

Fehlersuche in 3-Phasen-Netzen mit den Netz- und Stromversorgungsanalysatoren der Serie 430

Anwendungsbericht

3-phasige Netzanalyse war bisher immer komplex und teuer. Mit innovativen Messgeräten – wie den Netz- und Stromversorgungsanalysatoren der Serie Fluke 430 ist sie endlich kostengünstig und sogar nach EN 61000-4-30 und EN 50160 ganz einfach durchführbar.

Dieser Anwendungsbericht beschreibt einige typische Probleme in Energieverteilungssystemen, ihre Ursachen, Messmöglichkeiten mit modernen Netz- und Stromversorgungsanalysatoren und wie man die Probleme lösen oder minimieren kann.

Typische Fehler in Stromnetzen und ihre Fehlerursachen

Transienten

Eine häufige und alltägliche Ursache für Transienten sind Schalthandlungen im Netz. Diese sind betriebsbedingt nicht zu vermeiden. Weiterhin verursacht das Auslösen einer Schmelzsicherung im Niederspannungsnetz eine erhebliche Spannungsspitze, da diese Sicherungen strombegrenzend löschen. Die hiermit verbundene Steilheit des Stromabbrisses ist für Transienten bis zu mehreren tausend Volt verantwortlich. Hinzu kommen Kommutierungsspitzen von Stromrichtern, diese sind nicht sehr hoch aber regelmäßig (ab 6x pro Periode) und stellen damit ebenfalls erhebliche Störeinflüsse dar.

Wie sieht nun die Verbraucherseite aus? Anders als in der früheren Technik mit relativ hohen Betriebs- und Steuerungsspannungen wird Mikroelektronik heute

mit Spannungen ab 5 V abwärts betrieben (PC-Prozessoren z.B. mit zum Teil nur 1,6 V). Damit ist eine viel höhere Anfälligkeit gegen Störungen aus dem Stromversorgungsnetz gegeben. Hinzu kommen Vernetzungen durch Signalkabel. Hierbei ist die Gefahr induktiver und kapazitiver Einstreuung besonders groß. Betrachten wir zum Beispiel eine Zuleitung zu einem Stromrichter, der die oben angeführten Kommutierungsspitzen verursacht. Daneben liegt eine Datennetzwerkverbindung. Die übertragenen Signalpakete werden dann mindestens 6-mal pro Sekunde verstümmelt. Hierdurch sinkt die Übertragungsrate signifikant ab, die Häufigkeit und Regelmäßigkeit der Impulse kann sogar bis zur völligen Verstümmelung des Datenverkehrs führen. Kommen Pulsrichter zum Einsatz, so treten Transienten mit der Taktfrequenz, d.h. mehrere 1000 Mal pro Sekunde auf.



Oberschwingungen

Mit dem Aufkommen von Gleichrichtern entstanden die ersten Oberschwingungserzeuger. Ihr Anteil war jedoch gering, und die damalige Röhrentechnik vertrug auch Transienten. Stromrichter im großen Stil wurden ebenfalls nicht eingesetzt. Weiterhin fanden bald Leuchtstofflampen große Verbreitung.

Ihre Spannungs-/Strom-Charakteristik erzeugt ebenfalls Stromverzerrungen, hier wird insbesondere die dritte Oberschwingung ausgebildet. Heute finden wir eine Vielzahl elektronischer Verbraucher, die zumeist mit gleichgerichteter Netzspannung betrieben werden:

- Schaltnetzteile aller Art in z.B. PCs, Fernsehern, Videogeräten, nahezu in allen heutigen Verbrauchern, die Gleichspannung benötigen
- Schaltnetzteile ersetzen zunehmend den Transformator bei Niedervolt-Halogenleuchten
- Elektronische Vorschaltgeräte für Leuchtstoffröhren

