

Gaswirtschaft

Vertriebsorientierte und optimierte Beschaffung, Verbesserung der Prognosemengenenermittlung

Energiehandel 3.0

Erneuerbare Energien, geringe Volatilität, Finanzmarktregulierung

Smart Market

Chancen und Herausforderungen für den Netzbetrieb

Notstromversorgung

Prüfung der Spannungs- und Frequenzstabilität

Netzleittechnik

IT-Security und Netzstabilität durch Automatisierung

Smart-Meter-Gateway

Das Gateway der Zukunft

Bereit für **mehr Effizienz** im Netzservice



OPTIMUS
Netz- und Betriebsmanagement

Power-Quality bei Notstromdieselaggregaten

Notstromversorgung: Prüfung der Spannungs- und Frequenzstabilität

Bei Ausfall der Stromversorgung aus dem regulären Netz werden in Einrichtungen und Anlagen, die eine kontinuierliche Speisung benötigen, häufig Notstromdieselaggregate eingesetzt. Dies ist zum Beispiel in Rechenzentren und Krankenhäusern der Fall. Wie lässt sich prüfen, ob diese Aggregate für die zu versorgenden Lasten richtig dimensioniert sind? Wie stabil sind Spannung und Frequenz der Notstromversorgung beim Zu- und Abschalten von Lasten? Praktische Messungen mit zeitlich hochauflösenden Netzanalysatoren helfen, diese Fragen zu beantworten.

Fällt in einem Krankenhaus die Spannung an einem oder mehreren Außenleitern der Hauptverteilung der allgemeinen Stromversorgung über einen Zeitraum von $> 0,5$ s auf < 90 % der Netznominalspannung, muss nach DIN VDE 0100 Teil 710 selbstständig und automatisch auf die Stromversorgung für Sicherheitszwecke umgeschaltet werden.

Diese Umschaltung muss – in Richtung des Energieflusses betrachtet – in der Hauptverteilungsebene hinter den einspeisenden Transformatoren und Spannungsquellen für Sicherheitszwecke geschehen. Sie muss sicherstellen, dass die elektrischen Einrichtungen für Sicherheitszwecke innerhalb von 15 s mit

einer sicheren Spannungsquelle zur Versorgung über 24 h verbunden sind. Eine Verringerung der Betriebsdauer von 24 auf 3 h ist nur dann zulässig, wenn die medizinischen Behandlungen und Untersuchungen der Patienten ohne Gefahr für diese beendet werden können und das Krankenhaus sicher evakuiert werden kann.

Elektrische Einrichtungen für Sicherheitszwecke in Krankenhäusern dienen dem Abwenden von Gefahren, der Brandbekämpfung sowie der Personenrettung. Das umfasst folgende Anlagen:

- Sicherheitsbeleuchtung
- Bettenaufzüge

- Feuerwehraufzüge
- Brandmeldeanlagen
- Alarmanlagen
- Wasserdruckerhöhungsanlagen zur Löschwasserversorgung
- elektrische Anlagen der medizinischen Gasversorgung einschließlich Druckluft
- Vakuumversorgung und Narkoseabsaugung und deren Überwachungsanlagen
- OP-Leuchten und medizinische Geräte im Bereich der Gruppe 2
- Entrauchungsanlagen.

Die genannte sichere Spannungsquelle für Sicherheitszwecke sind in Krankenhäusern die Stromerzeugungsaggregate mit Hubkolbenverbrennungsmotoren – in der Regel mit Dieselmotoren –, die als Notstromdieselaggregate arbeiten. Sie bestehen aus einem Dieselantrieb und einem Schenkelpolgenerator. Dieselmotor und Synchrongenerator erzeugen Wirkleistung, der Synchrongenerator erzeugt zusätzlich Blindleistung. Die Spannungs Konstanz ist vom Spannungsregler, die Frequenz Konstanz vom Drehzahlregler und die Verhaltensweise bei überschwingungsbehafteter Last von der Dämpferwicklung abhängig.

