der unterstützten Netze	
1-Phasen-	Einphasennetz mit Nulleiter (Klemmen L1, N)
2-Phasen- (Split-Phase)	Zweiphasennetz mit Nulleiter (Klemmen L1, L2, N)
3-Phasen-Stern mit N	Dreiphasen-Stern-Netz mit Nulleiter (Klemmen L1, L2, L3, N)
3-Phasen-Dreieck	Dreiphasen-Dreieck (Klemmen L1, L2, L3, N mit L3 geschlossen)
3-Phasen-Aron-Dreieck	Dreiphasen-Dreieck (Klemmen L1, L2, L3, N mit L3 geschlossen), mit zwei Stromzangen
3-Phasen-Stern ohne N	Dreiphasen-Stern-Netz mit Nulleiter (Klemmen L1, L2, L3, N mit L3 geschlossen)
3-Phasen-Aron-Stern ohne N	Dreiphasen-Dreieck ohne Nulleiter (Klemmen L1, L2, L3, N mit L3 geschlossen), mit zwei Stromzangen

11.8 Unterstützte Stromzangen

Arten der unterstützten Stromzangen

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

11.9 Kommunikation

Kommunikation	
USB	Optisch getrennt, Max. Übertragungsgeschwindigkeit: 921,6 kbit/s, USB 2.0 kompatibel
Drahtlos	Eingebautes 433MHz-Funkmodul, Verbindung über das Modul OR-1, Max. Übertragungsgeschwindigkeit: 57,6 kbit/s

11.10 Umweltbedingungen und andere technische Daten

Umweltbedingungen	
Betriebstemperaturbereich	-20°C...+55°C
Lagerungstemperaturbereich	-30°C...+60°C
Luftfeuchtigkeit	10 ... 90% mit möglicher Kondensation
Dichtheit (PN-EN 60529)	IP 65 (bei geschlossenem Deckel) IP 20 (mit geöffnetem Deckel)
Bezugsbedingungen	Umgebungstemperatur: 23°C ±2°C Luftfeuchtigkeit: 40...60%
Abmessungen	235 x 218 x 122mm
Gewicht	ca. 2,1kg
Display	LED, rot, 4 alphanumerische Zeichen

11.11 Sicherheit und elektromagnetische Verträglichkeit

Sicherheit und EMV	
Übereinstimmung mit	PN-EN 61010-1
Messkategorie	1000V/IV III 600V, Verschmutzungsgrad 2, nach PN-EN 61010-1
Isolierung	Doppelt gemäß PN-EN 61010-1 (bei geschlossenem Deckel), Einzel gemäß PN-EN 61010-1 (bei geöffnetem Deckel)
Elektromagnetische Verträglichkeit	PN-EN 61326
Störfestigkeit gegen Radiowellenstörungen	PN-EN 61000-4-3 sinusförmige Modulation 80% AM, 1kHz 80...1000MHz, 10V/m 1,4...2,0GHz, 3V/m 2,0...2,7GHz, 1V/m
Widerstandsfestigkeit auf elektrostatische Entladungen	PN-EN 61000-4-2 Luftentladung: 8 kV Kontaktentladung: 4kV
Störfestigkeit gegen leitungsgebundene Störungen, induziert durch hochfrequente Felder	PN-EN 61000-4-6 sinusförmige Modulation 80% AM, 1kHz 0,15...80MHz, 10V
Widerstandsfestigkeit auf eine Reihe von schnellen elektrischen Übergangszuständen	PN-EN 61000-4-4 Amplitude 2kV, 5kHz
Wärmestoßbeständigkeit und Kälteschlagfestigkeit	PN-EN 61000-4-5 Amplitude 2kV (L-L), 4kV (L-PE)
Emission von Funkstörungen	PN-EN 61000-6-3 30...230MHz, 30dB(μV/m) in einer Entfernung von 10m 230...1000MHz, 37dB(μV/m) in einer Entfernung von 10m
Emission von Leiterstörungen	PN-EN 61000-6-3

