

Reiner Sinus oder verzerrt ?

Zur Erinnerung: wenn man von 230 V Netzspannung spricht, meint man den „Effektivwert“ der Spannung. Die angeschlossenen, zumeist rein ohm'schen Lasten (Glühlampen, Heizungen, ...) verursachten während vieler Jahre praktisch keine Verzerrungen auf dem Stromnetz.

Durch die allgemeine Zunahme der nicht-linearen Lasten (Schaltnetzteile, Lichtdimmer, Drehzahlregler, Stromsparlampen usw... - siehe Oberschwingungen: Grundlagen auf S. 76) wird die reine Sinuswelle im Netz jedoch immer seltener.

Herkömmliche Messinstrumente zeigen den „Effektivwert“ einer Wechselspannung durch reine Mittelwertbildung an. Bei sauberen sinusförmigen Spannungen ist das auch richtig, bei verzerrten Signalformen kann der Messfehler jedoch schnell bis zu 50% betragen!

Besonders heutzutage ist es also empfehlenswert, mit sog. RMS- oder TRMS-Instrumenten zu arbeiten, da sie den Effektivwert einer Spannung oder eines Stroms unabhängig von seiner Kurvenform anzeigen.

RMS - der Effektivwert

Im Englischen steht die Abkürzung RMS (Root Mean Square) für den Effektivwert einer AC-Größe. Per Definition ist der Effektivwert eines Stroms derjenige Wert eines DC-Stroms, der in einem Widerstand dieselbe Erwärmung hervorrufen würde.

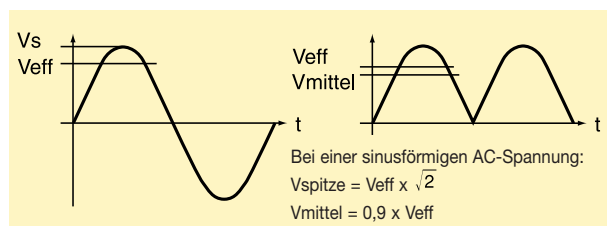
$$V_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V^2 \cdot dt}$$

Im Sonderfall einer rein sinusförmigen AC-Größe liefert die obige Formel den folgenden Wert.

$$v = V_s \cos \omega t \cdot dt$$

$$V_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} V_s^2 \cos^2 \omega t \cdot dt} = \frac{V_s}{\sqrt{2}}$$

Dabei ist die Amplitude (der Spitzenwert V_s) der sinusförmigen AC-Größe (Spannung oder Strom) $\sqrt{2}$ mal ihr Effektivwert ($V_s = \sqrt{2} \cdot V_{\text{eff}}$). Im industriellen Bereich ist die Kenntnis des Effektivwerts von vorrangiger Bedeutung, besonders Stromstärken sind dadurch definiert.



Für das 230 V, 50 Hz Stromnetz heißt das:
 $V_{\text{eff}} = 230 \text{ V}$, $V_{\text{spitze}} = 325 \text{ V}$, $V_{\text{mittel}} = 207 \text{ V}$

Bei einem Instrument mit Mittelwertbildung heißt das, dass es nach Gleichrichtung und Filterung den Mittelwert des sinusförmigen AC-Stroms bildet, diesen mit einem Faktor $1/0,9 = 1,111$ multipliziert und als „Effektivwert“ anzeigt. Dieses indirekte Messverfahren ist einfach und für rein sinusförmige AC-Größen sehr genau, aber es akzeptiert nur Verformungen bis zu einigen wenigen Prozent. Bei stärker verformten Signalen muss das RMS-Verfahren benutzt werden. Hier wird die AC-Größe direkt gemessen: entweder durch ein thermisches Verfahren (diese Methode wird meist in Eichlabors verwendet) oder durch schnelle Abtastung der Momentanwerte und anschließende analoge oder digitale Berechnung. Dazu sind allerdings aufwendige elektronische Bauteile nötig (wie z.B. bei den Chauvin Arnoux RMS- und TRMS-Messgeräten).

Spitzenwert - Scheitelfaktor

Für den Scheitelfaktor gilt folgende Formel:

$$SF = \frac{V_{\text{Spitze}}}{V_{\text{effektiv}}}$$

Zusätzlich zum Effektivwert ist diese Information zu einer AC-Größe nützlich, da sie etwas über dessen Verformung aussagt.

Bei einem sinusförmigen Signal beträgt der Scheitelfaktor
 $SF = \sqrt{2} = 1,414$

Kennzeichnung und Symbole

Gemäss IEC-Norm 61010-1 bezüglich der elektrischen Sicherheit von Messgeräten müssen diese Geräte mit bestimmten Symbolen gekennzeichnet sein, oder sie in der Anzeige darstellen:

- ⋯ : Gleichstrom bzw. -spannung. Manchmal auch mit DC bezeichnet (engl. für „Direct Current“)
 - ~ : Wechselstrom bzw. -spannung. Manchmal auch mit AC bezeichnet (engl. für „Alternative Current“)
 - ⌚ : Gleich- und Wechselstromgrößen (AC/DC-Größen)
 - ⚠ : Warnhinweis - In Bedienungsanleitung nachlesen !
- IEC 61010-1 600 V CAT III:

Gerätesicherheit erfüllt die IEC-Norm 61010-1 für eine Betriebsspannung von 600 V gegenüber Erde und für die Überspannungskategorie III

CAT IV: Messungen an der Quelle von Niederspannungsinstallationen.

CAT III: Messungen an Gebäudeinstallationen.

CAT II: Messungen an Kreisen die direkt an Niederspannungsinstallationen angeschlossen sind.

CAT I: Messungen an Kreisen die nicht direkt mit dem Stromnetz verbunden sind.

⏏ : Erdklemme

☐ : Gerät ist schutzisoliert bzw. doppelt isoliert.

Weitere Symbole und Bezeichnungen

- : Summer, der akustische Signale abgibt
- * : Anzeigebeleuchtung
- HOLD : Wert wird in der Anzeige gespeichert
- RANGE : Messbereichsumschaltung manuell oder automatisch
- RECORD : Messwerterfassung
- MAX/MIN/AVG : Gemessener Maximalwert, Minimalwert, Mittelwert
- SMOOTH : Messwertglättung (im allg. über 3 s) um bei schwankenden Signalen eine stabile Anzeige zu erhalten.

Zangenstromwandler: Das moderne Verfahren zur Messung von Strömen

Einleitung

Mit Zangenstromwandlern lassen sich die Messmöglichkeiten von Multimetern, Leistungsmessern, Oszilloskopen, Messwertschreibern, Erfassungszentralen usw... sinnvoll steigern. Bei einem Zangenstromwandler wird der vom zu messenden Strom durchflossene Leiter einfach mit den Zangenbacken umschlossen, d.h. der Stromkreis wird nicht unterbrochen oder sonstwie beeinflusst. Der Zangenstromwandler gibt dann ein dem zu messenden Strom direkt proportionales Strom- oder Spannungssignal ab. Dieses ungefährliche Schwachstromsignal lässt sich nun auf einem "normalen" Messgerät für geringe Eingangsgrößen unter Berücksichtigung des Wandlerverhältnisses anzeigen.

Da der gemessene Stromkreis vom Sekundärkreis des Zangenstromwandlers elektrisch völlig isoliert ist, können die Eingänge des Messgeräts sowohl schwimmend, als auch auf Erde bezogen sein.

Während dieser berührungslosen Strommessung läuft der zu messende Stromkreis für das Gerät, die Maschine oder die komplette elektrische Anlage völlig normal weiter, d.h. die Messung bewirkt keine Zeitverluste und zeigt die tatsächlichen Werte im Betrieb.