Ein Notstromdieselaggregat sollte in der Lage sein, innerhalb von 15 s mindestens 80 % seiner Bemessungsscheinleistung bei einem Verschiebungsfaktor der Grundschwingung $\cos \varphi = 0,8$ in maximal zwei Stufen einzuspeisen. Die restlichen 20 % seiner Bemessungsscheinleistung sollten innerhalb weiterer 5 s bereitstehen.

Spannungs- und Frequenzkonstanz

Die Anforderungen hinsichtlich Spannungs- und Frequenzkonstanz der meisten elektrischen Verbraucher, die in

Krankenhäusern eingesetzt werden, entsprechen den normalen Netzverhältnissen, die während der Speisung aus dem öffentlichen Netz herrschen. Bei der Versorgung eines Krankenhauses aus dem öffentlichen Netz steht das Verbundnetz im Verbundbetrieb mit dem Parallelbetrieb aller Kraftwerke beziehungsweise aller Synchrongeneratoren in den Kraftwerken zur Verfügung.

Laständerungen in Form von Zu- beziehungsweise Abschaltungen großer Lasten in NS-Netzen beeinflussen in der Regel die Frequenz und die Spannung im Verbundbetrieb kaum. Laständerungen werden im Verbundbetrieb auf viele Kraftwerke und ihre Synchrongeneratoren aufgeteilt und beanspruchen eine einzige Einheit unmerklich.

Im Verbundnetz steht in der Regel eine sehr hohe Kurzschlusswechselstromleistung als Garant für hohe Spannungs Konstanz zur Verfügung. Die Kurzschlusswechselstromleistung wird in diesem Fall hauptsächlich durch die Impedanz des einspeisenden Transformators begrenzt. Eine Laständerung in Höhe der Bemessungsscheinleistung des einspeisenden Transformators ruft an den Transformator клемmen einen Spannungsfall hervor, der maximal den Bemessungswert seiner relativen Kurzschlussleistung erreichen kann. Er ist vom Effektivwert des Differenzlaststroms, der Transformatorresistenz, der induktiven Transformatorreaktanz beziehungsweise dem Impedanzwinkel des Transformators und dem Lastwinkel der Last abhängig. Bei einem geeigneten elektrischen Anschluss – in Form einer eigenen Transformatorstation – des Krankenhauses an das öffentliche Netz, können die Anforderungen an die hohe Frequenz- und Spannungsstabilität meist ohne Probleme erfüllt werden.

Bei Ausfall der allgemeinen Stromversorgung des Krankenhauses muss das Notstromdieselaggregat selbstständig und automatisch die Versorgung der Anlagen für Sicherheitszwecke übernehmen und einen stabilen Inselnotstrombetrieb gewährleisten. Bei diesem Inselbetrieb ist das Notstromdieselaggregat jedoch die einzige Spannungsquelle und seine Antriebsmaschine wird mit Laständerungen konfrontiert, die bezogen auf ihre Bemessungsleistung verhältnismäßig groß sind. Die Laständerungen können somit starke Frequenz- beziehungsweise Spannungsschwankungen sowie Spannungseinbrüche verursachen.

Der im Generatorinselbetrieb hervorgerufene Spannungsfall an den Ge-



Bild 2. Aufschalten von 60 % (ohmsch-induktiv $\cos \varphi = 0,8$) der Bemessungsscheinleistung des 500-kVA-Notstromdieselaggregats bei der Werksabnahme