	Ebenen für den Quasi-Peak-Detektor: 0,15kHz...0,5MHz: 66dB μ V...56dB μ V 0,5MHz...5MHz: 56dB μ V 5MHz...30MHz: 60dB μ V
--	---

11.12 Standards

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

12 Ausrüstung

12.1 Standardausrüstung

Zur Standardausrüstung, die vom Hersteller geliefert wird, gehören:

- fünf Spannungsleitungen Bananen-Banannenstecker CAT III 1000V (3 x schwarz, gelb, blau) mit einer Länge von 2,2m,
- fünf Klemmen (3 x schwarz, gelb, blau),
- Netzstecker mit Bananen-Eingängen (L1 und N) für den Anschluss des Analysators an die Steckdose, um die Akkus zu laden und / oder für die Datenübertragung an den PC,
- Programm zum Ablesen und Analysieren der Daten „Sonel Analysis“,
- USB-Kabel,
- SD-Karte,
- USB-Funkempfänger OR-1,
- Hartschalenkoffer für den Analysator und das Zubehör
- Band zur Befestigung an einem Strommast,
- eingebauter Akku,
- Bedienungsanleitung,
- Garantieschein,
- Meßbrief.

12.2 Zusätzliches Zubehör

Zusätzlich können beim Hersteller und im Fachhandel folgende Ausrüstungsteile, die nicht zum Lieferumfang des Messgeräts gehören, erworben werden:

- Zangen 1000A AC Hart – C-4,
- Zangen 1000A AC/DC Hart – C-5,
- flexible Zangen für Strom bis 3kA AC – F-1 (Länge 120cm), F-2 (Länge 80cm) und F-3 (Länge 45cm),
- Zangen für kleine Ströme in Messwandlern 10A AC – C-6.

12.2.1 Zangen C-4

Die Zangen C-4 dienen zur Wechselstrommessung in elektrischen Installationen mit kleiner und mittlerer Leistung. Die Spannung des Ausgangssignal ist proportional zum gemessenen Strom. Das Ausgangssignal wird über eine 1,5m lange Leitung geführt, die mit einem entsprechendem Stecker ausgerüstet ist, der in die Buchse des Messgeräts passt.



87Abb. 87. Zangen C-

Der Pfeil auf einer der Zangenbacken zeigt die Richtung, in die der Strom fließt. Es wird angenommen, dass der Strom in positiver Richtung fließt, wenn er von der Quelle zum Empfänger fließt. Eine solche Orientierung der Zangen ist für eine korrekte Messung der Leistung erforderlich.

Hinweis

Es dürfen keine Ströme über 1200A gemessen werden. Die Messdauer von Strömen über 1000A muss gemäß der folgenden Daten eingeschränkt werden:

Strombereich	$I \leq 1000A$	$1000A < I \leq 1200A$
Betriebsart	kontinuierlich ¹⁾	15 Minuten Messung, dann eine Pause von 30 Minuten

¹⁾ für die Frequenz $f \leq 1kHz$. Die Einschränkung des Maximalen Stromwertes für die kontinuierliche Betriebsart bei einer Frequenz von mehr als 1kHz nach der Gleichung $I_{\text{kontinuierlich}} = 1000A/f[kHz]$

Hinweis

Es dürfen keine Zangen mit fehlender Isolierung der Leiter mit einem Potential von mehr als 600V in Bezug auf die Erdung in Installationen mit einer Messkategorie über III.