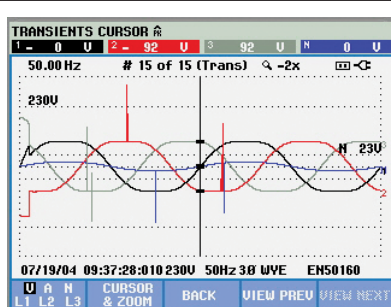


Bild 1 - Transienten auf dem Netz

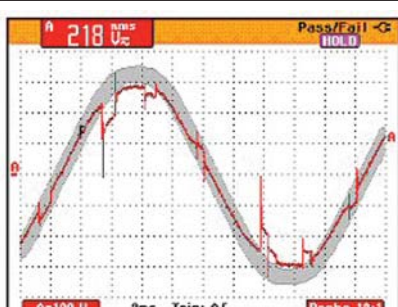


Bild 2 - Kommutierungseinbrüche (gemessen mit ScopeMeter 199C)

- Weit verbreiteter Einsatz von Stromrichtern für drehzahlvariable Antriebe

Alle diese Lasten verursachen zunächst Oberschwingungen, da die Kombination aus Gleichrichter und Glättungskondensator pulsformige Ströme aus dem Netz entnimmt.

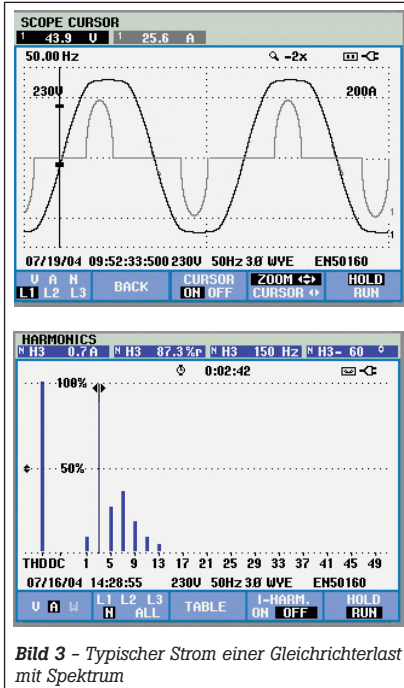


Bild 3 - Typischer Strom einer Gleichrichterlast mit Spektrum

Die vorher erwähnten Gleichrichterlasten führen in der Netzurückwirkung zu einer Abflachung der Spannung (Bild 3). Diese Abflachung zeigt sich im Spektrum als ausgeprägte 5. und 7. Oberschwingung. Die 3. Harmonische tritt kaum auf, da sie im Dy5-Transformator kurzgeschlossen wird. So angenehm das für die Mittelspannungsseite ist, so schlecht ist dieser Sachverhalt für den Transformator. Treten doch Zusatzverluste bis zu €2000,- pro Jahr bei einem 630 kVA Transformator auf. Darüber hinaus wird der Neutralleiter sehr stark belastet, da die 3. Oberschwingung durch diesen zurückfließt (Bild 4). Der Neutralleiter brennt oft unmerklich ab, die dann eintretende Spannungsverlagerung durch offenen Sternpunkt ist verheerend für die angeschlossenen Geräte. Ebenfalls besteht die Gefahr eines Brandes durch den überhitzten Neutralleiter.

Eine weitere Auswirkung von Oberschwingungen ist die Beeinflussung von Kompensationsanlagen (Bild 5) Hierbei werden insbesondere die höheren Ordnungszahlen regelrecht „angesaugt“. Die starke Ausprägung der Oberschwingungen im Kondensatorstrom wird zu dessen Erhitzung und Zerstörung führen. Neben dem Anlagenschaden kann