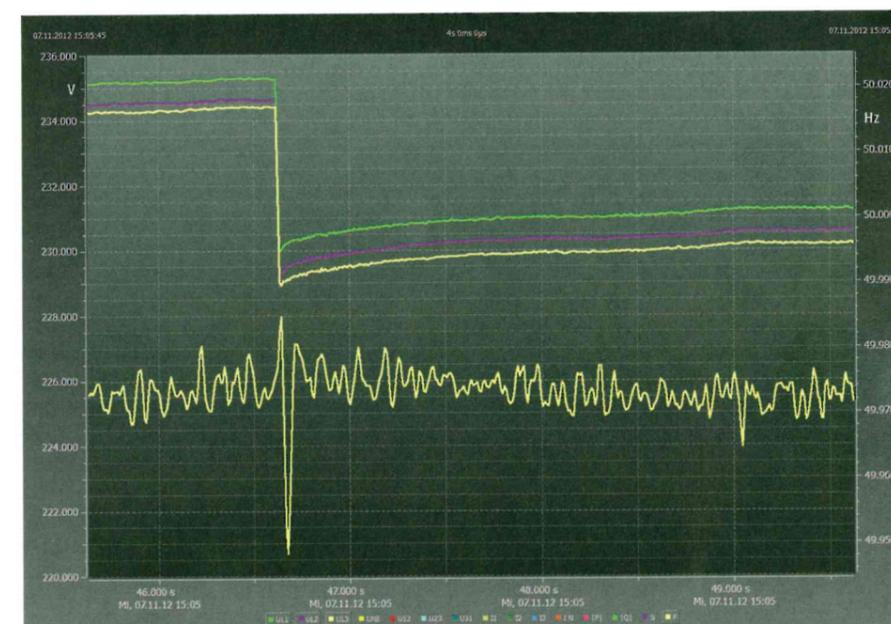


Bild 3. Sternanlauf einer 75-kW-Sprinkleranlage im Netzbetrieb (Transformatoren mit 2×800 kVA/6 %)

neratorstator клемmen als Folge der Laständerung in Höhe der Generatorbemessungsscheinleistung ist vom Effektivwert des Differenzlaststroms, der Statorresistenz, der induktiven transienten Reaktanz beziehungsweise dem Winkel der transienten Generatorimpedanz und dem Lastwinkel der Last abhängig. Sie kann dreimal größer als bei einem leistungsgleichen Verteilungstransformator sein.

Auslegung von Notstromdieselaggregaten

Das Notstromdieselaggregat muss hinsichtlich folgender Parameter ausgelegt werden:

- maximale Dauerverbraucherleistung
- maximale Zuschaltleistung
- erforderliche Ausführungsklasse
- statische elektrische Betriebsgrenzwerte



Bild 1. Messaufbau des Netzanalysators PQ-Box 100 an einem 500-kVA-Notstromdieselaggregat bei der Werksabnahme



Bild 4. Sternanlauf der 75-kW-Sprinkleranlage im Notstrombetrieb (500-kVA-Notstromdieselaggregat)

- dynamische elektrische Betriebsgrenzwerte
- Verhalten bei Parallelbetrieb mit dem Netz sowie im Generatorinselbetrieb
- subtransiente, transiente und Dauerbemessungskurzschlusswechselstromleistung
- Verhalten bei Überlast
- Verhalten bei Kurzschluss
- Verhalten bei Belastung durch überschwingungsbehaftete Lasten.
- Eine adäquate komplexe, auf den Verschiebungsfaktor der Grundschwingung



Bild 5. Messaufbau zur Aufzeichnung der OS-Lastungen an der Niederspannungshauptverteilung für die Sicherheitsstromversorgung im Netz- und Notstrominselbetrieb

bezogene Scheinleistungsdimensionierung garantiert, dass im Generatorinselbetrieb jede Laständerung lediglich nur zu einer vorübergehenden Drehzahländerung des Dieselantriebs – beziehungsweise einer vorübergehenden Frequenzänderung sowie einer vorübergehenden Änderung der Generatorspannung – führt. Die dynamischen elektrischen Betriebsgrenzwerte werden dabei eingehalten.

Die erfolgreiche selektive Löschung oder Abschaltung von Kurzschlüssen, die normativ nach der DIN VDE 0100-710 gefordert wird, kann bei der fachgerechten Berücksichtigung der genannten Kurzschlusswechselstromleistungen durch den richtig dimensionierten Netzschutz sichergestellt werden. Oft ist hierfür aber eine Überdimensionierung des Dieselantriebs und des Synchrongenerators zwingend erforderlich.