• **Bezugsbedingungen**

- Temperatur +20...+26°C
- Relative Luftfeuchtigkeit 20...75%
- Position des Leiters Leiter zentral zu den Zangen
- Frequenz des Sinusstromes 48...65Hz
- Faktor des Inhalts der Oberwellen des Stromes <1%
- Konstante Komponente des Stromes keine
- Konstantes Magnetfeld <40A/m (Erdbagnetfeld)
- Variables äußeres Magnetfeld kein
- Leiter in unmittelbarer Nähe kein Strom fließt

• **Technische Parameter**

- Genauigkeit:

Strombereich	Grundlegende Unsicherheit ¹⁾	Phasenfehler
0,1...10A	$\leq 3\% + 0,1A$	nicht spezifiziert
10...50A	$\leq 3\%$	$\leq 3^\circ$

50...200A	≤ 1,5%	≤ 1,5°
200...1000A	≤ 0,75%	≤ 0,75°
1000...1200A	≤ 0,5%	≤ 0,5°

¹⁾ als % des gemessenen Wertes

- Ausgangssignal für max. Strom 1V AC
- Übersetzung 1mV AC/1A AC
- Frequenzbereich 30Hz...10kHz
- Art der Isolation doppelt, gemäß PN-EN 61010-1
- Messkategorie nach PN-EN 61010-1 III 600V,
- Sicherungsgrad gemäß PN-EN 60529 IP40, mit geöffneten Backen: IP30
- Abmessungen 216 × 111 × 45mm
- Gewicht ok. 640g
- Öffnung der Zangen 53mm
- Höhe der geöffneten Zange 139mm
- maximaler Durchmesser der gemessenen Leitung Ø52mm
- Länge der Leitung der Zangen 1,5m
- Betriebstemperatur -10°C...+55°C
- Relative Luftfeuchtigkeit <85%
- Höhe ≤ 2000m
- Elektromagnetische Verträglichkeit PN-EN 61000-6-3:2008
PN-EN 61000-6-2:2008

12.2.2 Zangen C-5

Die Zangen C-5 dienen zur Wechselstrom- und Gleichstrommessung, ohne den Stromkreis unterbrechen zu müssen. Der Messbereich beträgt 1400A für Gleichstrom und 1000A für Wechselstrom. Die Spannung des Ausgangssignals ist proportional zum gemessenen Strom. Die Zangen haben einen Messbereich von 1000A, mit einer Empfindlichkeit von 1mV/A, einen Drehknopf zur Nullpunktregulation und einen LED-Stromversorgungsindikator. Das Ausgangssignal wird über eine 1,5m lange Leitung geführt, die mit einem entsprechenden Stecker ausgerüstet ist, der in die Buchse des Messgeräts passt.

Der Pfeil auf einer der Zangenbacken zeigt die Richtung, in die der Strom fließt. Es wird angenommen, dass der Strom in positiver Richtung fließt, wenn er von der Quelle zum Empfänger fließt. Eine solche Orientierung der Zangen ist für eine korrekte Messung der Leistung und der konstanten Komponenten erforderlich.



88Abb. 88. Zangen C-5.

- **Überlastungen:**
 - Gleichstrom (DC): bis 3000A (Dauerbetrieb),
 - Wechselstrom (AC): bis 1000A im Dauerbetrieb bis zu einer Frequenz von 1kHz
- Einschränkung des Maximalen Stromwertes für die kontinuierliche Betriebsart bei einer Frequenz von mehr als 1kHz nach der Gleichung: $I_{\text{kontinuierlich}} = 1000A/f [\text{kHz}]$

• Einschalten

Um die Zangen einzuschalten, muss der Schalter in die Position 1mV/A gebracht werden. Der grüne LED-Indikator signalisiert einen ordnungsgemäßen Betrieb. Wenn nach dem Einschalten die LED nicht leuchtet, oder bei Messungen ausgeht, muss die Batterie gewechselt werden.

• Korrektur der Nullanzeige DC

Nachdem sichergestellt ist, dass die Backen geschlossen sind und an keinen Leiter angeschlossen sind, können die Zangen an den Analysator PQM angeschlossen werden und das Programm „Sonel Analysis“ kann im Vorschau-Modus aufgerufen werden (man beachte die korrekte Konfiguration des Messpunktes für die Messung mit den Stromzangen C-5). Drücken Sie den Knopf und drehen Sie ihn, bis der Nullwert für die konstante Komponente des Stromes angezeigt wird.