Mit den meisten Chauvin Arnoux Zangenstromwandlern sind innerhalb des spezifizierten Frequenzbereiches und bei Anschluss an ein entsprechendes Multimeter Messungen in Echteffektivwerten (TRUE RMS) möglich. In den meisten Fällen sind die Effektivwertmessungen dabei nicht durch die Messzange, sondern durch die Fähigkeiten des Multimeters begrenzt. Die besten Ergebnisse bei stark verzerrten Signalformen erzielt man mit Zangenstromwandlern hoher Genauigkeit, breitem Frequenzbereich und geringer Phasenverschiebung.

Chauvin Arnoux bietet weltweit die größte Auswahl an Zangenstromwandlern, sowohl für Wechsel- als auch für Gleichströme.

Die Messtechnik und/oder das einzigartige Design mehrerer Chauvin Arnoux Messzangenmodelle sind durch Patente geschützt.

Messprinzipien

■ Messen von Wechselströmen

- Mit Zangenstromwandlern -

Für das Messen von Wechselströmen verwendet man das Prinzip des Stromwandlers oder des Transformators. Ein Stromwandler besteht aus zwei getrennten Wicklungen, der Primärwicklung B_1 mit N_1 Windungen und der Sekundärwicklung B_2 mit N_2 Windungen auf einem gemeinsamen Eisenkern (Abb. 1).

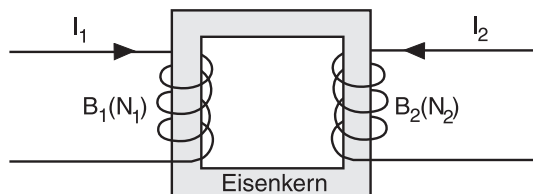


Abb. 1

Fließt durch die Wicklung B_1 ein Strom I_1 , erzeugt dessen zeitliche Veränderung in der Wicklung B_2 einen Strom I_2 , dessen Eigenschaften unter anderem vom Windungsverhältnis N_1 zu N_2 und der magnetischen Leitfähigkeit des Eisenkerns abhängen.

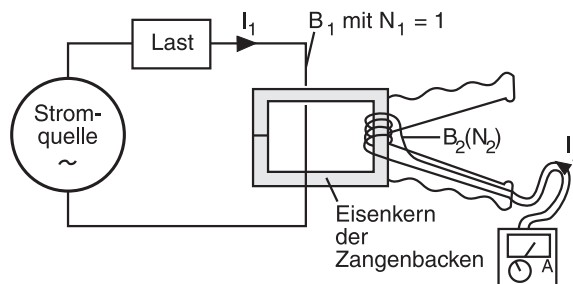


Abb. 2

Mathematisch wird dieses Stromwandlerprinzip wie folgt ausgedrückt: $I_1 N_1 = I_2 N_2$.

In der Praxis besteht die Primärwicklung B_1 nur aus einer Windung des Kabels, durch das der zu messende Strom fließt, d.h. $N_1 = 1$ (siehe Abb. 2). Die mathematische Formel vereinfacht sich daher wie folgt:

$$I_1 = I_2 N_2 \quad \text{oder} \quad I_1 = 1/N_2 \times I_2$$

Hinweis: Das Übersetzungsverhältnis wird ausgedrückt als das Verhältnis zwischen dem zu messenden Strom und dem Signal am Ausgang des Zangenstromwandlers. Hat die Zange z.B. 1000 Windungen, d.h. $N_2 = 1000$, dann gilt nach der Formel $I_1/I_2 = N_2/1$ oder 1000/1. Der Zangenstromwandler hat also ein Übersetzungsverhältnis von 1000:1.

- Mit flexiblen Stromwandler -

Der flexible Stromwandler AmpFLEX beruht auf dem Prinzip der Rogowski-Spule. Der Leiter, durch den der zu messende Strom fließt, bildet die Primärwicklung, während die Sekundärwicklung aus einer flexiblen, auftrennbaren Schleife besteht, die um den Leiter gelegt wird. Die Messschleife ist über ein geschirmtes Kabel mit einem Gehäuse verbunden, in dem sich die Auswertelektronik und die Batterie befinden. In der AmpFLEX-Strommessschleife wird eine Spannung erzeugt, die proportional zur Ableitung des Stroms ist:

$$u = \frac{\mu_0 S n}{2\pi r} \times \frac{di}{dt}$$

wobei: S = Fläche der Wicklung
 n = Anzahl Windungen
 r = Radius des Torus

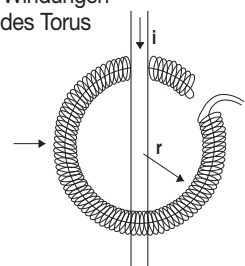


Abb. 3

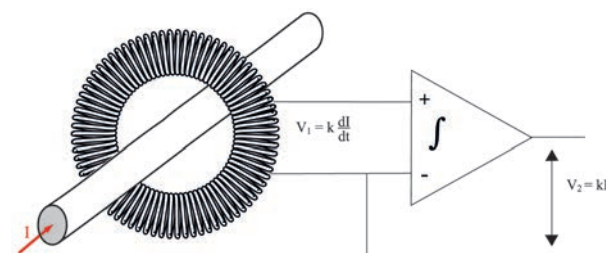


Abb. 4

Die flexiblen Stromwandlern AmpFLEX und MiniFLEX sind in verschiedenen Längen erhältlich und ermöglichen Wechselstrommessungen im Bereich von 0,5 A bis 10 kA bei industriellen Frequenzen (siehe Seite 39).

■ Messen von Gleichströmen

Für die „berührungslose“ Messung von Gleichströmen benutzt man den sog. Hall-Effekt. Ein in einem Leiter fließender Strom erzeugt bekanntlich ein Magnetfeld \vec{B} . Durchsetzt dieses Magnetfeld \vec{B} senkrecht eine sog. Hall-Sonde, so entsteht an deren Seitenflächen eine zum Magnetfeld proportionale Hall-Spannung (siehe Abb. 5)

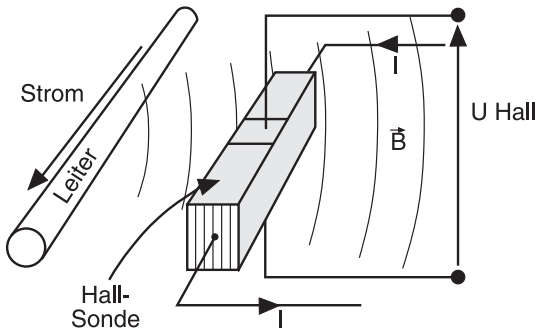


Abb. 5

Abb. 6 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Messzange mit Hall-Sonde. Je nach Bauart der Messzange können dabei eine oder zwei Hall-Sonden benutzt werden.

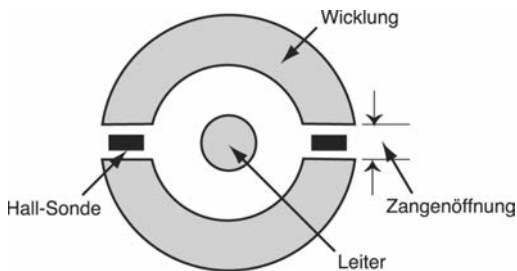


Abb. 6

■ Messen von schwachen Strömen, Leckströmen und Prozessschleifen

Unter den Chauvin Arnoux Zangenstromwandlern finden Sie einige Modelle mit denen schwache Ströme gemessen werden können, z.B. die Modelle K1 und K2. Sie zeichnen sich durch eine sehr hohe Stromempfindlichkeit aus und sind besonders für die Messung von 4-20 mA Stromschleifen in der Prozess- und Regeltechnik ausgelegt.