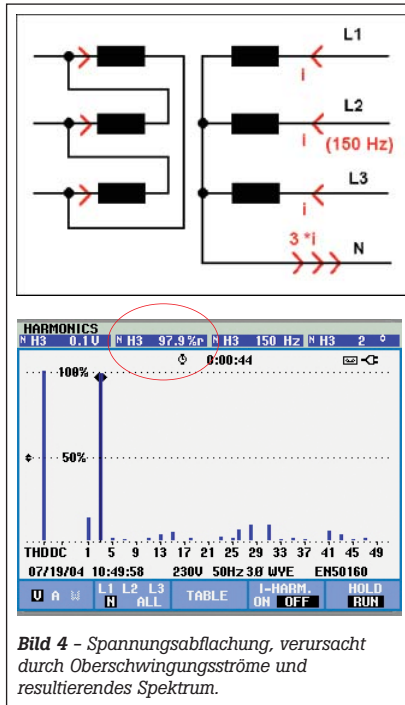


Bild 4 - Spannungsabflachung, verursacht durch Oberschwingungsströme und resultierendes Spektrum.

so auch ein Brand verursacht werden. Bei der heutigen Oberschwingungsbelastung der Netze sind Verdrosselungen oft nicht mehr ausreichend, der Stand der Technik erlaubt heute den Einsatz intelligenter aktiver Filter. Diese sind selbsteinstellend, resonanzfrei, kaskadierbar und kompensieren zudem jede Phase einzeln.

Zwischenharmonische Oberschwingungen

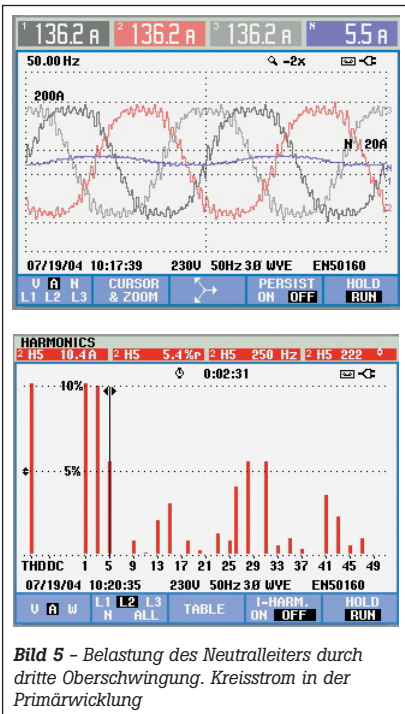


Bild 5 - Belastung des Neutralleiters durch dritte Oberschwingung. Kreisstrom in der Primärwicklung

Zusätzlich zu den ganzzahligen Oberschwingungen können auch Zwischenharmonische (sog. Interharmonische) auftreten. Diese haben Teilerfaktoren mit nicht natürlichen

Zahlen, also z.B. die 2,25-fache der Grundschwingung. Auch diese müssen und können gemessen werden. Ursachen sind moduliert arbeitende Verbraucher, aber auch die Mischereffekte nichtlinearer Verbraucher, wie sie heute die typische Netzlast darstellen.

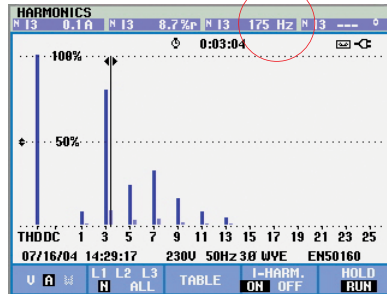


Bild 6 - Zwischenharmonische, hier 175 Hz

Spannungsschwankungen, -ausfälle und Flicker

Immer höhere Lastdichten und geschaltete Verbraucher, wie z.B. Aufzugsantriebe, verursachen kurzfristige Spannungsrückwirkungen, die sich als Netzeinbrüche oder im Entlastungsfall auch als Spannungserhöhungen auswirken. Spannungseinbrüche oder gar -ausfälle irritieren Schaltnetzteile, welche dann über ihren "Power Good"- oder "Watchdog"-Ausgang dem Prozessor einen Resetbefehl erteilen. Generell stellen derartige Schwankungen über eine oder mehrere Perioden eine Beeinträchtigung vieler Verbraucher, wie zum Beispiel produktionstechnische Anlagen sowie deren Steuer- und Regeltechnik, dar.