• Bezugsbedingungen

- Temperatur: +18...+28°C
- Relative Luftfeuchtigkeit: 20...75%
- Batteriespannung: 9V ± 0,1V
- Position des Leiters: Leiter zentral zu den Zangen
- Strom: Gleichstrom (DC) oder sinusförmiger Strom (AC) $f \leq 65\text{Hz}$
- Konstantes Magnetfeld: <40A/m (Erdmagnetfeld)
- Variables äußeres Magnetfeld: kein
- Leiter in unmittelbarer Nähe: kein Strom fließt

• Technische Daten

- Genauigkeit:

Strom-Bereich	0,5...100A	100...800A	800...1000A (AC) 800...1400A (DC)
Grundlegende Unsicherheit ¹⁾	$\leq 1,5\% + 1\text{A}$	$\leq 2,5\%$	$\leq 4\%$

¹⁾ als % des gemessenen Wertes

- Phasenfehler (45...65Hz):

Strom-Bereich	10...200A	200...1000A
Phasenfehler	$\leq 2,5^\circ$	$\leq 2^\circ$

- Übersetzung: 1mV/1A
- Frequenzbereich: DC...5kHz
- Ausgangsimpedanz: 100Ω
- Einstellbereich des DC-Nullwertes: ±10A
- Rauschen:
 - DC bis 1kHz: $\leq 1\text{mVp-p}$ (oder 1Ap-p)
 - DC bis 5kHz: $\leq 1,5\text{mVp-p}$ (oder 1,5 Ap-p)
 - 1Hz bis 5kHz: $\leq 0,5\text{mVp-p}$ (oder 0,5Ap-p)
- Zusätzliche Fehler:
 - aufgrund der Stromfrequenz:
 - 65...440Hz: -2%
 - 440...1000Hz: -5%
 - 1...5kHz: -4dB

12Ausrüstung1 Allgemeine Angaben

- aufgrund der Akku-Spannung: $\leq 1\text{A/V}$
 - aufgrund der Temperatur: $\leq 300\text{ppm}/^\circ\text{C}$ oder $0,3\%/10^\circ\text{C}$
 - aufgrund der relativen Luftfeuchtigkeit im Bereich von 10...85%:
 $\leq 0,5\%$
 - aufgrund der Position des Leiters mit einem Durchmesser von $\varnothing 20\text{mm}$:
DC bis 440Hz: $<0,5\%$
DC bis 1kHz: $<1\%$
DC bis 2kHz: $<3\%$
DC bis 5kHz: $<10\%$
 - von dem parallelen Leiter mit dem 50...60Hz Wechselstrom, in einer Entfernung von 23mm von den Zangen: $<10\text{mA/A}$
 - vom äußeren 400A/m (50Hz) Magnetfeld auf den zentrierten Leiter
 $<1,3\text{A}$
 - Gleichtaktunterdrückung (Common Mode Rejection Ratio, CMRR)
 $>65\text{dB A/V (50...400Hz)}$
- **Weitere Daten**
 - Art der Isolation: doppelt, gemäß PN-EN 61010-1
 - Messkategorie nach PN-EN 61010-1: III 600V,
 - Sicherungsgrad gemäß PN-EN 60529: IP30
 - Stromversorgung: 9V-Batterie (6LR61, 6LF22, NEDA 1604)
 - Arbeitszeit mit einer Alkaline-Batterie: ca. 120h
 - Abmessungen: $237 \times 97 \times 44\text{mm}$
 - Gewicht: ca. 520g
 - maximaler Durchmesser der gemessenen Leitung: $\varnothing 39\text{mm}$
 - Länge der Leitung der Zangen: 1,5m
 - Betriebstemperatur: $-10^\circ\text{C} \dots +55^\circ\text{C}$
 - Relative Luftfeuchtigkeit: $<85\%$
 - Höhe: $\leq 2000\text{m}$
 - Elektromagnetische Verträglichkeit: PN-EN 61000-6-3:2008
PN-EN 61000-6-2:2008

12.2.3 Zangen C-6

Die Zangen C-6 sind für die Messung von Wechselstrom mit einer Frequenz von 10kHz im Bereich 10mA...10A bestimmt.

