

Messe- und Monitoringsysteme
Basiswissen Energiemanagement
Technische Information



Basiswissen Energiemanagement

Inhaltsverzeichnis

2 **Oberschwingungen**

5 **Strom- / Spannungsunsymmetrie**

6 **Transienten**

7 **Spannungseinbrüche und -unterbrechungen**

9 **Phasenverschiebung und Blindleistung**

10 **Blindleistungskompensation**

- Grundlagen zur Blindleistungskompensation
- Berechnungsformeln zum Kondensator

15 **RCM (Residual Current Monitoring) – Fehlerstrom- oder Differenzstrommessung**

17 **Formelsammlung**

24 **Stromwandler**

- Allgemeine Informationen zu Stromwandlern
- Auswahl von Stromwandlern
- Bauform von Stromwandlern
- Einbau von Stromwandlern
- Betrieb von Stromwandlern

34 **Kommunikation über die RS485-Schnittstelle**

42 **Ports, Protokolle und Verbindungen**

44 **Überspannungskategorien**

46 **Gültige Normen**

Oberschwingungen

Die stetig steigende Anzahl nichtlinearer Verbraucher in unseren Stromnetzen verursacht eine zunehmende „Netzverschmutzung“. Man spricht auch von Netzurückwirkungen, ähnlich wie man es aus der Umwelt bei der Wasser- und Luftverschmutzung kennt. Generatoren produzieren im Idealfall einen rein sinusförmigen Strom an den Abgangsklemmen. Diese sinusförmige Spannungsform wird als ideale Wechselspannungsform betrachtet, jegliche Abweichung davon wird als Netzstörung bezeichnet.

Mehr und mehr Verbraucher entnehmen dem Netz einen nicht sinusförmigen Strom. Die FFT-Fast-Fourier-Transformation dieser „verschmutzten“ Stromformen ergibt ein breites Spektrum an Oberschwingungsfrequenzen – üblicherweise auch als Oberschwingungen bezeichnet.

Oberschwingungen sind für elektrische Netze schädlich, bisweilen sogar gefährlich und angeschlossene Verbraucher leiden darunter, ähnlich wie verschmutztes Wasser ungesund für unseren menschlichen Körper ist. Es kommt zur Überlastung, reduzierter Lebensdauer und unter Umständen sogar zu Frühausfällen von elektrischen und elektronischen Verbrauchern.

Oberschwingungsbelastungen sind die Hauptursache für unsichtbare Spannungsqualitätsprobleme mit enormen Kosten für Instandsetzung und Investitionen für den Ersatz von defekten Geräten. Unzulässig hohe Netzurückwirkungen und daraus resultierende schlechte Spannungsqualität können somit zu Problemen in Fertigungsprozessen bis hin zu Fertigungsstillständen führen.

Oberschwingungen sind Ströme oder Spannungen, deren Frequenz oberhalb der 50/60-Hz-Grundschriftungsfrequenz liegt und die ein ganzzahliges Vielfaches dieser Grundschriftungsfrequenz sind. Die Stromoberschwingungen haben keinen Anteil an der Wirkleistung, sie belasten das Netz nur thermisch. Da Oberschwingungsströme zusätzlich zur „aktiven“ Sinusschwingung fließen, sorgen sie für elektrische Verluste innerhalb der elektrischen Installation, was bis zur thermischen Überlast führen kann. Zusätzliche Verluste im Verbraucher führen zudem zu Er- oder Überhitzung und somit zu Lebenszeitverkürzung.

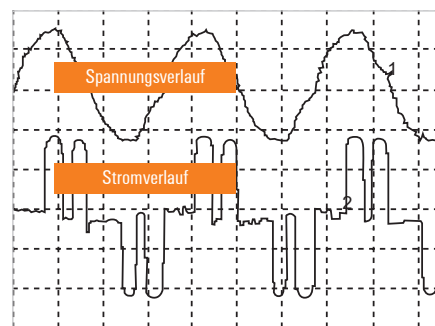


Abb.: Netzurückwirkungen durch Frequenzumrichter

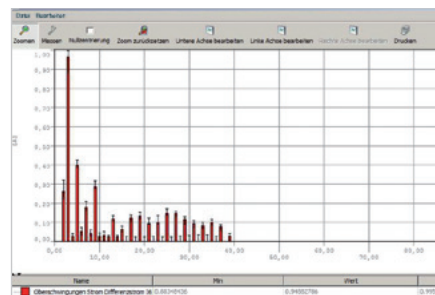


Abb.: Oberschwingungsanalyse (FFT)

Grenzwerte einzelner Oberschwingungsspannungen an der Übergabestelle bis zur 25. Ordnung in Prozent der Grundschriftung U1					
Ungerade Harmonische				Gerade Harmonische	
Keine Vielfache von 3		Vielfache von 3			
Ordnung h	Relative Spannungsamplitude U _h	Ordnung h	Relative Spannungsamplitude U _h	Ordnung h	Relative Spannungsamplitude U _h
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 bis 24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Die Beurteilung der Oberschwingungsbelastung erfolgt meist am Anschluss- oder Übergabepunkt zum öffentlichen Versorgungsnetz des jeweiligen Energieversorgers (EVU). Im englischen Sprachraum, aber auch immer mehr im deutschsprachigen Raum, spricht man dann vom Point of Common Coupling (PCC). Es kann aber unter gewissen Umständen auch wichtig sein, die Oberschwingungsbelastung durch einzelne Betriebsmittel oder Betriebsmittelgruppen zu bestimmen und zu analysieren, um interne Netzqualitätsprobleme und eventuell deren Verursacher aufzuzeigen.

Zur Beurteilung der Oberschwingungsbelastung werden folgende Parameter eingesetzt:

Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) bzw. gesamte Harmonische Verzerrung ist eine Angabe, um die Größe der Anteile, die durch nichtlineare Verzerrungen eines elektrischen Signals entstehen, zu quantifizieren. Er gibt also das Verhältnis des Effektivwertes aller Oberschwingungen zum Effektivwert der Grundschwingung an. Der THD-Wert wird sowohl in Nieder-, Mittel- als auch Hochspannungssystemen benutzt. Üblicherweise wird für die Verzerrung des Stroms THD_i und für die Verzerrung der Spannung THD_u verwendet.

Verzerrungsfaktor für die Spannung

- M = Ordnungszahl der Oberschwingung
- $M = 40$ (Energy Meter D650, Energy Analyser D550, Energy Meter 750)
- $M = 63$ (Energy Analyser D550)
- Grundschwingung fund entspricht $n = 1$

Verzerrungsfaktor für den Strom

- M = Ordnungszahl der Oberschwingung
- $M = 40$ (Energy Meter D650, Energy Analyser D550, Energy Meter 750)
- $M = 63$ (Energy Analyser 550)
- Grundschwingung fund entspricht $n = 1$



Abb.: Zerstörte Kondensatoren durch Oberschwingungen

$$THD_u = \frac{1}{|U_{fund}|} \sqrt{\sum_{n=2}^M |U_{n.Harm}|^2}$$

$$THD_i = \frac{1}{|I_{fund}|} \sqrt{\sum_{n=2}^M |I_{n.Harm}|^2}$$

Oberschwingungen

Total Demand Distortion (TDD)

Speziell in Nordamerika findet man fast immer auch den Ausdruck TDD in Zusammenhang mit der Oberschwingungsproblematik. Er ist eine Angabe, die sich auf den THDi bezieht, allerdings wird hier der Oberschwingungsgehalt auf den Grundschwungsanteil des Strom-Nennwertes bezogen. Der TDD gibt also das Verhältnis zwischen den Strom-Oberschwingungen (analog zum THDi) und dem in einem bestimmten Intervall auftretenden Stromeffektivwert unter Vollastbedingungen an. Übliche Intervalle sind 15 oder 30 Minuten.

TDD (I)

- TDD gibt das Verhältnis zwischen den Stromoberschwingungen (THDi) und den Stromeffektivwert bei Vollast an.
- I_L = Voll-Laststrom
- M = 40 (Energy Meter D650, Energy Meter 750, Energy Analyser D550)
- M = 63 (Energy Analyser 550)

$$TDD = \frac{1}{I_L} \sqrt{\sum_{n=2}^M I_n^2} \times 100\%$$

Strom- / Spannungsunsymmetrie

Von Symmetrie in einem dreiphasigen System spricht man, wenn die drei Außenleiterspannungen und -ströme gleich groß und gegeneinander um 120° phasenverschoben sind.

Unsymmetrie entsteht, wenn eine oder beide Bedingungen nicht erfüllt sind. In den meisten Fällen liegt die Ursache für Unsymmetrien in den Lasten begründet.