Wenn der zu messende Strom für die Messzangen zu schwach ist oder wenn eine höhere Messgenauigkeit gewünscht wird, kann man den Leiter auch mehrmals durch die Zangen führen (siehe Abb. 7 unten). In diesem Fall ist der abgelesene Stromwert einfach durch die Anzahl Windungen zu teilen.

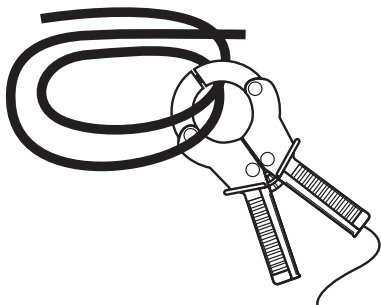


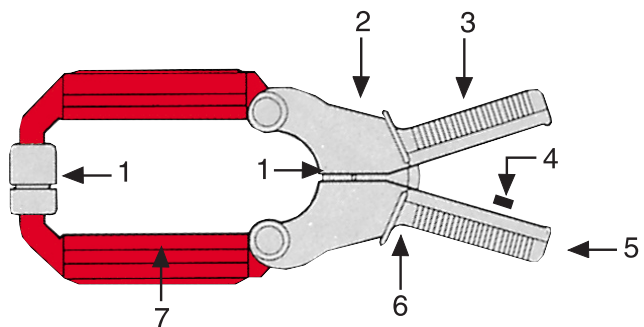
Abb. 7

Von der Theorie zur Praxis

Als Erfinder des Zangenstromwandlers beherrscht Chauvin Arnoux seit langem die oben beschriebenen Verfahren zur berührungslosen Strommessung. Bei der digitalen Stromzange F3N hat Chauvin Arnoux sein Know-how im Bereich der Strommessung um digitale Signalverarbeitung in Quasi-Echtzeit erweitert (siehe S. 37). Da sich Chauvin Arnoux stets an den Bedürfnissen seiner Kunden orientiert, können wir eine vollständige Palette von Zangenstromwandlern anbieten, die für alle erdenklichen Anwendungsfälle konzipiert sind: mehr als 30 Standardmodelle für Multimeter, Messwertschreiber, Oszilloskope usw. stehen zur Auswahl (siehe S. 42, 43). Außerdem entwickeln wir Sondermodelle für spezielle Kundenwünsche.

■ Strom messen mit Zangenstromwandlern, das heißt sich für Sicherheit zu entscheiden

- 1 - Kabelklemmschutz
 - 2 - Pfeil zur Ausrichtung der Zange für fehlerfreie Leistungsmessungen: P1 (Stromquelle) zu P2 (Stromverbraucher)
 - 3 - Typenschild mit Angabe der Sicherheitsnormen für den Benutzer
 - 4 - Bereichsumschalter (je nach Modell)
 - 5 - Anschluss mit Ø 4 mm-Buchsen, mit Kabeln und Ø 4 mm-Steckern oder mit BNC-Steckern, je nach Modell
 - 6 - Schutzring
 - 7 - Die rote Farbe kennzeichnet aktive Bauteile
- ... und weitere Innovationen: automatischer Nullabgleich für DC-Messungen, Zangenbacken mit progressiver Öffnung usw....



Isolationsmessung

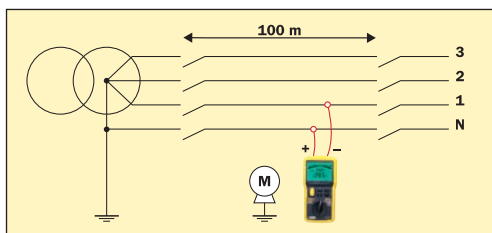
Elektrische Geräte oder Anlagen besitzen eine Vielzahl unterschiedlicher Stromkreise, die über verschiedene Leiter laufen. Um die Funktion aber auch die Sicherheit zu gewährleisten, müssen die Stromkreise und damit die Leiter gegeneinander isoliert sein. Der Isolationswiderstand muss mit Messgeräten die der Norm DIN EN 61557-2 bzw. DIN VDE 0413-2 entsprechen in regelmäßigen Abständen überprüft werden.

Isolationsmessung an elektrischen Anlagen

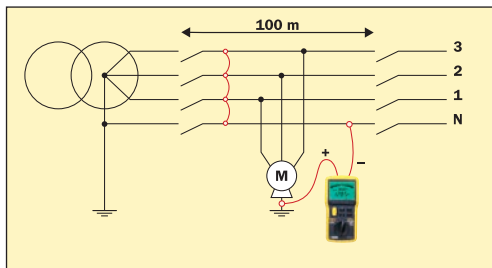
Die Anforderungen an die Isolierung von elektrischen Anlagen werden in der Norm DIN VDE 0100 geregelt.

Der Isolationswiderstand ist wie folgt zu messen:

- zwischen jedem aktiven Leiter und Erde



- in Leitungsabständen von jeweils 100 m bei normal angeschlossenen Verbrauchern
- zwischen allen aktiven Leitern gemeinsam und Erde



- die geforderte Prüfspannung (250, 500 oder 1000 V_{dc}) wird zwischen den aktiven Leitern und Erde angelegt

Nennspannung des Stromkreises	DC-Prüfspannung	Mindestwert des Isolationswiderstandes
Sicherheitskleinspannung SELV, PELV	250 V	≥ 0,5 MΩ
≤ 500 V (außer Kleinspannung)	500 V	≥ 1,0 MΩ
> 500 V	1000 V	≥ 1,0 MΩ

Hinweis: je nach Anwendung können auch andere Prüfspannungen vorgeschrieben sein: 50 V, 100 V für Telefonanlagen und Kleinspannungen, 2500 V / 5000 V für Mittelspannungsanlagen (Eisenbahn, Industrie, EVU usw...)

Isolationsmessung an elektrischen Betriebsmitteln

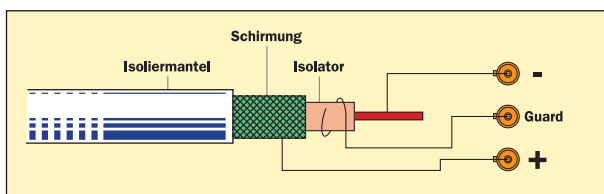
Die Isolationsprüfung ist ein wichtiger Bestandteil der Prüfung von Elektrogeräten, Maschinen, Schaltschränken usw.

Der geforderte Mindestwert für den Isolationswiderstand kann sich hier von Norm zu Norm ändern. Die am häufigsten benutzte Prüfspannung beträgt 500 V_{dc} und gilt z.B. für Maschinen (laut EN 60204) und elektrische Geräte (laut DIN VDE 0701-0702).

Bei Mittelspannungsmotoren (≥ 1000 V) beträgt die Prüfspannung meistens 2500 oder 5000 V_{dc}.

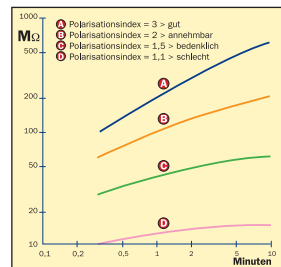
Nützliche Hilfsmittel zur Isolationsmessung

Nutzen der GUARD-Schaltung



Für die Messung hoher Isolationswiderstände (> 1 GΩ) wird empfohlen, ein Messgerät mit Guard-Buchse zu benutzen, um Leckstrom-, Kriechstrom- oder Kapazitäts-Effekte auszuschließen. Die Guard-Leitung ist an eine Oberfläche anzuschließen, von der staub- oder feuchtigkeitsbedingte Oberflächen-Kriechströme ausgehen können. Diese Oberfläche kann z.B. der Isoliermantel eines Kabels oder die isolierende Oberfläche eines Transformators zwischen den beiden Messpunkten sein.