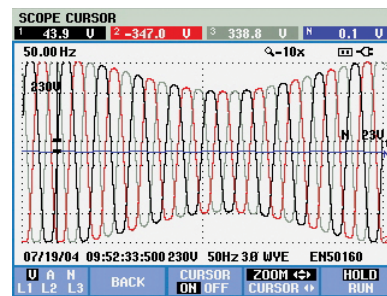


Bild 7 - Spannungseinbruch von 40 % durch eine Lastzuschaltung

Treten sie gehäuft in kurzer Zeit auf (5-30 Hz) so spricht man von Flicker. Dieser Begriff leitet sich aus dem dann sichtbaren Flackern des Lichts der betroffenen Raumbeleuchtung ab. Dem Flicker wird dabei ein Messwert zugeordnet, für den Kurzzeitflicker ist dies P_{st}. Die Aussage des Wertes P_{st} ist nun so zu verstehen: Wenn von einer Gruppe von 100 Personen in einem elektrisch mit Glühlampen beleuchteten Raum 50 Personen das Flackern gerade noch wahrnimmt und die andere Hälfte schon

nicht mehr, so ist $P_{st} = 1$ definiert. Dieser Versuch wird für verschiedene Modulationsfrequenzen durchgeführt, so erhält man eine Bewertungskurve. Dieses Wahrnehmungsmuster wird im Flickermessbereich durch einen in der Norm definierten Algorithmus nachgebildet. Somit können die Spannungsschwankungen in objektive Daten überführt werden.

Die Bewertung des Flickers nach EN 50160 ist eine Sache, die Ortung eine andere. Denn Ziel ist ja, die Störungsquelle – meist eine schwankende Last wie z.B. einen Schweißautomat oder

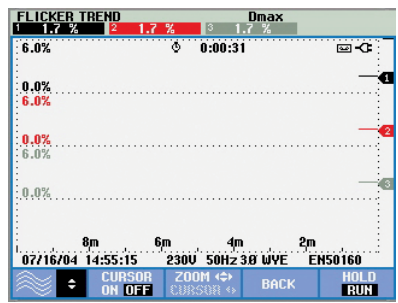
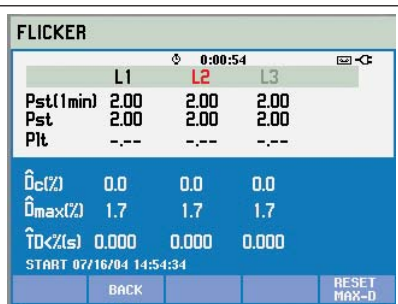


Bild 8 - Aufzeichnung des Flickerwertes pro Phase

einen Fotokopierer – zu finden. Die Flickerortung sei an einem Beispiel erläutert:

Eine Etage eines Gebäudes beklagt sich über Netzflicker. Eine frühere Messung ergab einen P_{st} -Wert von 0,95, was innerhalb der zulässigen Grenzen liegt. Dennoch ist der Flicker für einen großen Teil der Angestellten noch sichtbar, ganz zu schweigen von den immer noch auftretenden Geräteausfällen. Da $P_{st} < 1$ war, wurde zunächst nicht gehandelt.