In Hoch- und Mittelspannungsnetzen sind die Lasten meist dreiphasig und symmetrisch, obwohl auch hier große ein- oder zweiphasige Lasten vorhanden sein können (z.B. Netzfrequenz-Induktionsöfen, Widerstandsöfen etc.). Im Niederspannungsnetz sind die elektrischen Lasten häufig auch einphasig (z.B. PCs, Unterhaltungselektronik, Beleuchtungssysteme etc.), und die zugehörigen Laststromkreise sollten innerhalb der elektrischen Verkabelung auf die drei Außenleiter möglichst gleichmäßig verteilt werden. Abhängig von der Symmetrierung der einphasigen Lasten wird das Netz mehr oder weniger symmetrisch oder unsymmetrisch betrieben.

Der Verträglichkeitspegel für den Unsymmetriegrad im stationären Betrieb der Spannung verursacht von allen Netzverbrauchern ist mit $\leq 2\%$ festgelegt. Bezogen auf einzelne Verbraucheranlagen ist der resultierende Unsymmetriegrad mit $= 0,7\%$ begrenzt, wobei über 10 Minuten zu mitteln ist.

Durch Unsymmetrie in der Spannung entstehen folgende Auswirkungen:

- Erhöhte Strombelastung und Verluste im Netz.
- Bei gleicher Verbraucherleistung können die Phasenströme den 2- bis 3-fachen Wert, die Verluste den 2- bis 6-fachen Wert erreichen. Leitungen und Transformatoren können dann nur zur Hälfte bzw. zu einem Drittel ihrer Nennleistung belastet werden.
- Erhöhte Verluste und Rüttelmomente in elektrischen Maschinen.
- Das vom Gegensystem der Ströme aufgebaute Feld läuft gegen die Drehrichtung des Läufers und induziert in diesem Ströme, die zu erhöhter thermischer Belastung führen.
- Gleich- und Wechselrichter reagieren auf eine unsymmetrische Versorgungsspannung mit uncharakteristischen Oberschwingungsströmen.
- In Dreiphasensystemen mit Sternschaltung fließt ein Strom durch den Neutralleiter.

Die detaillierten Formeln dazu finden Sie in der Formelsammlung.

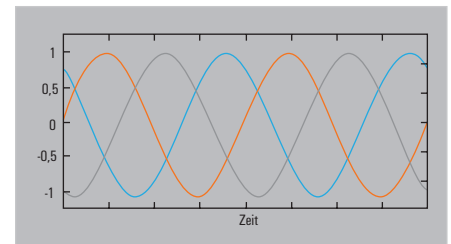


Abb.: Symmetrie

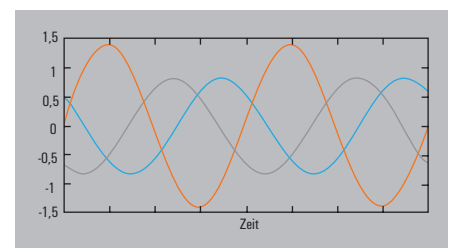


Abb.: Unsymmetrie

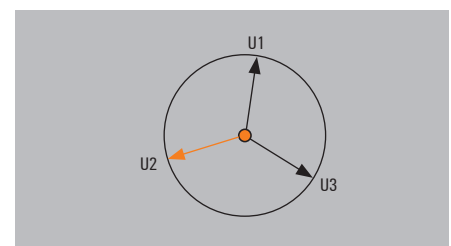


Abb.: Unsymmetriedarstellung im Zeigerdiagramm

Transienten

Mit Transienten wird ein sehr schneller, impulshafter, elektrischer Einschwingvorgang bezeichnet. Meistens sind das höherfrequente, steile Signale in Form instationärer Schwingungen.

Die zuverlässige Erkennung von transienten Vorgängen im elektrischen Energieversorgungsnetz ist sehr wichtig, um Schäden zu vermeiden. Durch ständige Veränderungen im elektrischen Versorgungsnetz durch Schalthandlungen und Fehlerfälle ergeben sich immer wieder neue Netzzustände, auf die sich das Gesamtsystem einschwingen muss. Dabei treten im Normalfall transiente Ausgleichsströme und Ausgleichsspannungen auf. Um einschätzen zu können, ob die transienten Vorgänge aus einer gewollten oder ungewollten Netzänderung resultieren und ob diese noch im Toleranzbereich liegen, braucht man zuverlässige Entscheidungskriterien.

Hohe transiente Überspannungen können, abhängig vom Energieeintrag (z.B. Blitzeinschlag), zu Isolationsschäden und Zerstörung von Anlagen und Maschinen führen.

Zur Erkennung und Aufzeichnung von Transienten sind hochwertige, digitale Spannungsqualitätsanalysatoren mit hoher Abtastfrequenz erforderlich.

Praxisbeispiel:

Durch das Zuschalten von unverdrosselten Kondensatoren treten oft, auch bei problemlosen Netzkonfigurationen, hohe transiente Einschwingströme auf. Eine Verdrosselung wirkt hier stark dämpfend und schützt damit vor vermeidbaren und schwer vorhersehbaren Problemen. Alternativ sollten spezielle Kondensator-schütze mit Vorladewiderständen verwendet werden.

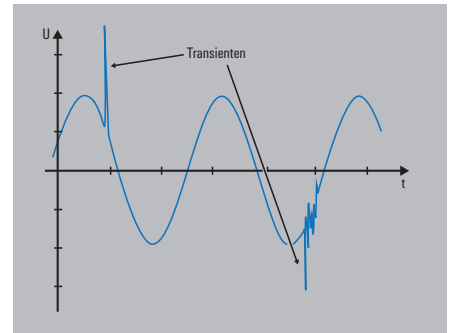


Abb.: Transienten

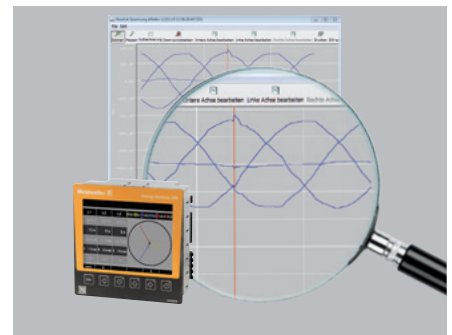


Abb.: Mit dem Energy Analyser 550 kann man die Transienten direkt am Messgerät anzeigen.

Spannungseinbrüche und -unterbrechungen

Spannungseinbrüche können zu großen Komplikationen führen, beispielsweise zum Ausfall von Produktionsprozessen und zu Qualitätsproblemen. Solche Einbrüche entstehen weitaus öfter als Unterbrechungen. Die wirtschaftlichen Auswirkungen von Spannungseinbrüchen werden immer wieder stark unterschätzt.

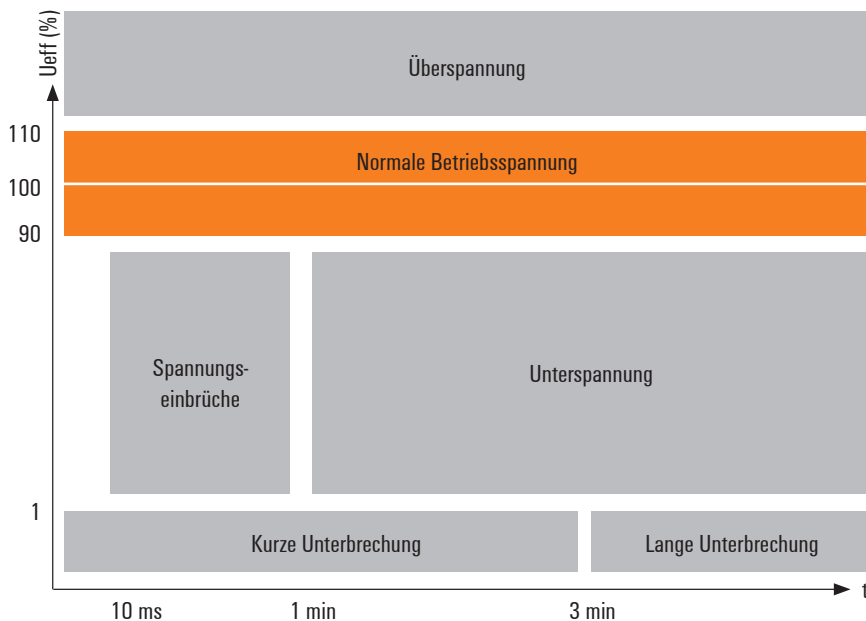
Was ist ein Spannungseinbruch?

Gemäß der Europäischen Norm EN 50160 wird unter einem Spannungseinbruch ein plötzliches Absinken des Spannungseffektivwertes auf einen Wert zwischen 90 % und 1 % des festgelegten Wertes verstanden, gefolgt von einer direkten Wiederherstellung dieser Spannung. Die Dauer des Spannungseinbruchs liegt zwischen einer halben Periode (10 ms) und einer Minute.

Wenn der Effektivwert der Spannung nicht unter 90 % des festgesetzten Wertes sinkt, wird dies als normaler Betriebszustand betrachtet. Sinkt die Spannung unter 1 % des festgesetzten Wertes, ist dies eine Unterbrechung.