Was ist DAR (dielektrisches Absorptionsverhältnis) und PI (Polarisationsindex)?



Neben dem rein numerischen Wert des Isolationswiderstands ist es auch besonders interessant, diese Parameter für die «Güte» einer Isolation zu kennen, da sie wichtige zusätzliche Aussagen ermöglichen. Zu diesen „qualitativen“ Parametern einer Isolation gehören:

- Die Temperatur und die Feuchtigkeit. Durch sie verändert sich der Wert des Isolationswiderstands nach einem quasi exponentiellen Verhältnis.

- Störströme (Ladestrom der Kapazität des Prüfobjektes, Strom der dielektrischen Absorption), die sich bei Anlegen der Prüfspannung ergeben. Diese Ströme verringern sich zwar mit der Zeit, sie stören jedoch die Widerstandsmessung während einer bestimmten Anlaufzeit und geben je nach Dauer Aufschluss über den qualitativen Zustand einer Isolation. Diese Indizes bzw. Verhältnisse ergänzen somit die rein quantitative Angabe des Isolationswiderstands und ermöglichen eine zuverlässige Aussage über den guten oder schlechten Zustand einer Isolierung.

Betrachtet man darüber hinaus die zeitliche Veränderung dieser Werte, kann man eine vorbeugende Wartung einrichten, die etwa die unvermeidliche Alterung der Isolation, besonders bei großen Parks von Motoren und Antrieben, frühzeitig erkennt und damit beseitigen kann.

Die Werte für DAR und PI werden wie folgt berechnet:

PI = R 10 min / R 1 min (2 Widerstandswerte nach 1 bzw. nach 10 min.)

DAR = R 1 min / R 30 sec (2 Widerstandswerte nach 30 s bzw. 1 min.)

Interpretation der Ergebnisse :

DAR	PI	Isolationszustand
< 1,25	< 1 < 2	Ungenügend oder sogar gefährlich
< 1,6	< 4	In Ordnung
> 1,6	> 4	Hervorragend

Was versteht man unter dem DD (Index für dielektrische Entladung)?

Falls bei einer mehrlagigen Isolation nur eine der Isolationsschichten defekt ist, während die anderen noch hochohmig sind, lässt sich dieser Fehler weder durch quantitative Messung des Widerstands, noch durch Berechnung des PI oder der DAR erkennen.

Dann sollte man die dielektrische Entladung messen, um daraus den DD berechnen zu können. Bei diesem Verfahren misst man die dielektrische Absorption einer heterogenen oder mehrlagigen Isolation ohne die Leckströme in den parallelen Oberflächen zu berücksichtigen. Dazu legt man an das Prüfobjekt lange genug eine Prüfspannung mit der die zu prüfende Isolation elektrisch „aufgeladen“ wird. Üblicherweise legt man dazu eine Prüfspannung von 500 V während 30 Minuten an. Danach wird das Prüfobjekt schnell entladen und man misst dabei die Kapazität. Nach einer weiteren Minute wird der durch die Isolation fließende Reststrom gemessen.

Der Index DD lässt sich dann nach der folgenden Formel berechnen:

$$DD = \frac{\text{gemessener Strom nach 1 Minute (mA)}}{\text{Prüfspannung (V) x gemessene Kapazität (F)}}$$

Interpretation der Ergebnisse :

DD-Wert	Isolationsqualität
DD > 7	Sehr schlecht
7 > DD > 4	Schlecht
4 > DD > 2	Zweifelhaft
DD < 2	Gute Isolation

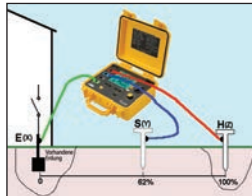
Hinweis: Die DD-Prüfung ist besonders geeignet für die Isolationsbeurteilung von Motoren und Antrieben, sowie für alle Arten von Maschinen und Anlagen mit heterogenen oder mehrlagigen Isolationswerkstoffen mit organischem Material.

Erdungsmessung

Aus Sicherheitsgründen schreiben nationale und internationale Normen wie z.B. DIN VDE 0100 eine Schutzterdung vor. Der Anschluss und der Einbau der Schutzterde hängen vom Gelände und vom jeweiligen spezifischen Erdwiderstand ab. Chauvin Arnoux verfügt über ein komplettes Angebot an professionellen Erdungsprüfern, die auch die Besonderheiten des Geländes berücksichtigen.

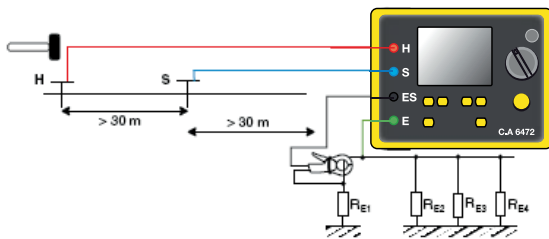
Dreipolige Erdungsmessung (Messung nach dem 62%-Verfahren)

Bei diesem Verfahren wird ein Hilfsleiter und eine Sonde benötigt. Mit dem Hilfsleiter (H) wird der Messstrom in die Erde eingespeist, an der Sonde (S) wird die 0V-Bezugsgröße abgegriffen. Die korrekte Anbringung des Hilfsleiters (H) und der Sonde (S) in Bezug zur Hauptterdung (E) spielt dabei eine wesentliche Rolle. Die Sonde (S) muss auf einer geraden Linie zwischen (E) und (H) in einem Abstand zu (E) von 62% der Gesamtstrecke E, H eingesteckt werden.



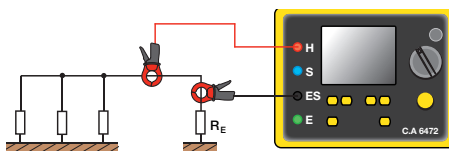
Selektive Erdungsmessung mit Zange

Die vierpolige Erdungsmessung empfiehlt sich besonders für die Messung sehr kleiner Erdungswiderstände. Liegen mehrere parallele Erdungskreise vor, kann bei Verwendung der Erdungsmesser C.A 6471 und C.A 6472 mit Hilfe eines Zangenstromwandlers jeder Kreis einzeln gemessen werden. Das garantiert erhebliche Zeitgewinne, denn so kann der Anwender die über jede einzelne Erdung abfließenden Ströme selektiv messen, ohne Beeinflussung durch die parallelen Erdungskreise.



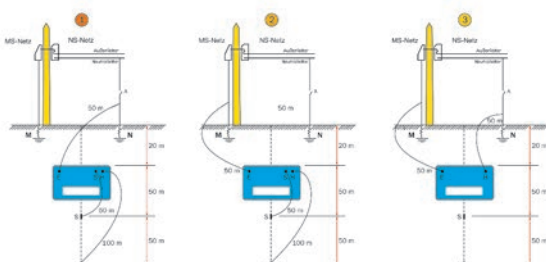
Messung von Erdschleifen mit 2 Zangen

Bei Vorliegen von mehreren parallelen Erdungskreisen kann der Anwender jede Schleife ohne Unterbrechung individuell messen, indem er zwei Zangenstromwandler an den Erdungsmesser (wie zum Beispiel C.A 6471 oder C.A 6472) anschließt. Über die eine Zange, die den Haupt-Erdleiter umschließt, wird ein Signal eingespeist und mit der anderen Zange kann man nun an jeder einzelnen Schleife den jeweiligen Erdungswiderstand messen. Dieses Verfahren ermöglicht erhebliche Zeitgewinne, da keine Spieße einzusteichen sind und keine Erdleiter aufgetrennt werden müssen.