Selbst wenn das Notstromdieselaggregat bezüglich seiner Bemessungswirkleistung überdimensioniert ist, kann sich im Generatorinselbetrieb herausstellen, dass der Oberschwingungsgehalt in der Generatorspannung aufgrund der zu versorgenden elektronischen Lasten wie drehzahlgeregelte Antriebe, BSV-Anlagen, USV-Anlagen, Energiesparlampen und Büroelektronik zu groß ist. Die zulässigen Verträglichkeitspegel der relativen Spannungsharmonischen werden erheblich überschritten und es kommt zu Funktionsstörungen der Geräte beziehungsweise zu deren Ausfall. Ob das projektierte Notstromdieselaggregat den in der Planungsphase gestellten Anforderungen gerecht wird, muss durch entsprechende messtechnische Untersuchungen überprüft werden.

Messtechnische Untersuchungen

Die Messungen sollten sowohl bei der Werksabnahme beim Notstromdieselaggregathersteller als auch am Aufstellungsort im Krankenhaus vorgenommen werden. Nachfolgend einige Merkmale aus vier durchgeführten Messungen:

- Prüfung eines Notstromdieselaggregats im Werk des Herstellers (Bild 1 und 2)
- Messung am Notstromdieselaggregat im Krankenhaus bei Sternanlauf einer Sprinkleranlage (Bild 3 und 4)
- Notstromdieselaggregat-Blackouttest im Krankenhaus (Bild 5, 6 und 7)
- Speisungsumschaltung einer USV-Anlage vom Netz auf eine Netzersatz-

anlage (NEA) in einem Rechenzentrum (Bild 8).

Für solche messtechnische Netzuntersuchungen sind leistungsfähige Netzqualitätsanalytoren notwendig. Die qualifizierte Auswertung der Messergebnisse erfordert ein hohes Verständnis für die aufgezeichneten physikalischen Messgrößen und Ereignisse.

Prüfung eines Notstromdieselaggregats im Werk des Herstellers

Um später im Krankenhaus keine Überraschungen beim Generatorinselbetrieb zu erleben, sollte schon bei der Werksabnahme neben der Notstromsteuerung auch das Einhalten der zulässigen statischen und dynamischen elektrischen Grenzwerte sowie des zulässigen Oberschwingungsgehalts der Generatorspannung messtechnisch überprüft und nachgewiesen werden.

In Bild 2 werden die Spannungen der einzelnen Phasen und die Frequenz dargestellt. Nach dem Aufschalten von 60 % (ohmsch-induktiv mit $\cos \varphi = 0,8$) der Bemessungsscheinleistung des 500-kVA-Notstromdieselaggregats bricht die Spannung zuerst auf 201 V ein und nach kurzzeitiger Schwingung weiter auf 193 V. Danach schwingt sie auf einen Maximalwert von 237 V. Nach rund 1,7 s hat sich der Spannungsschwingvorgang beruhigt und die Spannungen sind stabil. Die Frequenz bricht von 50 Hz auf 45,4 Hz ein und schwingt auf 49,4 Hz. Nach rund 4,2 s hat sich der Frequenzschwingvorgang beruhigt und die Frequenz ist stabil.

Für diese Messungen eignen sich die 10-ms-Effektivwertrekorder der Netzanalytoren PQ-Box 100 und PQ-Box 200. Zusätzlich zu den Spannungen und Strömen werden auch die Frequenz sowie die Wirk-, Blind- und Scheinleistung mit einer hohen Auflösung von 10 ms als Effektivwerte aufgezeichnet. Die Aufzeichnungsdauer kann bis zu 120 s betragen. Vor- und Nachgeschichte der Aufzeichnung sind frei einstellbar.

Das Notstromdieselaggregat hat im Beispiel die gemäß DIN 6280-13 (Anwendungsbereich 1 für medizinisch genutzte Einrichtungen) geforderten dynamischen elektrischen Betriebsgrenzwerte für die Frequenz knapp eingehalten. Die geforderten dynamischen elektrischen Betriebsgrenzwerte für die Spannung konnten trotz der zeitlich korrekten Nachregelung nicht eingehalten werden.