Ein Spannungseinbruch ist somit nicht mit einer Unterbrechung zu verwechseln. Eine Unterbrechung entsteht zum Beispiel nach Ansprechen einer Sicherung (typ. 300 ms). Der Netzausfall verteilt sich in Form eines Spannungseinbruchs über das restliche Verteilernetz fort.

Die Abbildung verdeutlicht den Unterschied zwischen einem Einbruch, einer kurzen Unterbrechung und einer Unterspannung.



Spannungseinbrüche und -unterbrechungen

Verursacht werden Spannungsschwankungen durch:

- Kurzschlüsse
- Ein- und Ausschaltvorgänge großer Lasten
- Starten von Antrieben (größerer Last)
- Laständerungen bei Antrieben
- Gepulste Leistungen (Schwingungspaketsteuerungen, Thermostatsteuerungen)
- Lichtbogenöfen
- Schweißmaschinen
- Einschalten von Kondensatoren

Spannungseinbrüche können zum Ausfall von Computersystemen, SPS-Anlagen, Relais und Frequenzumrichtern führen. Bei kritischen Prozessen kann schon ein einzelner Spannungseinbruch hohe Kosten verursachen, insbesondere kontinuierliche Prozesse sind hiervon betroffen. Beispiele hierfür sind Spritzgieß-, Extrusions-, Druckprozesse oder die Verarbeitung von Lebensmitteln wie Milch, Bier oder Erfrischungsgetränken.

Die Kosten für einen Spannungseinbruch bestehen aus:

- Entgangenen Gewinnen durch Produktionsstillstand
- Kosten für das Nachholen von Produktionsausfällen
- Kosten für eine verspätete Auslieferung von Produkten
- Kosten für verloren gegangene Rohmaterialien
- Kosten für Schäden an Maschinen, Geräten und Matrizen
- Wartungs- und Personalkosten

Zuweilen laufen Prozesse in unbemannten Bereichen ab, in denen Spannungseinbrüche nicht sofort bemerkt werden. In diesem Fall kann beispielsweise eine Spritzgießmaschine unbemerkt zum Stillstand kommen. Wird dies später entdeckt, ist bereits großer Schaden entstanden. Die Kunden erhalten die Produkte zu spät und der Kunststoff in der Maschine ist ausgehärtet.

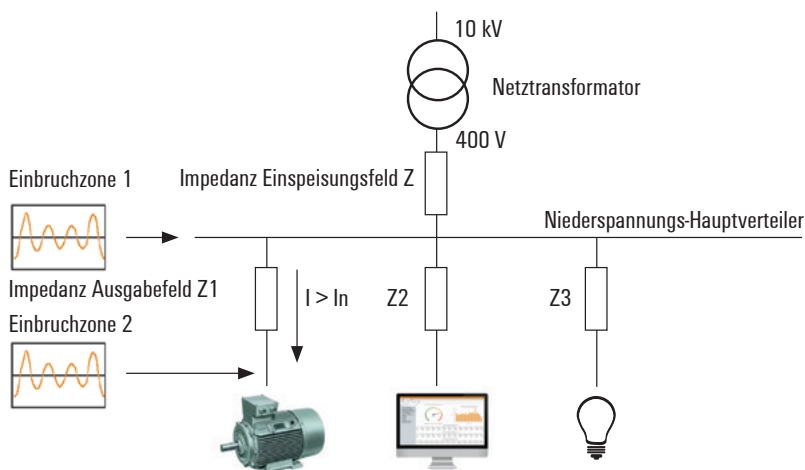


Abb.: Das Anlaufen von Motoren kann zu einem Spannungseinbruch führen

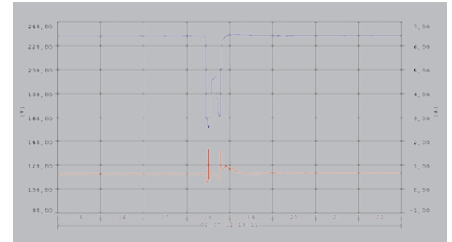


Abb.: Kritischer Spannungseinbruch mit Fertigungsstillstand

Phasenverschiebung und Blindleistung

Blindleistung wird zur Erzeugung elektromagnetischer Felder von Maschinen wie z.B. Drehstrommotoren, Transformatoren, Schweißanlagen etc. benötigt. Da sich diese Felder kontinuierlich auf- und wieder abbauen, pendelt die Blindleistung zwischen Erzeuger und Verbrauchsmittel. Sie kann im Gegensatz zur Wirkleistung nicht genutzt, d.h. in eine andere Energieform umgewandelt werden und belastet das Stromversorgungsnetz und die Erzeugeranlagen (Generatoren und Transformatoren). Ferner müssen alle Energieverteilungsanlagen für die Bereitstellung des Blindstroms größer ausgelegt werden.

Daher ist es zweckmäßig, nahe am Verbraucher die entstehende induktive Blindleistung durch eine entgegenwirkende kapazitive Blindleistung von möglichst gleicher Größe zu reduzieren. Diesen Vorgang nennt man kompensieren. Bei der Kompensation verringert sich der Anteil der induktiven Blindleistung im Netz um die Blindleistung des Leistungskondensators oder der Kompensationsanlage (BLK). Die Erzeugeranlagen und Energieübertragungseinrichtungen werden damit vom Blindstrom entlastet. Die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung wird reduziert oder im Idealfall bei Leistungsfaktor 1 auch ganz eliminiert.

Der Leistungsfaktor (Power Factor) ist ein Parameter, der von Netzstörungen wie Verzerrung oder Unsymmetrie beeinflusst werden kann. Er verschlechtert sich mit fortschreitender Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung und mit zunehmender Verzerrung der Stromkurve. Er ist definiert als Quotient aus dem Betrag der Wirkleistung und Scheinleistung und ist somit ein Maß für die Effizienz, mit der eine Last die elektrische Energie nutzt. Ein höherer Leistungsfaktor stellt also eine verbesserte Nutzung der elektrischen Energie und letztendlich auch einen höheren Wirkungsgrad dar.

Leistungsfaktor – Power Factor (arithmetisch)

- Der Leistungsfaktor ist vorzeichenlos

cos phi – Fundamental Power Factor

- Für die Berechnung des cos phi wird nur der Grundswingungsanteil verwendet
- Vorzeichen cos phi (φ):
 - = für Lieferung von Wirkleistung
 - + = für Bezug von Wirkleistung

Da sich bei Oberschwingungsbelastung kein einheitlicher Phasenverschiebungswinkel angeben lässt, dürfen Leistungsfaktor λ und der häufig verwendete Wirkfaktor $\cos(\varphi_1)$ nicht gleichgesetzt werden. Ausgehend von der Formel $\lambda = \frac{|P|}{S} = \frac{1}{I} \cos(\varphi_1) = g_1 \cos(\varphi_1)$ mit I_1 = Grundswingungseffektivwert des Stroms, I = Gesamteffektivwert des Stroms, g_1 = Grundswingungsgehalt des Stroms und $\cos(\varphi_1)$ = Verschiebungsfaktor erkennt man, dass nur bei sinusförmiger Spannung und Strom ($g_1 = 1$) der Leistungsfaktor λ gleich dem Verschiebungsfaktor $\cos(\varphi_1)$ ist. Somit ist ausschließlich bei sinusförmigen Strömen und Spannungen der Leistungsfaktor λ gleich dem Kosinus des Phasenverschiebungswinkels φ und wird definiert als $\cos(\varphi) = \frac{P}{S}$ = Wirkfaktor.

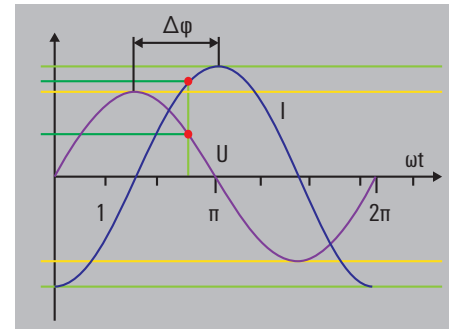


Abb.: Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung ($\Delta\varphi$)

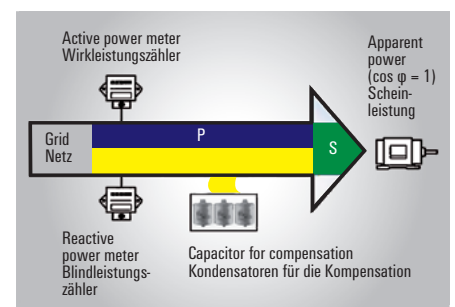


Abb.: Prinzip der Blindleistungskompensation

$$PF_A = \frac{|P|}{S_A}$$

Abb.: Leistungsfaktor – Power Factor (arithmetisch)

$$PF_1 = \cos(\varphi) = \frac{P_1}{S_1}$$

Abb.: cos phi – Fundamental Power Factor

Grundlagen zur Blindleistungskompensation

Wirkleistung

Schaltet man einen Wirkwiderstand, z.B. ein Heizgerät, in einen Wechselstromkreis, so sind Strom und Spannung phasengleich. Durch Multiplikation zusammengehöriger Augenblickswerte von Strom (I) und Spannung (U) ergeben sich die Augenblickswerte der Leistung (P) bei Wechselstrom. Der Verlauf der Wirkleistung ist mit doppelter Netzfrequenz immer positiv.