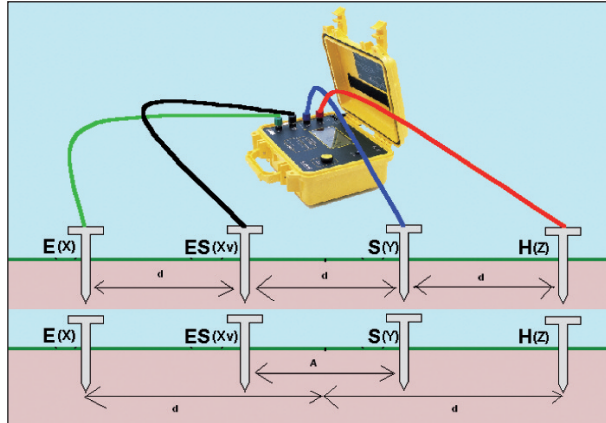
Messung der Erderkopplung

Hierzu braucht der Anwender nur drei Erdungsmessungen durchzuführen: 2 herkömmliche dreipolige Messungen für R1 und R2 und eine zweipolige Messung zur Ermittlung von R1-2. Der Kopplungswiderstand lautet $R_c = (R_1 + R_2 - R_{1-2}) / 2$. Bei einigen Erdungsmessern wie z.B. C.A 6471 und C.A 6472 wird der Kopplungswiderstand automatisch berechnet.



Messung des spezifischen Erdwiderstands

Bei Einrichtung einer Erdung kann die Messung des spezifischen Erdwiderstands von großem Interesse sein, um den besten Punkt für die Erdung zu ermitteln. Je nach Situation und Messgerät lässt sich der spezifische Erdwiderstand vor Ort nach dem Wenner oder Schlumberger-Verfahren berechnen.



Wenner-Verfahren:

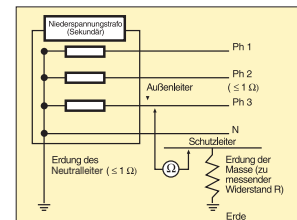
Die Abstände d zwischen den 4 Hilfsleitern sind identisch:
 $\rho W = 2 \cdot \pi \cdot d \cdot R_{S-SE}$

Schlumberger-Verfahren:

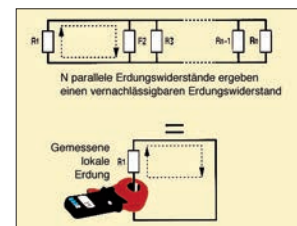
Der Abstand zwischen den beiden mittleren Hilfsleitern S und ES ist A, während der Abstand zwischen den beiden äußeren Erdern 2 d beträgt:
 $\rho S = (\pi \cdot (d^2 - A^2/4) \cdot R_{S-SE}) / 4$

Schleifenwiderstandsmessung

In Städten ist die Messung mit den zwei Hilfsleitern oftmals aus Platzgründen oder zubetonierten Flächen nicht möglich. In diesem Fall, ist eine ausreichende Sicherheit auch dann gegeben, wenn der Erdschleifenwiderstand genügend klein ist, da die Anschlusswiderstände der Masseschleife meistens den größten Teil des Erdungswiderstands ausmachen. Der Vorteil dieses Verfahrens ist seine einfache Durchführung: ein Schleifenwiderstandsmesser wird einfach in eine Steckdose mit Schutzkontakt gesteckt, Prüftaste drücken, Messergebnis ablesen, fertig. Dieses Messverfahren funktioniert natürlich nur, wenn die Erdung der Anlage genau bekannt ist: der Neutralleiter muss mit Erde verbunden sein. Die dabei eventuell auftretenden Messfehler addieren sich zum Ergebnis und beeinträchtigen die Aussage über die Sicherheit der Anlage nicht.



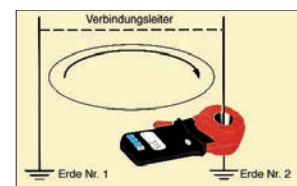
Prinzip der Schleifenwiderstandsmessung Neutralleiter liegt auf Erde



Prinzipschema eines ausgedehnten Erdungsnetzes. In der Praxis besteht eine Erdung meist aus mehreren Basis-Schleifen, die ein ausgedehntes Erdungsnetz bilden.

Erdungsprüfzange

Bei untereinander verbundenen Erdleitern lässt sich die Sicherheit und die Schnelligkeit der Messung mit einer Erdungsprüfzange optimieren. Die Anlage muss nicht von der Erdung abgeklemmt werden und es brauchen keine Hilfsleiter verwendet werden. Durch einfaches Umschließen des Erdleiters kann die Güte der Erdung geprüft und der Wert des nach Erde abfließenden Stroms gemessen werden.



Prinzip der Basis-Schleife: sie besteht aus zwei lokalen Erdungen, die mit einem Leiter verbunden werden.

FUNKTIONSUMFANG

Der **C.A 6116** dient vor allem dazu, die Elektroinstallationen von Wohn-, Gewerbe- oder Industriegebäuden auf Einhaltung der einschlägigen Normen zu prüfen.

Die normgerechte Prüfung der Elektroinstallation ist bei allen privaten, gewerblichen oder öffentlichen Gebäuden vorgeschrieben, um sicher zu stellen, dass von der elektrischen Anlage keine Gefahren ausgehen. Deshalb ist der Installationstester **C.A 6116** für alle Elektroinstallateure, Servicetechniker oder Prüfungsorganisationen ein unverzichtbares Hilfsmittel, um:

- neue Anlagen zu prüfen und abzunehmen
- Anlagen nach einer Erneuerung oder Erweiterung zu prüfen
- vorhandene Anlagen regelmäßig zu kontrollieren
- Anlagen zu warten und zu reparieren.

Mit dem Installationstester **C.A 6116** lassen sich sämtliche von europäischen und internationalen Normen vorgeschriebene Messungen und Prüfungen an Elektroinstallationen vornehmen.

Das Gerät erfüllt die internationale Norm **EN/IEC 61557** sowie die **DIN VDE 0413**, die für Prüfgeräte besonders strenge Anforderungen vorgeben.



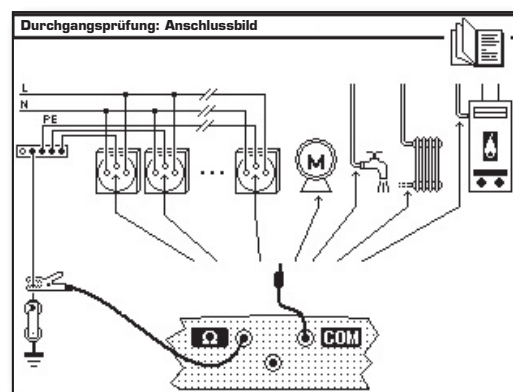
KONTEXT-SENSITIVE HILFE UND VERSTÄRKTE SICHERHEIT

Die **kontext-sensitive** Hilfefunktion des **C.A 6116** ist **besonders deutlich und wirkungsvoll**.

Sie unterstützt erfahrene Benutzer detailreich, ebenso wie Neulinge ohne besondere Vorkenntnisse.

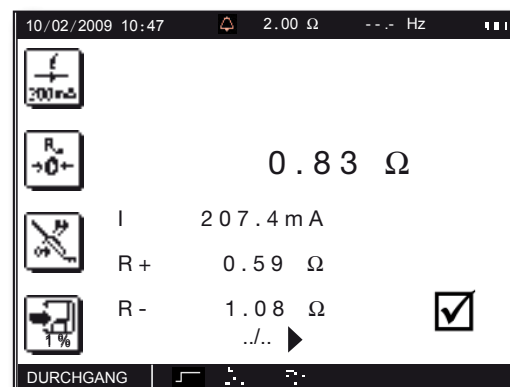
Zu jeder Messung lässt sich eine gesonderte Hilfe abrufen, in der die vorzunehmenden Anschlüsse und die Interpretation der Messergebnisse genau erklärt sind.