Bild 6. THD_u , U_{h3} , U_{h9} , U_{h15} und U_{h21} von L1 an der NSHV-SV im Netzbetrieb (Transformatoren mit 3×1000 kVA/6 %)



Bild 7. THD_u , U_{h3} , U_{h9} , U_{h15} und U_{h21} von L1 an der NSHV-SV im Notstrominselbetrieb (400-kVA-Notstromdieselaggregat)

Notstromdieselaggregat im Krankenhaus bei Sternanlauf einer Sprinkleranlage

In der Projektplanungsphase für ein anderes Krankenhaus wurde für den Anlauf einer 75-kW-Sprinkleranlage die

Abschätzung der Spannungsänderung am Sammelschienensystem der Niederspannungshauptverteilung für die Sicherheitsstromversorgung (NSHV-SV) vorgenommen. Betrachtet wurde dieser Anlauf sowohl im Netzbetrieb (Parallel-

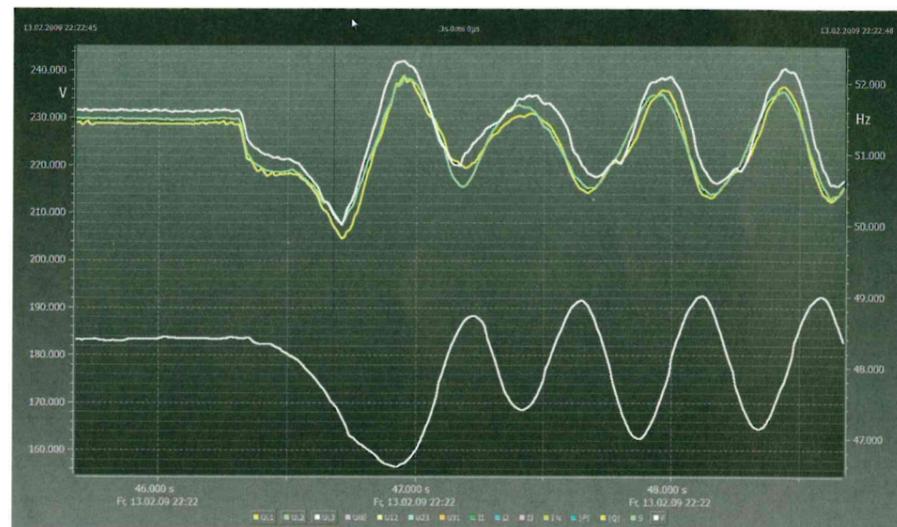


Bild 8. Umschaltung einer USV-Anlage vom Netz auf eine Netzersatzanlage in einem Rechenzentrum

betrieb von zwei Transformatoren mit je 800 kVA/6 %) als auch im 500-kVA-Generatorinselbetrieb. Es wurden dazu die Technischen Regeln des VDN herangezogen und die symmetrische Belastung vorausgesetzt. Rechnerisch ergab sich ein relativer Spannungsfall für den Netzbetrieb von 1,95 % bei einer Kurzschlusswechselstromleistung von $19,21 \cdot 10^6 \cdot e^{j \cdot 74,78}$ VA. Für den Generatorinselbetrieb ergab sich rechnerisch ein relativer Spannungsfall von 15,39 % bei

einer Kurzschlusswechselstromleistung von $2,39 \cdot 10^6 \cdot e^{j \cdot 81,13}$ VA.

Nach der Fertigstellung des Projekts wurde der Anlauf der 75-kW-Sprinkleranlage messtechnisch getestet. Zuerst wurde der Anlauf bei Versorgung aus dem Netz durch zwei parallel betriebene Transformatoren mit je 800 kVA/6 % vorgenommen.