Die Wechselstromleistung hat den Scheitelwert $P = U \times I$. Sie kann durch Flächenverwandlung in eine gleichwertige Gleichstromleistung, die sogenannte Wirkleistung P, umgewandelt werden. Beim Wirkwiderstand ist die Wirkleistung halb so groß wie der Scheitelwert der Leistung.

Zur Bestimmung der Wechselstromleistung rechnet man immer mit den Effektivwerten.

Wirk- und Blindleistung

Eine rein ohmsche Last tritt in der Praxis selten auf. Häufig kommt zusätzlich eine induktive Komponente dazu. Dies gilt für alle Verbraucher, die zur Funktion ein magnetisches Feld benötigen (z.B. Motoren, Transformatoren etc.). Der verwendete Strom, der zum Aufbau und Umpolen des magnetischen Feldes benötigt wird, verbraucht sich nicht, sondern pendelt als Blindstrom zwischen Generator und Verbraucher.

Eine Phasenverschiebung tritt auf, d.h., die Nulldurchgänge von Spannung und Strom sind nicht mehr deckungsgleich. Bei induktiver Last läuft der Strom der Spannung nach, bei kapazitiver Last ist das Verhältnis genau umgekehrt. Berechnet man jetzt die Augenblickswerte der Leistung ($P = U \times I$), entstehen immer dann negative Werte, wenn einer der beiden Faktoren negativ wird.

Beispiel:

Phasenverschiebung $\varphi = 45^\circ$ (entspricht einem induktiven $\cos \varphi = 0,707$). Die Leistungskurve überlagert in den negativen Bereich.

$$P = U \cdot I$$

[W] [V] [A]

Abb.: Formel Wirkleistung

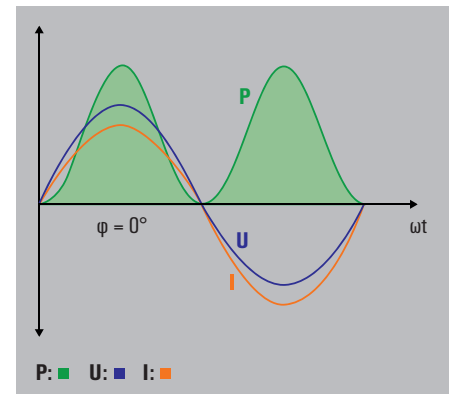


Abb.: Wechselstromleistung bei rein ohmscher Last

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

[W] [V] [A]

Abb.: Berechnung der Wirkleistung bei ohmscher und induktiver Last

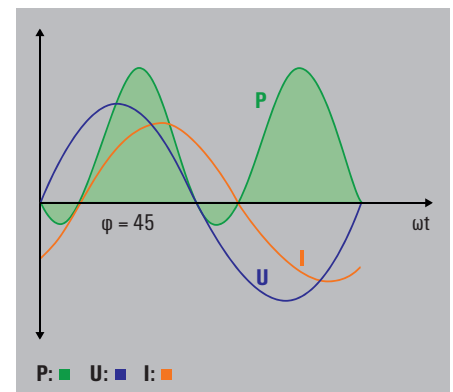


Abb.: Spannung, Strom und Leistung bei gemischt ohmscher, induktiver Last

Blindleistung

Induktive Blindleistung tritt u.a. bei Motoren und Transformatoren auf – ohne Berücksichtigung von Leitungs-, Eisen- und Reibungsverlusten.

Beträgt die Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung 90° , z.B. bei einer „idealen“ Induktivität oder bei einer Kapazität, so werden die positiven wie auch die negativen Flächenteile gleich groß sein. Die Wirkleistung entspricht dann dem Faktor 0 und es tritt nur Blindleistung auf. Die ganze Energie pendelt dabei zwischen Verbraucher und Erzeuger hin und her.

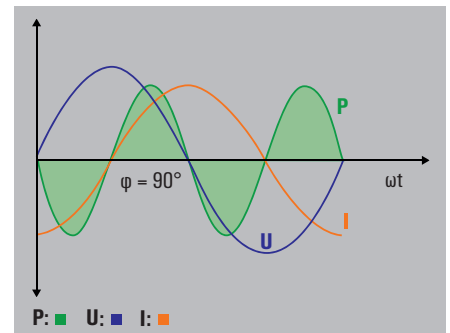


Abb.: Spannung, Strom und Leistung bei reiner Blindlast

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$$

[var] [V] [A]

Abb.: Ermittlung der induktiven Blindleistung

Scheinleistung

Die Scheinleistung kennzeichnet die einem elektrischen Verbraucher zugeführte oder zuzuführende elektrische Leistung. Die Scheinleistung S ergibt sich aus den Effektivwerten von Strom I und Spannung U.

Bei verschwindender Blindleistung, z. B. bei Gleichspannung, ist die Scheinleistung gleich dem Betrag der Wirkleistung. Ansonsten fällt diese größer aus. Elektrische Betriebsmittel (Transformatoren, Schaltanlagen, Sicherungen, elektrische Leitungen usw.), die Leistung übertragen, müssen entsprechend der zu übertragenden Scheinleistung ausgelegt sein.

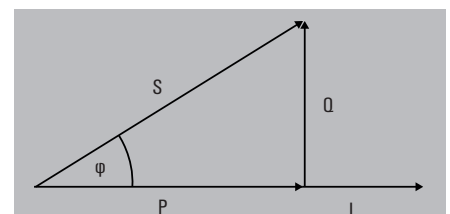


Abb.: Leistungsdiagramm

$$S = U \cdot I$$

[VA] [V] [A]

Abb.: Scheinleistung ohne Phasenverschiebung

Scheinleistung bei sinusförmigen Größen

Bei sinusförmigen Größen entsteht die Verschiebungsblindleistung Q, wenn die Phasen von Strom und Spannung um einen Winkel φ verschoben sind.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

[VA] [W] [var]

Abb.: Die Scheinleistung ergibt sich aus der geometrischen Addition von Wirk- und Blindleistung.

Grundlagen zur Blindleistungskompensation

Leistungsfaktor ($\cos \varphi$ und $\tan \varphi$)

Das Verhältnis von Wirkleistung P zu Scheinleistung S nennt man Wirkleistungsfaktor oder Wirkfaktor. Der Leistungsfaktor kann zwischen 0 und 1 liegen.

Bei sinusförmigen Strömen stimmt der Wirkleistungsfaktor mit dem Kosinus ($\cos \varphi$) überein. Er definiert sich aus dem Verhältnis P/S . Der Wirkleistungsfaktor ist ein Maß dafür, welcher Teil der Scheinleistung in Wirkleistung umgesetzt wird. Bei gleichbleibender Wirkleistung und gleichbleibender Spannung sind die Scheinleistung und der Strom umso kleiner, je größer der Wirkleistungsfaktor $\cos \varphi$ ist.

Der Tangens ($\tan$) des Phasenverschiebungswinkels (φ) ermöglicht ein einfaches Umrechnen von Blind- und Wirkeinheit.

Der Kosinus und der Tangens stehen in folgender Beziehung zueinander:

In Stromversorgungseinrichtungen wird zur Vermeidung von Übertragungsverlusten ein möglichst hoher Leistungsfaktor angestrebt. Im Idealfall beträgt er genau 1, praktisch aber nur etwa 0,95 (induktiv). Energieversorgungsunternehmen schreiben für ihre Kunden häufig einen Leistungsfaktor von mindestens 0,9 vor. Wird dieser Wert unterschritten, so wird die bezogene Blindarbeit gesondert in Rechnung gestellt. Für Privathaushalte spielt das jedoch keine Rolle. Zur Erhöhung des Leistungsfaktors dienen Anlagen zur Blindleistungskompensation. Schaltet man den Verbrauchern Kondensatoren in geeigneter Größe parallel, pendelt der Blindstrom zwischen Kondensator und induktivem Verbraucher. Das übergeordnete Netz wird nicht mehr zusätzlich belastet. Sollte durch den Einsatz einer Kompensation ein Leistungsfaktor von 1 erreicht werden, wird nur noch Wirkstrom übertragen.

Die Blindleistung Q_c , die vom Kondensator aufgenommen bzw. auf diesem Kondensator dimensioniert wird, ergibt sich aus der Differenz der induktiven Blindleistung Q_1 vor der Kompensation und Q_2 nach der Kompensation.