Nun wird zur Problembeseitigung folgendermaßen vorgegangen: In der speisenden Unterverteilung wird der Spannungspfad des Fluke 434 angeschlossen. Mit der Stromzange wird nun jeder Abgang einzeln kurz aufgezeichnet. Verlaufen die Trendkurven für Strom und Spannung gleichsinnig, kommt die Schwankung von der Einspeiseseite (Spannungseinbruch

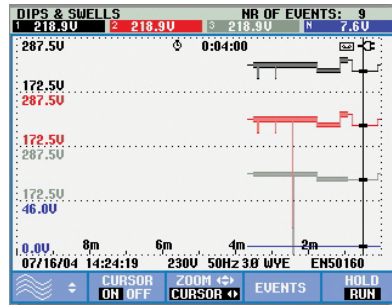


Bild 9 - Der Kurvenverlauf zeigt die Richtung der Flickerursache

verursacht Stromrückgang und umgekehrt). Es muss also eine Verteilerebene höher gesucht werden oder ein Nachbarabgang untersucht werden. Verlaufen die Trendkurven gegensinnig ist die Ursache verbraucherseitig (steigender Strom verursacht Spannungsfall und umgekehrt). Nun muss eine Verteilenebene tiefer gesucht werden. Durch die Baumstruktur des Netzes kann so der Fehlerort schnell und eindeutig lokalisiert werden.

Unsymmetrie

Von Unsymmetrie spricht man, wenn die Spannungen der drei Phasen nicht gleich sind oder Phasenverschiebungen auftreten, die von 120° abweichen. Ursachen sind die in aller Regel unsymmetrisch verteilten Phasenbelastungen. Dabei führt die Wirklast hauptsächlich zu den unterschiedlichen Spannungen, die Blindlast, also der unterschiedliche $\cos \phi$, zu den Phasenabweichungen von den idealen 120°. Folge ist ein nicht mehr rundes Drehfeld, welches zu heißlaufenden Motoren führt. Weitere Folge sind Ströme im Neutral- bzw. PEN-Leiter. Bei TN-C-Netzen oder illegalen Brücken in TN-S-Netzen erfolgt eine Verschleppung der Ströme z.B. auf Netzwerkleitungen mit entsprechend teuren Folgeschäden. Wohlgermerkt, es handelt sich hier um Komponenten, die zusätzlich zu den im PE/PA-System leider auftretenden Oberschwingungsströmen hinzukommen.

Bild 10 zeigt, wie einfach Unsymmetrie erkannt werden kann. Man braucht nur die Pfeile des Zeigerbildes zu betrachten. Die Tabelle rechts gibt dann die genauen Daten. Ein Drehfeld besteht aus drei Komponenten:

- Dem Mitsystem, normalerweise rechtslaufend. Es vollbringt die gewünschte Antriebsleistung im Motor.
- Das Gegensystem läuft links herum, es wirkt bremsend. Motoren werden in ihrer Leistung eingeschränkt und werden heiß.

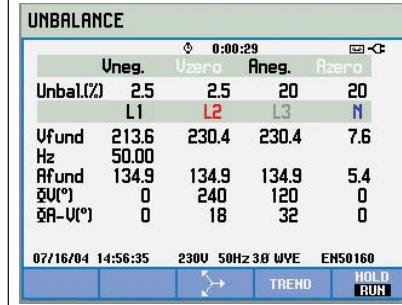
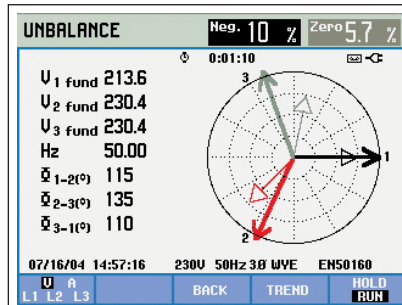


Bild 10 - Unsymmetrie im Netz sichtbar gemacht.

- Das Nullsystem enthält gar kein Drehfeld, es belastet den Neutralleiter. Die dritte Oberschwingung ist z.B. ein reines Nullsystem.

Ziel ist daher, das Auftreten eines Gegensystems und Nullsystems möglichst zu vermeiden. Die Prozentwerte für Gegensystem und Nullsystem sind für Spannung und Strom in Bild 10 rechts sofort sichtbar.