Bei falschem Anschluss des Geräts oder Vorliegen gefährlicher Spannungen wird der Benutzer auffällig gewarnt.



DURCHGANGSPRÜFUNG/ NIEDEROHMMESSUNG

Bei diesem Test wird der Widerstand des Schutzleiters (PE) und des Schutzpotentialausgleichs geprüft, der im Fehlerfall Spannungen zur Erde ableitet. Dieser Widerstand ist von der Länge und vom Querschnitt des Schutzleiters abhängig. Der vom Benutzer festgelegte maximal zulässige Widerstand wird oben am Bildschirm angezeigt. Wie in den Normen vorgeschrieben, führt der **C.A 6116** die Messung mit einem Prüfstrom von mindestens 200 mA bei einer Leerlaufspannung zwischen 4 V und 24 V durch.

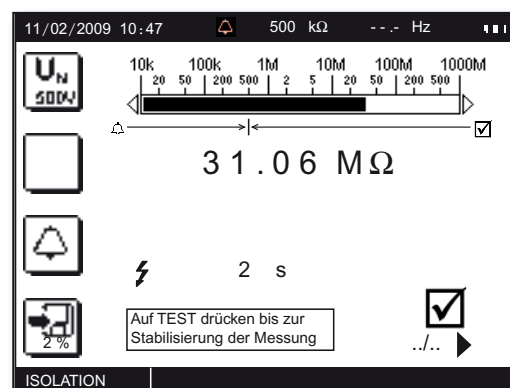


ISOLATIONSWIDERSTANDSMESSUNG

Durch diese Messung soll sichergestellt werden, dass der Isolationswiderstand zwischen den Außenleitern, sowie zwischen den Außenleitern und dem Schutzleiter über dem von der Norm zulässigen Mindestwert liegt.

Beim C.A 6116 stehen 5 Prüfspannungen zur Verfügung: 50/100/250/500/1000 V, so dass alle Anlagenarten geprüft werden können, von Schwachstromanlagen bis zu Elektroinstallationen im Wohn-, Gewerbe- oder Industriebereich.

Standardmäßig erfolgt die Isolationsmessung mit 500 V.



ERDUNGSMESSUNG

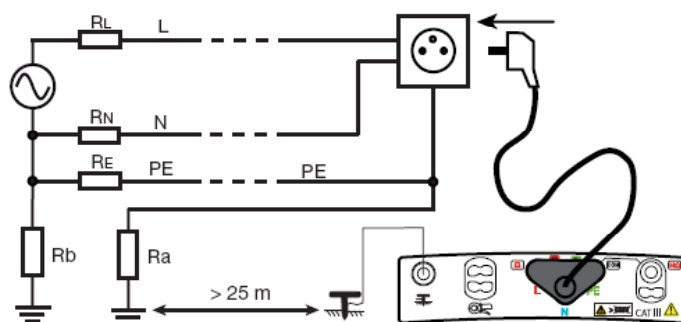
Eine einwandfreie Erdung ist unerlässlich für die Sicherheit von Personen, aber auch für den Schutz von Sachwerten und Anlagen bei Blitzschlag oder Fehlerströmen. In solchen Fällen muss stets eine Abschaltung der Anlage erfolgen.

Für eine vorschriftsmäßige Erdungsmessung gibt es mehrere Möglichkeiten, die je nach Anlagenart und Zustand ausgewählt werden müssen, z.B. nach:

- Netzsystem (TT, TN oder IT)
- Anlagentyp (Wohn- oder Gewerbegebäude, Lage in der Stadt, auf dem Land usw...)
- Abschaltmöglichkeiten der Anlage

Mit dem **C.A 6116** sind alle Arten von Erdungsmessungen möglich: bei abgeschalteter Anlage oder unter Spannung im Betrieb, mit oder ohne Hilfsleiter usw...

Beispiel eines TN-Netzsystems



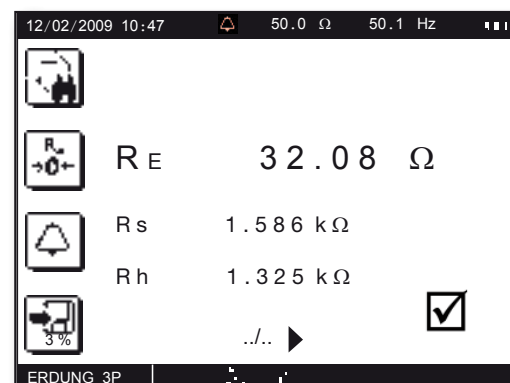
DREIPOLIGE ERDUNGSMESSUNG

Bei der dreipoligen Erdungsmessung (auch als 62%-Verfahren bekannt) ist ein Hilfsleiter und eine Sonde notwendig. Mit diesem Verfahren lässt sich der Widerstand einer Erdung absolut exakt erfassen, allerdings muss die Anlage dazu spannungslos sein. Besonders sinnvoll ist die Messung daher bei neuen Anlagen, die noch nicht ans Netz angeschlossen sind, oder auch bei Altanlagen, die vom Netz getrennt wurden.

Nach Anschluss der Kabel ist die Vorgehensweise besonders einfach: einfach den Drehschalter auf «RE 3P» stellen, die Test-Taste drücken und das Ergebnis ablesen.

Der Benutzer kann außerdem zwischen zwei Testarten wählen: Schnelltest oder Expertentest.

Beim Expertentest wird zusätzlich noch der Erdungswiderstand des Hilfsleiters (RH) und der Sonde (RS) gemessen.

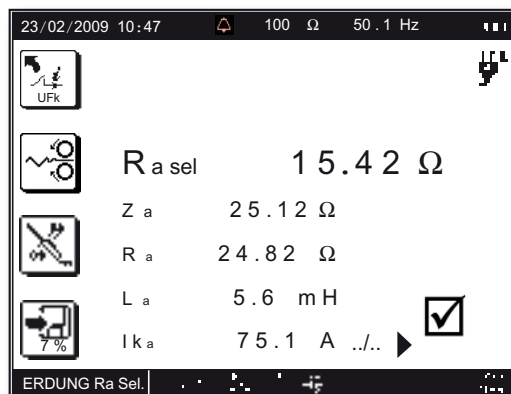


ERDUNGSMESSUNG RA AN ANLAGEN IM BETRIEB

Die Messung ist gleichwertig mit der dreipoligen Messung, sie ist aber viel komfortabler und schneller: die Trennstelle muss nicht geöffnet werden, lässt sich an der Anlage unter Spannung durchführen und benötigt nur eine Sonde (S). Außerdem wird bei diesem Verfahren die Sicherheit groß geschrieben: die Erdung der Anlage ist nie unterbrochen!

Bei dieser Erdungsmessung gibt es zwei Alternativen:

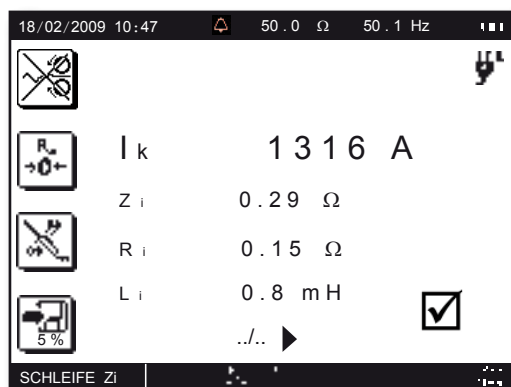
- Messung ohne Auslösung von eingebauten 30 mA-Fehlerstromschutzschaltern (FI/RCD) mit einem entsprechend kleinen Prüfstrom: 6, 9 oder 12 mA
- Messung mit höherem Prüfstrom (TRIP). Die Messgenauigkeit ist in diesem Fall besser und die Spannung U_{fk} bei einem Kurzschluss zwischen Außenleiter und Erde lässt sich genauer berechnen (wie in der Schweizer Norm SEV 3755 vorgeschrieben).