Wie in Bild 3 dokumentiert, lagen die relativen Spannungsfälle der einzelnen

Phasen bei 2,29 % (L1), 2,48 % (L2) und 2,37 % (L3). Danach wurde das Netz abgeschaltet und der Anlauf mit Speisung aus dem 500-kVA-Notstromdieselaggregat aufgezeichnet, wobei die Zuschaltung der Sprinkleranlage beim leerlaufenden Generator ohne Vorbelastung stattfand. In diesem Generatorinselbetrieb wurden die relativen Spannungsfälle der einzelnen Phasen von 16,2 % (L1), 16,87 % (L2) und 16,96 % (L3) registriert. Sie sind in Bild 4 zu sehen. Diese Aufzeichnungen beziehen sich nur auf den Sternanlauf.

Die Aufzeichnungen wurden mit der PQ-Box 100 am gleichen Messpunkt in der NSHV-SV durchgeführt – hinter den Sicherungen am Anfang der Zuleitung des Sprinklerschaltzschanks. Die gravierenden Unterschiede der Frequenz- und Spannungsverhältnisse sind deutlich erkennbar und eindeutig. Die Aufzeichnungen der Umschaltung von Stern auf Dreieck der 75-kW-Sprinklerpumpe der beiden Versorgungsbetriebsarten, die ebenso erfasst wurden, werden hierbei nicht diskutiert.

Notstromdieselaggregat-Blackouttest im Krankenhaus

In einem weiteren Krankenhaus wurde dieser Test vorgenommen, um bei einem echten Ausfall der allgemeinen Stromversorgung neben der Wirksamkeit der Umschaltung vom Netz- auf den Generatorinselbetrieb mit allen zugehörigen Merkmalen auch die Spannungsqualität zu messen. Im Folgenden wird nur auf die Spannungsqualität eingegangen.

In Bild 5 ist der Messaufbau in der NSHV-SV zu sehen. Die Aufzeichnungen wurden mit zwei PQ-Boxen 100 vorgenommen, um sowohl den Energiefluss aus dem Netz als auch aus dem Generator zu erfassen. Aufgezeichnet wurde zuerst die Spannungsqualität am Sammelschienensystem der NSHV-SV bei der Speisung aus der allgemeinen Stromversorgung durch drei parallelbetriebene Verteilungstransformatoren mit je 1000 kVA/6 %. Danach wurde die allgemeine Stromversorgung abgeschaltet, und das vorhandene 400-kVA-Notstromdieselaggregat übernahm die Versorgung der NSHV-SV im Generatorinselbetrieb.

In Bild 6 sind die gesamte harmonische Verzerrung THD sowie die Werte der relativen Spannungsharmonischen der Ordnungen 3, 9, 15 und 21 der Netzspannung an der NSHV-SV während der Versorgung aus der allgemeinen Stromversorgung aufgezeichnet. In Bild 7 sind der THD-Wert sowie die Werte der relativen Spannungsharmonischen der Ordnun-

gen 3, 9, 15 und 21 der Spannung an der NSHV-SV während der Versorgung aus dem Notstromdieselaggregat dargestellt. Der große Anstieg der Oberschwingungsbelastung der Generatorspannung ist eindeutig erkennbar.

Die Bewertung der Oberschwingungsbelastung wurde gemäß EN 61000-2-4 Class 2 beziehungsweise VDE 0839-2-4 EMV-Umgebungsstufe 2 durchgeführt. Im Netzbetrieb liegen die Verträglichkeitspegel der genannten Oberschwingungen deutlich unter den zulässigen Pegeln. Im Generatorinselbetrieb hingegen wurden deutliche Überschreitungen der zulässigen Verträglichkeitspegel der Oberschwingungen in der Spannung bei der 9., 15. und 21. Harmonischen erfasst.

Speisungsumschaltung einer USV-Anlage vom Netz auf eine Netzersatzanlage im Rechenzentrum

Da manche moderne Rechenzentren Netzersatzanlagen und statische USV-Anlagen haben und dabei – aufgrund des in der Regel schlechten Leistungsverhältnisses der NEA zur USV – massive Probleme und umfangreiche Wechselwirkungen bei ihrem Zusammenspiel auftreten, wird im Folgenden auf so einen Fall eingegangen (Bild 8).