Die Spannung des Ausgangssignal ist proportional zum gemessenen Strom bei einer Empfindlichkeit von 100mV/A. Das Ausgangssignal wird über eine 1,5m lange Leitung geführt, die mit einem entsprechenden Stecker ausgerüstet ist, der in die Buchse des Messgeräts passt.

Der Pfeil auf einer der Zangenbacken zeigt die Richtung, in die der Strom fließt. Es wird ange-



89Abb. 89. Zangen C-6.

nommen, dass der Strom in positiver Richtung fließt, wenn er von der Quelle zum Empfänger fließt. Eine solche Orientierung der Zangen ist für eine korrekte Messung der Leistung erforderlich.

Achtung!

Es dürfen keine Zangen mit fehlender Isolierung der Leiter mit einem Potential von mehr als 600V in Bezug auf die Erdung in Installationen mit einer Messkategorie über III.

• Bezugsbedingungen

- Temperatur: +20...+26°C
- Relative Luftfeuchtigkeit: 20...75%
- Position des Leiters: Leiter zentral zu den Zangen
- Frequenz des Sinusstromes: 48...65Hz
- Faktor des Inhalts der Oberwellen des Stromes: <1%
- Konstante Komponente des Stromes: keine
- Konstantes Magnetfeld: <40A/m (Erdmagnetfeld)
- Variables äußeres Magnetfeld: kein
- Leiter in unmittelbarer Nähe: kein Strom fließt

• Technische Daten

- Genauigkeit

Strombereich	Grundlegende Unsicherheit ¹⁾	Phasenfehler
0,01...0,1A	≤ 3% + 1mA	nicht spezifiziert
0,1...1A	≤ 2,5%	≤ 5°
1...12A	≤ 1%	≤ 3°

¹⁾ als % des gemessenen Wertes

- Übersetzung: 100mV AC/1A AC
- Frequenzbereich: 40Hz...10kHz
- Art der Isolation: doppelt, gemäß PN-EN 61010-1
- Messkategorie nach PN-EN 61010-1: III 600V,
- Sicherungsgrad gemäß PN-EN 60529: IP40, mit geöffneten Backen: IP30
- Abmessungen: 135 × 50 × 30mm
- Gewicht: ca. 240g
- Öffnung der Zangen: 21mm
- Höhe der geöffneten Zangen: 69mm
- maximaler Durchmesser der gemessenen Leitung: Ø20mm
- Länge der Leitung der Zangen: 1,5m
- Betriebstemperatur: -10°C...+55°C
- Relative Luftfeuchtigkeit: <85%
- Höhe: ≤ 2000m
- Elektromagnetische Verträglichkeit: PN-EN 61000-6-3:2008
PN-EN 61000-6-2:2008

12.2.4 Zangen F-1, F-2, F-3

Die flexiblen Zangen (Rogowski-Spule) F-1, F-2 und F-3 sind für die Messung von Wechselstrom mit einer Frequenz von 10kHz im Bereich von 1A...3000A bestimmt.

Die flexiblen Zangen F-1, F-2 und F-3 unterscheiden sich untereinander nur durch den Spulenkreis. Die elektrischen Parameter sind die gleichen.

Die Spannung des Ausgangssignals ist proportional zur Ableitung des gemessenen Stromes bei einer Empfindlichkeit von 38,83mV/1000A für 50Hz und 46,6mV/1000A für 60Hz.



90Abb. 90. Zangen F-1.



91Abb. 91. Zangen F-2



92Abb. 92. Zangen F-3

Das Ausgangssignal wird über eine 2m lange Leitung geführt, die mit einem entsprechenden Stecker ausgerüstet ist, der in die Buchse des Messgeräts passt.

Der Pfeil auf dem Zangenverschluss zeigt die Richtung, in die der Strom fließt. Es wird angenommen, dass der Strom in positiver Richtung fließt, wenn er von der Quelle zum Empfänger fließt. Eine solche Orientierung der Zangen ist für eine korrekte Messung der Leistung erforderlich.