Daraus folgt: $Q_c = Q_1 - Q_2$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad [\text{W}] / [\text{VA}]$$

Abb.: Ermittlung des Leistungsfaktors über Wirk- und Scheinleistung

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad [\text{var}] / [\text{W}]$$

Abb.: Berechnung der Phasenverschiebung über Blind- und Wirkleistung

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 \varphi}}$$

Abb.: Beziehung zu $\cos \varphi$ und $\tan \varphi$

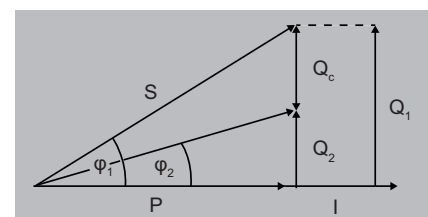


Abb.: Leistungsdiagramm unter Verwendung einer Blindleistungskompensation

$$Q_c = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad [\text{var}] [\text{W}]$$

Abb.: Berechnung der Blindleistung zur Verbesserung des Leistungsfaktors

Berechnungsformeln zum Kondensator

Kondensatorleistung einphasig

Beispiel: 66,5 µF bei 400 V / 50 Hz
 $0,0000665 \cdot 400^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 3.340 \text{ var} = 3,34 \text{ kvar}$

$$Q_C = C \cdot U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_n$$

Kondensatorleistung bei Dreieckschaltung

Beispiel: 3 x 57 µF bei 480 V / 50 Hz
 $3 \cdot 0,000057 \cdot 480^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 12.371 \text{ var} = 12,37 \text{ kvar}$

$$Q_C = 3 \cdot C \cdot U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_n$$

Kondensatorleistung bei Sternschaltung

Beispiel: 3 x 33,2 µF bei 400 V / 50 Hz
 $3 \cdot 0,0000332 \cdot (400 / 1,73)^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 1670 \text{ var} = 1,67 \text{ kvar}$

$$Q_C = 3 \cdot C \cdot (U / \sqrt{3})^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_n$$

Kondensatorstrom im Außenleiter

Beispiel: 25 kvar bei 400 V
 $25.000 / (400 \cdot 1,73) = 36 \text{ A}$

$$I = \frac{Q}{U \cdot \sqrt{3}}$$

$$Q_C = I \cdot U \cdot \sqrt{3}$$

Reihenresonanzfrequenz (f_r) und Verdrosselungsfaktor (p) von verdrosselten Kondensatoren

Beispiel: p = 0,07 (7 % Verdrosselung) im 50-Hz-Netz

$$f_r = 50 \cdot \sqrt{\frac{1}{0,07}} = 189 \text{ Hz}$$

$$f_r = f_n \cdot \sqrt{\frac{1}{p}} \quad p = \left(\frac{f_n}{f_r} \right)^2$$

Berechnungsformeln zum Kondensator

Benötigte Kondensatornennleistung dreiphasig in verdrosselter Ausführung

Beispiel: 3 x 308 µF bei 400 V / 50 Hz mit $p = 7\%$ verdrosselt

$$0,000308 \cdot 3 \cdot 400^2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50 / (1 - 0,07) = 50 \text{ kvar}$$

$$Q_c = \left(1 - \frac{p}{100}\right) \cdot \frac{U_c^2}{400^2} \cdot 50 = 56,3 \text{ kvar}$$

Welcher Kondensator soll dafür verwendet werden?

Das heißt, für eine 50-kvar-Stufe wird ein 440-V-56-kvar-Kondensator benötigt.

$$Q_c = \frac{C \cdot 3 \cdot U^2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_n}{1 - p}$$

$$Q_c = \left(1 - \frac{p}{100}\right) \cdot \frac{U_c^2}{U_N^2} \cdot N_c$$

Leistungsfaktor und Umrechnung cos und tan

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

$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \tan^2 \varphi}}$$

Umrechnung der Kondensatorleistung abhängig von der Netzspannung

Ermittlung der Blindleistung $Q_{\text{neu}} \cdot C$ ist hierbei konstant.

Beispiel:

Netz: 400 V, 50 Hz, 3-phasig

Kondensatornennendaten: 480 V, 70 kvar, 60 Hz, 3-phasig, Dreieck, unverdrosselt

Frage: resultierende Kondensatornennleistung?

$$Q_{\text{neu}} = \left(\frac{400}{480}\right)^2 \cdot \frac{50}{60} \cdot 70 = 40,5 \text{ kvar}$$

Die resultierende Kompensationsleistung dieses 480-V-Kondensators, angeschlossen an ein 400-V-50-Hz-Netz, beträgt lediglich 40,5 kvar.

$$Q_{\text{neu}} = \left(\frac{U_{\text{neu}}}{U_c}\right)^2 \cdot \frac{f_{\text{neu}}}{f_R} \cdot Q_c$$

Definition

Q_c	Nennleistung vom Kondensator
p	Verdrosselungsgrad
U_c	Kondensatorspannung
U_N	Netzspannung
N_c	Effektive Filterleistung
Q_{neu}	Neue Blindleistung
U_{neu}	Neue Spannung
f_{neu}	Neue Frequenz
f_R	Nennfrequenz des Kondensators

RCM (Residual Current Monitoring) – Fehlerstrom- oder Differenzstrommessung

Allgemein

Durch Isolationsfehler hervorgerufene Fehlerströme können in elektrotechnischen Anlagen ein erhebliches Sicherheitsrisiko darstellen. Über ein entsprechendes Schutzkonzept können Fehlerströme erkannt, Isolationsfehler rechtzeitig beseitigt und somit die Verfügbarkeit der Anlage sichergestellt werden.

RCM steht für **Residual Current Monitoring** und bedeutet die Überwachung des Differenzstroms in elektrischen Anlagen. Dieser Strom errechnet sich aus der Summe der Ströme aller Leiter außer dem Schutzleiter (PE), die in die Anlage führen. Differenzströme sind typischerweise die Folge von Isolationsfehlern, Leckströmen oder z.B. EMV-Filter-Ableitströmen.

Während RCD-Geräte (Fehlerstromschutzschalter) beim Überschreiten eines bestimmten Differenzstroms die Spannungsversorgung abschalten, zeigen RCM-Messgeräte den aktuellen Wert an, zeichnen den Langzeitverlauf auf und melden die Überschreitung eines kritischen Wertes. Diese Meldung kann auch zum Abschalten der Spannungsversorgung über externe Schalteinrichtungen (Schütze, Relais) benutzt werden. Durch den Einsatz von Differenzstrom-Messgeräten (Residual Current Monitoring, RCM) werden Fehlerströme frühzeitig erkannt und gemeldet. Gegenmaßnahmen können rechtzeitig eingeleitet werden, sodass keine Abschaltung der Anlage erfolgen muss. Damit können bei sich langsam verschlechternden Isolationswerten bzw. schleichend steigenden Fehlerströmen, etwa durch alternde Isolierungen, Maßnahmen ergriffen werden, noch bevor die Anlage abgeschaltet wird, z.B.:

- Isolationsfehler an Leitungen und elektrischen Betriebsmitteln
- Ableitströme der elektrischen Verbraucher
- Defekte PP-Leistungskondensatoren für die BLK
- Defekte Bauelemente in Schaltnetzteilen, z.B. in Computern
- Korrektheit von TN-S-Systemen (Terra Neutral Separate)
- Aufdecken von unzulässigen PEN-Verbindungen
- Vermeidung von Neutralliterrückströmen auf geerdeten Betriebsmitteln

Die Differenzstrommessung im Zusammenhang mit der Energiemessung in kombinierten Energie-/RCM-Messgeräten in elektrischen Anlagen ist eine vorbeugende Maßnahme des Brandschutzes und der Instandhaltung. Ausfallzeiten und damit verbundene Kosten werden reduziert. Die rechtzeitige und vorbeugende Instandhaltung verbessert aufgrund der zusätzlich gewonnenen Information durch ein RCM-Messgerät zudem die Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit einer Anlage erheblich.

Insbesondere die permanente RCM-Überwachung, um auch im laufenden Betrieb keine unerwünschten Überraschungen zu erleben und stets über den aktuellen Zustand der Anlage informiert zu sein, ist von wesentlicher Bedeutung.