Bedienung und Handhabung der Serie 430

Die Bedienung und Handhabung der Serie 430 ist extrem einfach. Es brauchen nur die Stromzangen auf die Leiter geklemmt und die Spannungspfade angeschlossen zu werden. Dann wird im Menü die gewünschte Funktion gestartet.

Einzigartig ist dabei die AutoTrend-Funktion: Sie vermittelt einen schnellen Überblick über die Änderungen im Laufe der Zeit, ohne dass bestimmte Schwellwerte oder Intervallauern eingestellt werden müssen oder der Prozess manuell gestartet werden muss. Es werden immer sämtliche Messwerte erfasst, und es ist möglich, zwischen Daten- und Trendplots umzuschalten und sogar die Zoom- und Cursor-Funktionen zu benutzen, um detaillierte Analysen durchzuführen, während die Aufzeichnung im Hintergrund fortgesetzt wird. AutoTrend bietet den doppelten Vorteil, dass einem keine wertvollen Daten entgehen und man gleichzeitig Zeit spart, weil weder das Instrument speziell eingestellt zu werden braucht noch die

Messungen einzeln gestartet werden müssen.

Die Netzformen und die Anschlusspunkte werden übersichtlich im Menü dargestellt.

Normenmessung

Die Messung nach Normen war früher kompliziert und vor allem teuer. Dieses Problem ist durch Fluke 434 elegant gelöst. Dabei kommt es auf drei Normen an:

- EN 61010:

Diese Norm beschreibt den Aufbau der Messtechnik hinsichtlich der Sicherheit des Anwenders. Da Netzanalysatoren in Hochenergieumgebungen eingesetzt werden, ist die Einhaltung dieser Norm extrem wichtig.

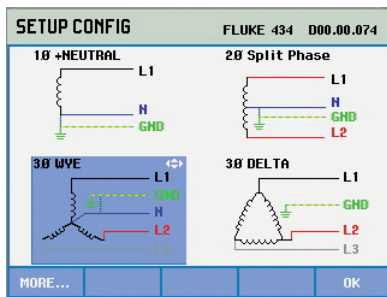


Bild 11 - Klar strukturierte Anschlusspläne, die Leiterfarben sind je nach Landeskenntung zuweisbar.

- EN 61000-4-30:

Sie beschreibt wie das Messgerät intern die Daten erfassen und protokollieren muss. Z.B. werden zur Oberschwingungsmessung jeweils 10 Perioden erfasst.

- EN 50160:

In dieser Norm ist die vom Energieversorger zu liefernde Spannungsqualität festgelegt.

Mit der System-Monitor-Funktion der Fluke 430 Serie sind Messungen zur Übereinstimmung mit den Normen endlich einfach durchführbar. Eine Taste drücken, und die Messung beginnt. Danach die Ereignisliste durchgehen, um die Details von Ereignissen anzuschauen, die außerhalb der Grenzwerte liegen.

Zusammenfassung

Netzqualitätsmessgeräte sind heute unverzichtbare Werkzeuge. Doch ob Ersatz- oder Neubeschaffung: bisher stellten Bedienbarkeit und Preis immer die Wirtschaftlichkeit einer solchen Beschaffung in Frage. Auch dieses kommerzielle Problem ist inzwischen gelöst.

Fluke 433 und 434 wurden als professionelle Messgeräte für Anwendungen in der Industrie, im Gesundheitswesen, bei Finanzdienstleistern und Banken, in Rechenzentren und allen Bereichen konzipiert, in denen die Qualität der Stromversorgung kritisch ist.