In diesem Beispiel wurde in einem Rechenzentrum eine Netzersatzanlage unter realen Bedingungen mit einer USV-Anlage während eines Netzausfalls getestet. In

der Aufzeichnung ist deutlich das gegenläufige Schwingen des Netzes auf den Spannungen und der Frequenz zu erkennen. Zum Frequenzmaximum liegen die Spannungen auf ihrem Minimum. Nach einigen Sekunden wurde das Aggregat durch ein Schutzrelais vom Netz getrennt. Das Aggregat konnte zwar die geforderte Leistung liefern und war groß genug dimensioniert, die starken Schwankungen der Spannung und Frequenz führten jedoch zum Auslösen des Schutzrelais, das die Anlage abgeschaltet hat.

Fazit

Vor Überraschungen schützen nur die fachgerechte Projektierung sowie eine qualifizierte Messung. Die erforderliche Messtechnik muss verschiedene Anforderungen erfüllen. So sind Spannungen, Ströme, Leistungen und Frequenz mit einer hohen Auflösung von 10-ms-Effektivwerten zu erfassen. Eine Mittelwertbildung über 200 ms oder 1 s würde die hier relevanten Netzschwankungen nicht mehr erkennen lassen. Abweichungen der Sinusform und Spannungstransienten können mit Oszilloskopbildern festgehalten werden. Über vielfältige Trigger-Möglichkeiten – wie einen Sinus-Hüllkurventrigger – können weitere Informationen zur Störung bereitgestellt werden.

Die mobilen Netzanalysatoren PQ-Box 100 und 200 der A-Eberle GmbH & Co.

KG (Bild 9) werden diesen Anforderungen gerecht. Diese erfassen und bewerten über 2200 Messwerte parallel. Als mobile Geräte eignen sich die Messgeräte durch den robusten Aufbau und durch die einfache Bedienung. Für eine permanente Überwachung an einem markanten Netzpunkt ist der festinstallierte Netzanalysator und Störschreiber PQI-DA smart geeignet.



Jürgen Blum,
Produktmanager Power Quality, A-Eberle GmbH & Co. KG, Nürnberg



Dragan Sofic,
Netzberechnung, Planung, Netzanalyse, EAB GmbH Rhein Main, Dietzenbach

>> juergen.blum@a-eberle.de
dragan.sofic@eab-rhein-main.de

>> www.a-eberle.de
www.eab-rhein-main.de



Bild 9. Die Netzanalysatoren PQ-Box 100 (im Bild) und PQ-Box 200 ermöglichen in Verbindung mit der Auswertesoftware eine detaillierte Analyse der Netzqualität.

Power Quality

Das PQI-DA smart ist ein Störschreiber, Power Quality Interface, Transientenrekorder und Leistungsanalysator für Nieder- und Mittelspannungsnetze im kompakten Format.

- Tastenfeld für Messwerte u. Gerätekonfiguration, Farbdisplay
- 1 GB Speicher intern / erweiterbar bis 32 GB über SD Karte
- Abtastfrequenz 40,96 kHz
- Frequenzanalyse DC bis 20 kHz
- 4 Spannungseingänge (max. AC 480V L-N; 800V P-P)
Genauigkeit < 0,1 %
- 4 Stromeingänge
- Spannungs- und Stromharmonische 2kHz bis 9kHz (IEC61000-4-7)
- automatische Störschriebe auf 25µs- und 10ms-Basis
- erfasst Spannungsqualität nach DIN EN 50160, IEC61000-2-2, IEC61000-2-4
- erfüllt zu 100% Norm IEC 61000-4-30 für Class A Messgeräte
- Auswertung über MySQL-gestützte Datenbank oder mit einfacher Gratis-Software



PQI-DA smart – der Alleskönner

Wir regeln das.



A. Eberle GmbH & Co. KG • Frankenstraße 160 • D-90461 Nürnberg
Telefon +49 911 628108-0 • info@a-eberle.de • www.a-eberle.de