SELEKTIVE ERDUNGSMESSUNG RA SEL AN ANLAGEN IM BETRIEB

Bei einer Erdung, die aus mehreren parallelen Erdern besteht, kann man eine als Zubehör erhältliche Stromzange verwenden, um an Anlagen unter Spannung die Widerstände jedes einzelnen Erders zu prüfen, ohne die Erdungen unterbrechen zu müssen.

Um auch hier eine hohe Messgenauigkeit zu erhalten, ist die $R_{a\ sel}$ Erdungsmessung nur mit einem höheren Prüfstrom möglich (TRIP-Modus). Die Prüfstromstärke lässt sich bei dieser Messart nicht verändern.



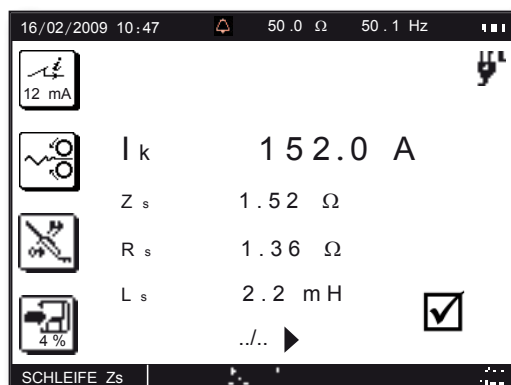
NETZINNENIMPEDANZMESSUNG Zi

Bei der Z_i -Messung wird die Schleifenimpedanz zwischen Außenleiter und Neutraleiter (L N) oder zwischen Außenleiter (L L) gemessen, um den Kurzschlussstrom berechnen und damit die in die Anlage eingebauten Schutzeinrichtungen richtig dimensionieren zu können.

Die Messung erfolgt mit höherem Prüfstrom (TRIP-Modus), um eine entsprechende Genauigkeit zu erzielen.

Der Anschluss lässt sich ganz einfach über den dreipoligen Netzstecker vornehmen oder über einzelne Messleitungen bei Messungen an Schaltschränken.

SCHLEIFENIMPEDANZMESSUNG Zs...



Bei diesem Test wird die Schleifenimpedanz Außenleiter-Erde (L-PE) gemessen. Dadurch lässt sich:

- bei TT-Netzsystemen der Erdungswiderstand einfach und schnell ermitteln, ohne Hilfserder und Sonde setzen zu müssen,
- bei TN-Netzsystemen der Kurzschlussstrom berechnen und damit die Schutzeinrichtung bequem dimensionieren.

Bei IT-Netzsystemen ist diese Messung wegen der hohen Erdungsimpedanz des Speisetransformators oder seiner kompletten Isolierung gegen Erde leider nicht möglich.

Standardmäßig erfolgt die Messung der Schleifenimpedanz Z_s ohne Auslösung der 30 mA-Fehlerstromschutzschutzeinrichtungen, da der Prüfstrom nur 12 mA beträgt. Die Alarmschwelle ist auf 100 Ω eingestellt. In Stellung Z_s des Drehschalters lassen sich die Erdungsmessung R_a und die selektive Erdungsmessung $R_{a\ sel}$ auch unter Spannung im Betrieb messen, da der Anschluss der Sonde S und der Stromzange automatisch erkannt werden.

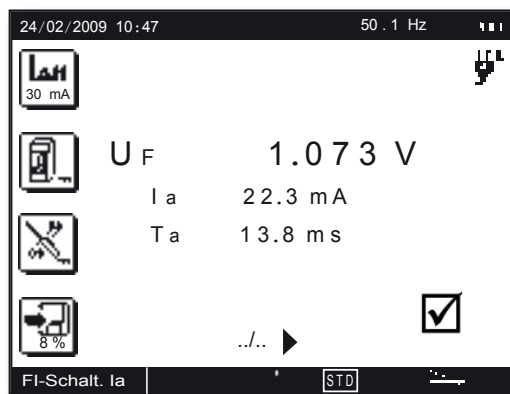
...SCHLEIFENIMPEDANZMESSUNG ZS

Zusätzlich zur Standard-Messung mit 12 mA gibt es noch zwei weitere Testarten:

- einen Test mit Prüfströmen von 6 mA oder 9 mA ohne Auslösung von FI-Schutzschaltern (FI/RCD), selbst bei Anlagen die mit einem hohen Fehlerstrom behaftet sind
- einen Test mit höherem Prüfstrom, der eine größere Genauigkeit gewährleistet (TRIP).

Für die Berechnung des Kurzschlussstroms I_k kann beim **C.A 6116** die Bezugsspannung U_{ref} gewählt werden: entweder die tatsächlich gemessene Spannung (U^{LN}), oder die alte Normspannung (220 V), oder auch die neue Normspannung (230 V).

PRÜFUNG VON FI-SCHUTZSCHALTERN



Mit dem **C.A 6116** lassen sich 3 Arten von Prüfungen an Fehlerstromschutzschaltern vornehmen:

- eine Impulsprüfung: sie dient zur Messung der Auslösezeit
- eine Strom-Rampenprüfung: mit ihr lässt sich die Auslösezeit und der genaue Auslösestrom messen
- eine Nichtauslöseprüfung: mit ihr wird geprüft, dass der Schutzschalter nicht auslöst, wenn der Fehlerstrom kleiner ist als die vorgeschriebene Auslöseschwelle von $I_{\Delta n}/2$.

Mit der FI-Schutzschalterprüfung lässt sich auch die Fehlerspannung U_f berechnen:

$$U_f = Z_s \times I_{\Delta n}$$

Um die Strom-Rampenprüfung durchzuführen, stellt man den Drehschalter auf $I_{\Delta n}$.

Im Impulsmodus stellt man den Schalter auf Δt .

Für die FI-Schutzschalterprüfung lassen sich am Gerät mehrere Einstellungen vornehmen:

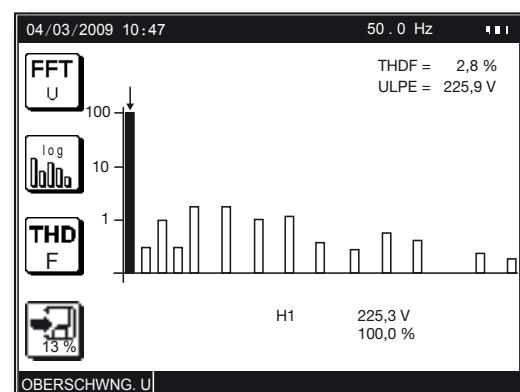
- Bemessungsdifferenzstrom des zu prüfenden FI-Schutzschalters
- Art des FI-Schutzschalters: STD (Standard), S oder G (diese Modelle werden nur mit einem Prüfstrom von $2 I_{\Delta n}$ getestet)
- Form des Prüfsignals
- Ein-/Ausschalten des Spannungs-Summers im Rampenmodus
- Ein-/Ausschalten der Alarme bei der Impulsprüfung

LEISTUNG & OBERSCHWINGUNGEN

Mit dem **C.A 6116** lassen sich auch Leistungsmessungen vornehmen, die für eine erste Abschätzung der Energiequalität einer elektrischen Anlage sehr nützlich sind.