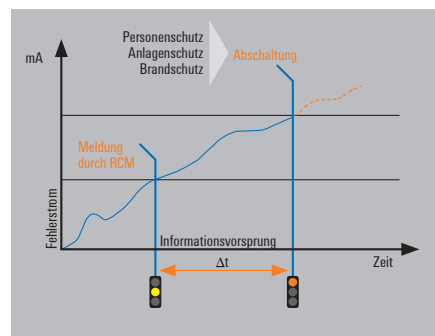


Abb.: Meldung vor Abschaltung – ein Ziel der Differenzstromüberwachung

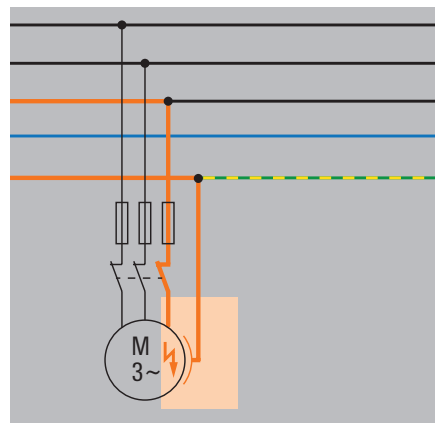


Abb.: Fehlerstrom gegen Erde durch hochohmigen Masseschluss

RCM (Residual Current Monitoring) – Fehlerstrom- oder Differenzstrommessung

Grundsätzliches Messverfahren von RCM

Die Funktionsweise von RCM-Messgeräten basiert auf dem Differenzstromprinzip. Dabei werden alle Leiter an der Messstelle (zu schützender Abgang) mit Ausnahme des Schutzleiters durch einen Differenzstromwandler geführt. Im fehlerfreien Fall ist die Summe aller Ströme gleich null. Fließt hingegen ein Differenzstrom über Erde ab, verursacht die Stromdifferenz im Differenzstromwandler einen Strom, der von der Elektronik des RCM-Messgerätes ausgewertet wird.

Das Messverfahren wird in der IEC/TR 60755 beschrieben. Dabei wird zwischen Typ A und Typ B unterschieden.

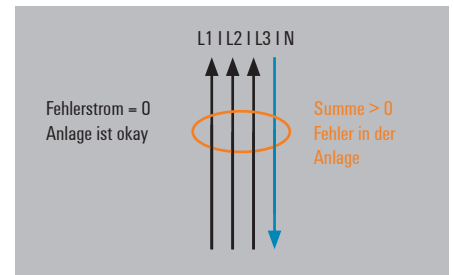
Die Norm DIN EN 62020 / VDE 0663 / IEC 62020:

Die Norm gilt für Differenzstrom-Überwachungsgeräte für Hausinstallationen und ähnliche Anwendungen mit einer Bemessungsspannung < 440 V AC und einem Bemessungsstrom < 125 A.

Optimales Monitoring durch 6 Strommesskanäle

Moderne, hochintegrierte Messgeräte erlauben die kombinierte Messung von

- elektrischen Parametern (V, A, Hz, kW ...)
- Spannungsqualitäts Parametern (Oberschwingungen, THD, KUs ...)
- Energieverbräuchen (kWh, kvarh ...)
- RCM-Differenzstrom in nur einem Messgerät. Folgendes Beispiel zeigt ein Messgerät mit 6 Strom-eingängen für diesen Zweck:



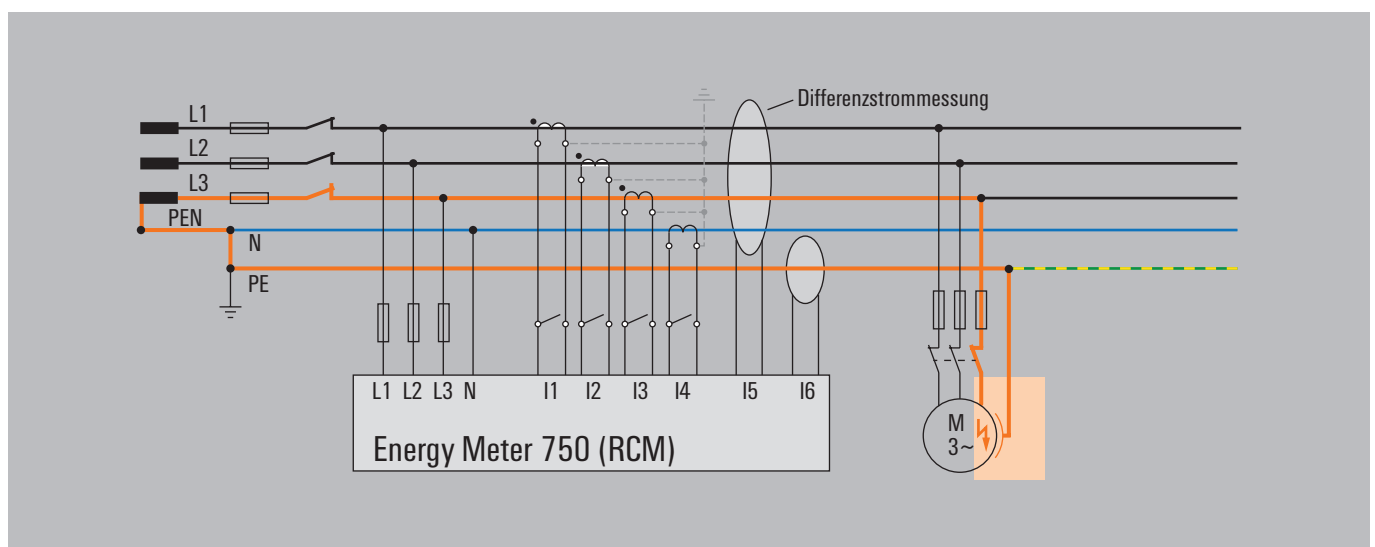
Der Energy Meter 750 kann Differenzströme nach IEC/TR 60755 (2008-01)



vom Typ A und



vom Typ B messen.



Formelsammlung

Effektivwert des Stroms für Außenleiter p

$$I_p = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} i_{pk}^2}$$

Effektivwert des Neutralleiterstroms

$$I_N = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} (i_{1k} + i_{2k} + i_{3k})^2}$$

Effektivspannung L-N

$$U_{PN} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} u_{pNk}^2}$$

Effektivspannung L-L

$$U_{pg} = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} (u_{gNk} - u_{pNk})^2}$$

Sternpunktspannung (vektoriell)

$$U_{\text{Sternpunktspannung}} = U_{1rms} + U_{2rms} + U_{3rms}$$

Wirkleistung für Außenleiter

$$P_p = \frac{1}{N} \cdot \sum_{k=0}^{N-1} (u_{pNk} \times i_{pk})$$

Scheinleistung für Außenleiter p

- Die Scheinleistung ist vorzeichenlos.

$$S_p = U_{pN} \cdot I_p$$

Gesamtscheinleistung (arithmetisch)

- Die Scheinleistung ist vorzeichenlos.

$$S_A = S_1 + S_2 + S_3$$

Formelsammlung

Ordnungsnummern der Oberschwingungen

xxx[0] = Grundschiwingung (50 Hz/60 Hz)
 xxx[1] = 2-te Oberschwingung (100 Hz/120 Hz)
 xxx[2] = 3-te Oberschwingung (150 Hz/180 Hz)
 usw.

THD

- THD (Total Harmonic Distortion) ist der Verzerrungsfaktor und gibt das Verhältnis der harmonischen Anteile einer Schwingung zur Grundschiwingung an.

Verzerrungsfaktor für die Spannung

- M = Ordnungszahl der Oberschwingung
- M = 40 (Energy Meter D650, Energy Meter 750, Energy Analyser D550)
- M = 63 (Energy Analyser 550)
- Grundschiwingung fund entspricht n = 1

$$THD_U = \frac{1}{|U_{fund}|} \sqrt{\sum_{n=2}^M |U_{n.Harm}|^2}$$

Verzerrungsfaktor für den Strom

- M = Ordnungszahl der Oberschwingung
- M = 40 (Energy Meter D650, Energy Meter 750, Energy Analyser D550)
- M = 63 (Energy Analyser 550)
- Grundschiwingung entspricht n = 1

$$THD_I = \frac{1}{|I_{fund}|} \sqrt{\sum_{n=2}^M |I_{n.Harm}|^2}$$

ZHD

- ZHD ist der THD für die Zwischenharmonischen

Zwischenharmonische

- Sinusförmige Schwingungen, deren Frequenzen kein ganzzahliges Vielfaches der Netzfrequenz (Grundschiwingung) sind
- Berechnungs- und Messverfahren entsprechen der DIN EN 61000-4-30
- Die Ordnungsnummer einer Zwischenharmonischen entspricht der Ordnungsnummer der nächstkleineren Oberschwingung. Es liegt also zum Beispiel zwischen der 3-ten und 4-ten Oberschwingung die 3-te Zwischenharmonische.

TDD (I)

- TDD (Total Demand Distortion) gibt das Verhältnis zwischen den Strom-überschwingungen (THDi) und dem Stromeffektivwert bei Vollast an.
- IL = Vollaststrom
- M = 40 (Energy Meter D650, Energy Meter 750, Energy Analyser D550)
- M = 63 (Energy Analyser 550)

$$TDD = \frac{1}{I_L} \sqrt{\sum_{n=2}^M I_n^2} \times 100\%$$

Rundsteuersignal U (EN 61000-4-30)

Das Rundsteuersignal U ist eine Spannung (200 ms Messwert), die zu einer vom Nutzer festgelegten Trägerfrequenz gemessen wurde. Es werden nur Frequenzen unterhalb 3 kHz betrachtet.