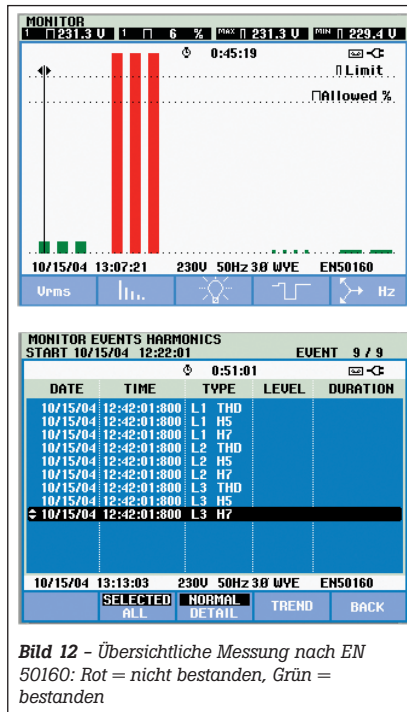


Bild 12 - Übersichtliche Messung nach EN 50160: Rot = nicht bestanden, Grün = bestanden

Zur Fehlersuche an dreiphasigen Anlagen sind sie durch ihre Vielseitigkeit, automatische Mess- und Aufzeichnungsfunktionen und einfache Bedienbarkeit die idealen Werkzeuge.

Sie messen alle Parameter eines Stromversorgungssystems in Übereinstimmung mit der neuen Norm EN 61000-4-30, zum Beispiel Echtheffektivspannung und -strom, Frequenz, Leistung, Leistungsaufnahme, Unsymmetrie und Flicker.

Außerdem können sie Oberschwingungen aufzeichnen und verfolgen, und sie erfassen auch automatisch Ereignisse wie Transienten - von nur 5 µs und mit einer Spannung von bis zu 6 kV - Unterbrechungen, schnelle Spannungsänderungen sowie Spannungseinbrüche und -erhöhungen. Diese Messungen nach Norm sind besonders auch für Energieversorgungsunternehmen interessant.

Diese robusten Instrumente sind für den mobilen Einsatz optimiert und können mehr als 7 Stunden lang mit einer Akkuladung netzunabhängig betrieben werden. Der große Datenspeicher fasst

bis zu 50 Schirmbilder und bis zu 10 Messungen mit jeweils 32 Parametern - einschließlich Geräteeinstellungen und Trenddaten - die über einen Zeitraum von mehr als einem Jahr aufgezeichnet werden und alle über die FlukeView® Software zur Analyse oder Einbindung in Protokolle an einen PC übertragen werden können. Beide Modelle verfügen außerdem über vielseitige Oszilloskopfunktionen.

Fluke bietet eine umfassende Reihe an Netz- und Stromversorgungsanalysatoren zur Wartung von hochwertigen Stromversorgungssystemen. Die Drei-Phasen-Modelle der Serie 430 ergänzen den einphasigen Netz- und Stromversorgungsanalysator Fluke 43B, ein Instrument, das die Fähigkeiten eines Netz- und Stromversorgungsanalysators, eines 20-MHz-Oszilloskops, eines Multimeters und eines Messdatenschreibers vereint.

Die Fluke Netzanalysatoren 43 B, 433 und 434 decken von der einfachen Störungssuche bis zur komplexen Analyse alle Messmöglichkeiten ab, die im modernen Anwenderalltag benötigt werden und das zu einem äußerst attraktiven Preis.

Fluke. Damit Ihre Welt intakt bleibt.

Fluke Deutschland GmbH
Postfach 200245
34081 Kassel
Heinrich-Hertz-Straße 11
34123 Kassel

Telefon: (069) 2 22 22 02 00
Telefax: (069) 2 22 22 02 01
E-mail: info@de.fluke.nl
Web: www.fluke.de

Fluke Vertriebsges.m.b.H.
Mariahilfer Strasse 123
Rauchgasse 23/13
1060 Wien
Telefon: (01) 928 95 00
Telefax: (01) 928 95 01
E-mail: info@as.fluke.nl
Web: www.fluke.at

Fluke (Switzerland) GmbH
Industrial Division
Grindelstrasse 5
8304 Wallisellen
Tel: (044) 580 75 00
Fax: (044) 580 75 01
E-Mail: info@ch.fluke.nl
Web: www.fluke.ch