Für eine Leistungsmessung wird der Drehschalter am Gerät einfach auf W gestellt. Anschließend lassen sich auf dem Bildschirm die jeweiligen Kurven für Strom- und Spannungsverlauf darstellen.

Der **C.A 6116** misst Oberschwingungen bis zur 50. Ordnung und stellt den Oberschwingungsgehalt grafisch dar. Die Werte für THD-F und für die Spannung erscheinen gleichzeitig in der Anzeige, sowie die Bezeichnung des ausgewählten Balkens im Diagramm und dessen Amplitude. Der Benutzer kann zwischen einer Oberschwingungsanalyse in der Spannung oder beim Strom wählen und für das Balkendiagramm lässt sich zwischen einer linearen oder logarithmischen Skala umschalten.



Die „Verunreinigung“ der Stromnetze wird heutzutage in der Industrie, im Dienstleistungsbereich, und sogar im Haushalt zu einem immer größeren Problem. Statt der normalen Sinusschwingungen von früher erhalten wir über die Netze immer stärker verzerrte Signale die mit herkömmlichen Messgeräten gar nicht mehr zu messen sind.

Zusätzlich zum echten Effektivwert eines Signals müssen Elektriker heute immer öfter dessen Spitzenwert, den Scheitelfaktor, den Verzerrungsgrad und den Oberschwingungsgehalt kennen. Mit neuen Messgeräten, z.B. den Netzanalysatoren, stehen heute Hilfsmittel zur Verfügung, mit denen die Oberschwingungen schnell und zuverlässig erkannt und gemessen werden können, um nach geeigneten Abhilfen zu suchen.

Oberschwingungsanalyse

Es lässt sich zeigen, dass jede beliebige periodische Signalform (z.B. ein verzerrter AC-Strom) in eine Summe rein sinusförmiger Schwingungen zerlegt werden kann, zuzüglich eines evtl. vorhandenen DC-Anteils (siehe Abb. 1). Bei dieser Zerlegung der Schwingung erhält man eine Grundschwingung mit einer bestimmten Grundfrequenz und Oberschwingungen oder

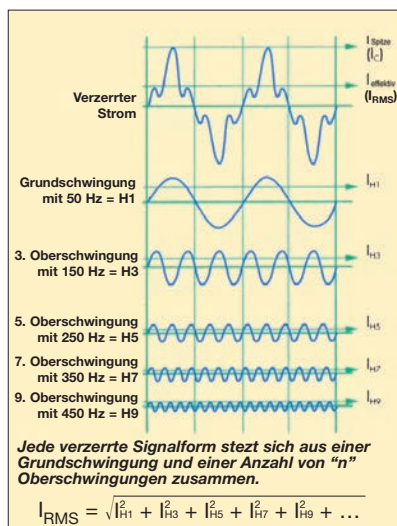


Abb. 1 - Beispiel eines verzerrten AC-Stroms mit ungeraden Oberschwingungen (3, 5, 7, 9, ...)

„Harmonische“, deren Frequenz jeweils ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz beträgt. In den europäischen Stromversorgungsnetzen hat die Grundschwingung (H1) grundsätzlich eine Frequenz von 50 Hz, die erste ungerade Oberschwingung des Rangs 3 (H3) hat demzufolge eine Frequenz von 150 Hz usw... Diese Zerlegung einer Signalform in Grundschwingung und Oberschwingungen erfolgt durch ein

mathematisches Verfahren, der sog. Fourier-Analyse, manchmal auch englisch abgekürzt als „FFT“ (Fast Fourier Transform). Die Abb. 2 zeigt zwei Beispiele einer Fourier-Zerlegung von verzerrten Signalformen. In industriellen Stromnetzen kommen hauptsächlich Oberschwingungen ungerader Rangordnung vor, die die sinusförmige Grundschwingung symmetrisch verformen. Die ungeraden Oberschwingungen niederen Rangs (3, 5, 7, ...) erzeugen meist die größten Verzerrungen des Ausgangssignals. Um die Oberschwingungen zu analysieren, beginnt man mit der Oberschwingung des Rangs 2, d.h. mit 100 Hz, und beschränkt sich im allgemeinen auf den Rang 50, d.h. 2500 Hz.

Messung von Oberschwingungen

Die Verzerrung eines Stroms oder einer Spannung durch Oberschwingungen lässt sich durch zwei Parameter angeben:

- THD (Grundschwingungskliirfaktor): gibt den Anteil der Oberschwingungen in Bezug zur Grundschwingung an. Der THD (manchmal auch als THD-F bezeichnet) errechnet sich nach der folgenden Formel:

$$THD = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}}{A_1}$$

- DF (Oberschwingungskliirfaktor): gibt den Anteil der Oberschwingungen in Bezug zum Effektivwert des Gesamtsignals an. Der DF (manchmal als THD-R oder THD-RMS bezeichnet) errechnet sich nach der folgenden Formel:

$$DF = \frac{\sqrt{A_0^2 + A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}}{A_{eff}}$$

wobei: Aeff = Effektivwert des Gesamtsignals

A0 = Amplitude des DC-Anteils

A1 = Amplitude der Grundschwingung

An = Amplitude der n-ten

Oberschwingung

Wenn DF = 40% so bedeutet das, dass 40% des Effektivwerts in höherfrequenten Oberschwingungen vorliegen und beispielsweise in einem Elektromotor als unnütze Erwärmung verlorengehen.

Manchmal werden THD und DF nicht nur als Summen aller Oberschwingungen angegeben, sondern getrennt für jede Oberschwingungsordnung.

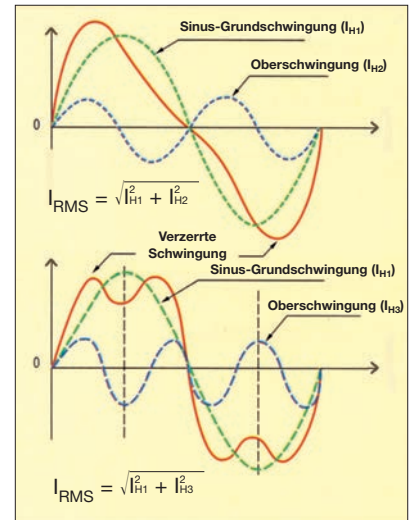


Abb. 2 - Zerlegung einer verzerrten Schwingung in Grundschwingung und Oberschwingung 2. bzw. 3. Ordnung

Entstehung und Auswirkung von Oberschwingungen

Besonders der heute weitverbreitete Einsatz von elektronischen Schaltreglern führt zur Entstehung von Oberschwingungen in den Stromnetzen. In Netzen mit rein ohm'schen Lasten werden diese Oberschwingungen bedämpft. Befinden sich jedoch Kapazitäten oder Induktivitäten im Netz, so können sich die Oberschwingungen durch Resonanz-Phänomene sogar verstärkt im ganzen Netz ausbreiten. Die wichtigsten Erzeuger von Oberschwingungen sind Leistungssteller oder Schaltregler, Schaltnetzteile, Frequenzumrichter, Asynchronmotoren, Schweißgeräte, Lichtbogenöfen, usw.... Oberschwingungen können sich auf zweierlei Art auswirken: Durch sofortige Störungen aufgrund der verzerrten Schwingungsform, z.B. in Form von Resonanzen, falschem Ansprechen von Steuerungen, Ausfällen durch Spannungsspitzen usw... Durch Langzeiteffekte, z.B. Verringerung der Lebensdauer oder vorzeitiger Ausfall aufgrund der thermischen Überlastung oder Überhitzung der entsprechenden Maschinen und Geräte.