Rundsteuersignal I

Das Rundsteuersignal I ist ein Strom (200 ms Messwert), der zu einer vom Nutzer festgelegten Trägerfrequenz gemessen wurde. Es werden nur Frequenzen unterhalb 3 kHz betrachtet.

Mitsystem-Gegensystem-Nullsystem

- Das Ausmaß einer Spannungs- oder Stromunsymmetrie in einem dreiphasigen System wird mittels der Komponenten Mitsystem, Gegensystem und Nullsystem gekennzeichnet.
- Die im Normalbetrieb angestrebte Symmetrie des Drehstromsystems wird durch unsymmetrische Lasten, Fehler und Betriebsmittel gestört.
- Ein dreiphasiges System wird symmetrisch genannt, wenn die drei Außenleiterspannungen und -ströme gleich groß und gegeneinander um 120° phasenverschoben sind. Wenn eine oder beide Bedingungen nicht erfüllt sind, wird das System als unsymmetrisch bezeichnet. Durch die Berechnung der symmetrischen Komponenten bestehend aus Mitsystem, Gegensystem und Nullsystem ist eine vereinfachte Analyse eines unbalancierten Fehlers in einem Drehstromsystem möglich.
- Unsymmetrie ist ein Merkmal der Spannungsqualität, für das in internationalen Normen (z.B. EN 50160) Grenzwerte festgelegt wurden.

Mitsystem

$$U_{\text{Mit}} = \frac{1}{3} \left| U_{L1,\text{fund}} + U_{L2,\text{fund}} \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} + U_{L3,\text{fund}} \cdot e^{j\frac{4\pi}{3}} \right|$$

Gegensystem

$$U_{\text{Geg}} = \frac{1}{3} \left| U_{L1,\text{fund}} + U_{L2,\text{fund}} \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} + U_{L3,\text{fund}} \cdot e^{j\frac{4\pi}{3}} \right|$$

Formelsammlung

Nullsystem

Eine Nullkomponente kann nur dann auftreten, wenn über den Mittelpunktsleiter ein Summenstrom zurückfließen kann.

$$U_{\text{Nullsystem}} = \frac{1}{3} \left| U_{L1, \text{fund}} + U_{L2, \text{fund}} + U_{L3, \text{fund}} \right|$$

Spannungsunsymmetrie

$$\text{Unsymmetrie} = \frac{U_{\text{Geg}}}{U_{\text{Mit}}}$$

Unterabweichung U (EN 61000-4-30)

$$U_{\text{unter}} = \frac{U_{\text{din}} - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n U_{\text{rms-unter}, i}^2}{n}}}{U_{\text{din}}} [\%]$$

Unterabweichung I

$$I_{\text{unter}} = \frac{I_{\text{Nennstrom}} - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n I_{\text{rms-unter}, i}^2}{n}}}{I_{\text{Nennstrom}}} [\%]$$

K-Faktor

- Der K-Faktor beschreibt den Anstieg der Wirbelstromverluste bei Belastung mit Oberschwingungen. Bei einer sinusförmigen Belastung des Transformators ist der K-Faktor = 1. Je größer der K-Faktor ist, desto stärker kann ein Transformator mit Oberschwingungen belastet werden, ohne zu überhitzen.

Leistungsfaktor – Power Factor (arithmetisch)

- Der Leistungsfaktor ist vorzeichenlos.

$$PF_A = \frac{|P|}{S_A}$$

cos phi – Fundamental Power Factor

- Für die Berechnung des cos phi wird nur der Grundschwungsanteil verwendet
- Vorzeichen cos phi:
 - = für Lieferung von Wirkleistung
 - + = für Bezug von Wirkleistung

$$PF_1 = \cos(\varphi) = \frac{P_1}{S_1}$$

cos phi Summe

- Vorzeichen cos phi:
 – = für Lieferung von Wirkleistung
 + = für Bezug von Wirkleistung

$$\cos(\varphi)_{\text{Sum}3} = \frac{P_{1\text{fund}} + P_{2\text{fund}} + P_{3\text{fund}}}{\sqrt{(P_{1\text{fund}} + P_{2\text{fund}} + P_{3\text{fund}})^2 + (Q_{1\text{fund}} + Q_{2\text{fund}} + Q_{3\text{fund}})^2}}$$

$$\cos(\varphi)_{\text{Sum}4} = \frac{P_{1\text{fund}} + P_{2\text{fund}} + P_{3\text{fund}} + P_{4\text{fund}}}{\sqrt{(P_{1\text{fund}} + P_{2\text{fund}} + P_{3\text{fund}} + P_{4\text{fund}})^2 + (Q_{1\text{fund}} + Q_{2\text{fund}} + Q_{3\text{fund}} + Q_{4\text{fund}})^2}}$$

Phasenwinkel Phi

- Der Phasenwinkel zwischen Strom und Spannung von Außenleiter p wird gemäß DIN EN 61557-12 berechnet und dargestellt.
- Das Vorzeichen des Phasenwinkels entspricht dem Vorzeichen der Blindleistung.

Grundschrwingungs-Blindleistung

Die Grundschrwingungs-Blindleistung ist die Blindleistung der Grundschrwingung und wird über die Fourieranalyse (FFT) berechnet. Spannung und Strom müssen nicht sinusförmig sein. Alle im Gerät berechneten Blindleistungen sind Grundschrwingungs-Blindleistungen.

Vorzeichen der Blindleistung

- Vorzeichen Q = +1 für phi im Bereich 0 ... 180 ° (induktiv)
- Vorzeichen Q = -1 für phi im Bereich 180 ... 360 ° (kapazitiv)

$$\text{Vorzeichen } Q(\varphi_p) = +1 \text{ falls } \varphi_p \in [0^\circ - 180^\circ]$$

$$\text{Vorzeichen } Q(\varphi_p) = -1 \text{ falls } \varphi_p \in [180^\circ - 360^\circ]$$

Blindleistung für Außenleiter p

- Blindleistung der Grundschrwingung

$$Q_{\text{fund } p} = \text{Vorzeichen } Q(\varphi_p) \cdot \sqrt{S_{\text{fund } p}^2 - P_{\text{fund } p}^2}$$

Formelsammlung

Gesamtblindleistung

- Blindleistungen der Grundschiwingung

$$Q_V = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Verzerrungsblindleistung

- Die Verzerrungsblindleistung ist die Blindleistung aller Oberschwingungen und wird über die Fourieranalyse (FFT) berechnet.
- Die Scheinleistung S enthält die Grundschiwingung und alle Oberschwingungsanteile bis zur M-ten Oberschwingung.
- Die Wirkleistung P enthält die Grundschiwingung und alle Oberschwingungsanteile bis zur M-ten Oberschwingung.
- M = 40 (Energy Meter D650, Energy Meter 750, Energy Analyser D550)
- M = 63 (Energy Analyser 550)

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_{\text{fund}}^2}$$

Blindarbeit pro Phase

$$E_{r_{L1}} = \int Q_{L1}(t) \cdot \Delta t$$

Blindarbeit pro Phase, induktiv

$$E_{r(\text{ind})_{L1}} = \int Q_{L1}(t) \cdot \Delta t \quad \text{für } Q_{L1}(t) > 0$$

Blindarbeit pro Phase, kapazitiv

$$E_{r(\text{cap})_{L1}} = \int Q_{L1}(t) \cdot \Delta t \quad \text{für } Q_{L1}(t) < 0$$

Blindarbeit, Summe L1–L3

$$E_{r_{L1, L2, L3}} = \int (Q_{L1}(t) + Q_{L2}(t) + Q_{L3}(t)) \cdot \Delta t$$

Blindarbeit, Summe L1–L3, induktiv

$$E_{r(\text{ind})_{L1, L2, L3}} = \int (Q_{L1}(t) + Q_{L2}(t) + Q_{L3}(t)) \cdot \Delta t$$

für $Q_{L1}(t) + Q_{L2}(t) + Q_{L3}(t) > 0$

Blindarbeit, Summe L1–L3, kapazitiv

$$E_{r(\text{cap})_{L1, L2, L3}} = \int (Q_{L1}(t) + Q_{L2}(t) + Q_{L3}(t)) \cdot \Delta t$$

für $Q_{L1}(t) + Q_{L2}(t) + Q_{L3}(t) < 0$

Allgemeine Informationen zu Stromwandlern

Allgemein

Stromwandler werden überwiegend dort eingesetzt, wo Ströme nicht direkt gemessen werden können. Sie sind Sonderformen von Transformatoren, die den Primärstrom in einen (meistens) kleineren, genormten Sekundärstrom bestimmter Genauigkeit (Klasse) übersetzen sowie Primär- und Sekundärkreis galvanisch voneinander trennen. Die physikalisch bedingte Sättigungerscheinung des Kernmaterials gewährleistet zusätzlich einen Schutz des Sekundärkreises vor zu hohen Strömen.