Hinweis

Es dürfen keine Zangen mit fehlender Isolierung der Leiter mit einem Potential von mehr als 1000V in Bezug auf die Erdung in Installationen mit einer Messkategorie über III.

• Bezugsbedingungen

- | | |
|---------------------------------|--|
| • Temperatur: | +18...+22°C |
| • Position des Leiters: | zentriert in Bezug auf die Zangenspule |
| • Konstantes Magnetfeld: | <40A/m (Erdmagnetfeld) |
| • Variables äußeres Magnetfeld: | kein |
| • Äußeres elektrisches Feld: | kein |

• Technische Daten

- | | |
|--|---|
| • Nennmessbereich: | 1A...3000A (10000A Spitze für 50Hz) |
| • Koeffizient der Input / Output: | 38,83mV/1000A (50Hz)
46,6mV/1000A (60Hz) |
| • Grundlegende Unsicherheit: | ±1% im Bereich 1A...3000A |
| • Linearität: | ±0,2% |
| • Zusätzlicher Fehler aufgrund der Position des Leiters: | ±2% max. |
| • Zusätzlicher Fehler aufgrund des äußeren Magnetfelds: | ±0,5% max. |

- Zusätzlicher Fehler aufgrund der Temperatur: $\pm 0,07\%$
- Ausgangsimpedanz: $30\Omega/400\text{mm}$
- **Weitere Daten:**
 - Art der Isolation: doppelt, gemäß PN-EN 61010-1
 - Messkategorie nach PN-EN 61010-1: III 1000V,
 - Sicherungsgrad gemäß PN-EN 60529: IP65
 - Spulendurchmesser: 15,5mm
 - Verschluss-Durchmesser (max.): 30mm
 - Spulenkreis:
 - F-1: 120cm
 - F-2: 80cm
 - F-3: 45cm
 - Innendurchmesser der Zangen nach Verschluss:
 - F-1: 360mm
 - F-2: 235mm
 - F-3: 120mm
 - Gewicht:
 - F-1: ca. 410g
 - F-2: ca. 310g
 - F-3: ca. 220g
 - Länge der Leitung der Zangen: 2m
 - Betriebstemperatur: $-20^{\circ}\text{C} \dots +80^{\circ}\text{C}$
 - Elektromagnetische Verträglichkeit:
 - PN-EN 61000-6-3:2008
 - PN-EN 61000-6-2:2008

13 Weitere Informationen

13.1 Reinigung und Pflege

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.

13.2 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.

13.3 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.

13.4 Hersteller

Hersteller des Geräts, der die Garantieservice und die Serviceleistungen nach Ablauf der Garantiefrist leitet, ist die Firma:

SONEL S. A.

ul. Wokulskiego 11

58-100 Świdnica

Tel. +48 (0) 74 858 38 78 (Handelsabteilung)

+48 (0) 74 858 38 79 (Kundendienst)

Fax +48 (0) 74 858 38 08

E-Mail: dh@sonel.pl

Internet: www.sonel.pl

Hinweis

Zur Durchführung der Reparaturarbeiten ist nur der Hersteller befugt.



MPI-525
VDE 0100 Prüfgerät



MPI-505
VDE 0100
Prüfgerät



MPI-502
VDE 0100
Prüfgerät



MRU-200
Erdungsmessgerät



MRU-20
Erdungsmessgerät



MIC-2510
Isolationsmessgerät

MIC-2
Isolationsmessgerät



KT-384
Wärmebildkamera

MIC-30
Isolationsmessgerät



PQM-701
Netzqualitäts
und
Leistungsmessgeräte

LXP-1
Luxmessgerät
mit einem
Datenspeicher



PAT-805
Gerätetester

CMM-40
Professional
Multimeter



CMP-1006
Stromzange



MMR-630
Mikroohmmeter



CMP-200
Stromzange



DIT-500
IR-Thermometer



LKZ-700
Kabelsuchgerät