Grundsätzlich kann man zwischen Einleiter-Stromwandlern und Wickel-Stromwandlern unterscheiden. Der häufigste Vertreter der Einleiter-Stromwandler ist der Aufsteck-Stromwandler, der auf den stromführenden Leiter gesteckt wird und damit einen Transformator mit einer Primärwindung (und Sekundärwindungen entsprechend der Übersetzung) bildet.



Abb.: Aufsteck-Stromwandler

Auswahl von Stromwandlern

Übersetzungsverhältnis

Die Bemessungsübersetzung ist das Verhältnis des Primär-Bemessungsstroms zum Sekundär-Bemessungsstrom und wird als ungekürzter Bruch auf dem Leistungsschild angegeben.

Am häufigsten werden $x / 5 \text{ A}$ Wandler verwendet, die meisten Messgeräte haben bei 5 A die höhere Genauigkeitsklasse. Aus technischen, vor allem aber aus wirtschaftlichen Gründen werden bei langen Messleitungslängen $x / 1 \text{ A}$ Wandler empfohlen. Die Leitungsverluste betragen bei 1-A -Wandlern nur 4% gegenüber 5-A -Wandlern. Allerdings haben hier die Messgeräte häufig die niedrigere Messgenauigkeit.

Nennstrom

Der Bemessungs- oder Nennstrom (frühere Bezeichnung) ist der auf dem Leistungsschild angegebene Wert des primären und sekundären Stromes (primärer Bemessungsstrom, sekundärer Bemessungsstrom), für den der Stromwandler bemessen ist. Genormte Bemessungsströme sind (außer in den Klassen 0,2 S und 0,5 S) 10 – 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A, sowie deren dezimales Vielfaches und Teile davon. Genormte Sekundärströme sind 1 und 5 A, vorzugsweise 5 A.

Genormte Bemessungsströme für die Klassen 0,2 S und 0,5 S sind 25 – 50 – 100 A und deren dezimal Vielfaches sowie sekundär (nur) 5 A.

Die richtige Auswahl des primären Nennstroms ist wichtig für die Messgenauigkeit. Empfohlen ist ein direkt über dem gemessenen / definierten Strom (I_n) liegendes Verhältnis.

Beispiel: $I_n = 1.154 \text{ A}$; gewähltes Wandlerverhältnis = 1.250/5.

Der Nennstrom kann auch auf Basis der folgenden Überlegungen definiert werden:

- Abhängig vom Trafo-Nennstrom mal ca. 1,1 (nächste Wandlergröße)
- Absicherung (Sicherungs-nennstrom = Wandlernennstrom) des gemessenen Anlagenteils (NSHV, UV)
- Tatsächlicher Nennstrom mal 1,2 (falls der tatsächliche Strom deutlich unter Trafo- oder Absicherungs-nennstrom liegt, sollte dieser Ansatz gewählt werden)

Die Überdimensionierung des Stromwandlers ist zu vermeiden, da ansonsten die Messgenauigkeit bei relativ kleinen Strömen (bezogen auf den primären Bemessungsstrom) zum Teil erheblich sinkt.

Bemessungsleistung

Die Bemessungsleistung des Stromwandlers ist das Produkt aus Bemessungsbürde und dem Quadrat des sekundären Bemessungsstroms und wird in VA angegeben. Genormte Werte sind 2,5 – 5 – 10 – 15 – 30 VA. Es dürfen auch Werte über 30 VA entsprechend dem Anwendungsfall gewählt werden. Die Bemessungsleistung beschreibt das Leistungsvermögen eines Stromwandlers, den Sekundärstrom innerhalb der Fehlergrenzen durch eine Bürde „treiben“ zu können.

Bei der Auswahl der passenden Leistung müssen folgende Parameter berücksichtigt werden: Messgeräte-Leistungsaufnahme (bei Reihenschaltung ...), Leitungslänge, Leitungsquerschnitt. Je länger die Leitungslänge und je kleiner der Leitungsquerschnitt, desto höher sind die Verluste durch die Zuleitung, sprich, die Nennleistung des Wandlers muss entsprechend groß gewählt werden.

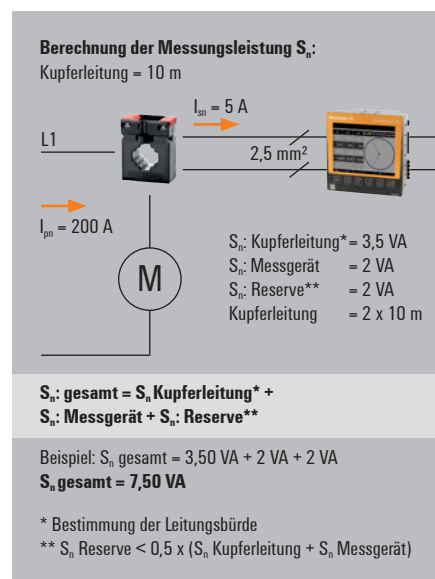


Abb.: Berechnung der Bemessungsleistung S_n
(Kupferleitung 10 m)

Auswahl von Stromwandlern

Die Verbraucherleistung sollte nahe bei der Wandler-Bemessungsleistung liegen. Eine sehr niedrige Verbraucherleistung (Unterbürdung) erhöht den Überstromfaktor, und Messgeräte sind im Kurzschlussfall unter Umständen nicht ausreichend geschützt. Eine zu hohe Verbraucherleistung (Überbürdung) beeinflusst die Genauigkeit negativ.

Häufig sind in einer Installation bereits Stromwandler vorhanden, die bei der Nachrüstung eines Messgerätes mit verwendet werden können. Zu beachten ist hierbei eben die Nennleistung des Wandlers: Reicht diese aus, um die zusätzlichen Messgeräte zu treiben?

Genauigkeitsklassen

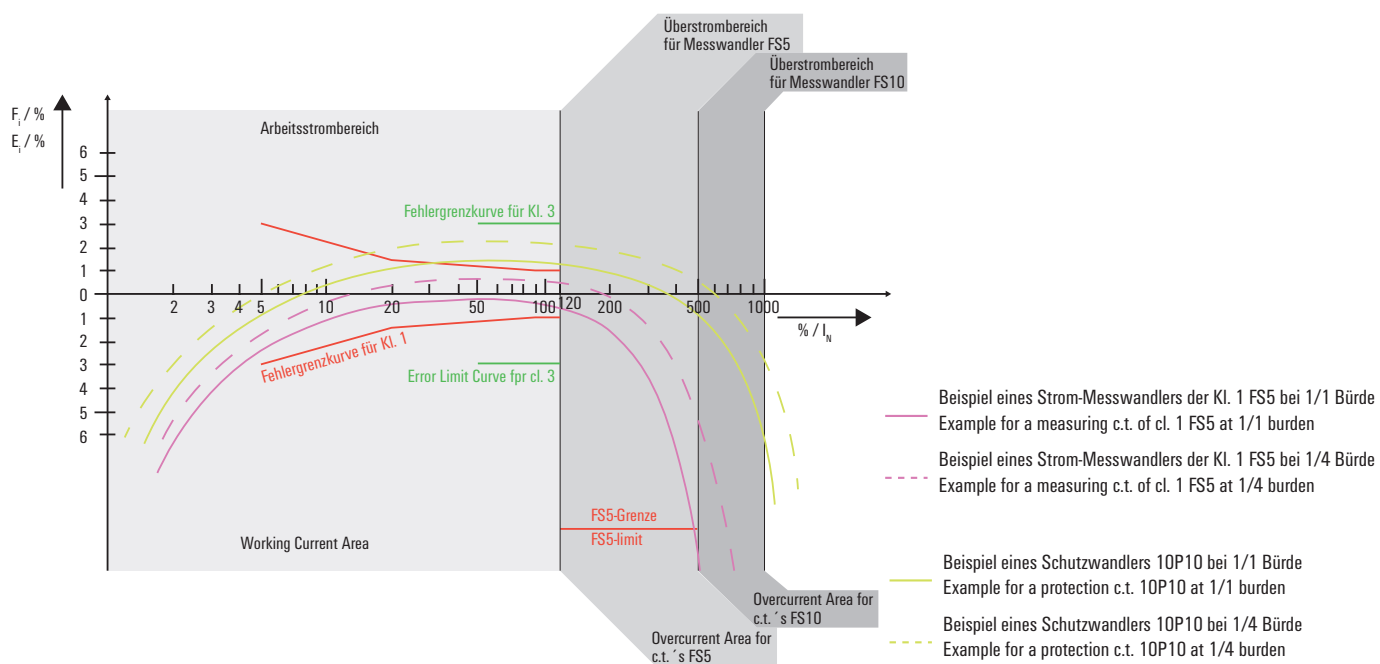
Stromwandler werden entsprechend ihrer Genauigkeit in Klassen eingeteilt. Norm-Genauigkeitsklassen sind 0,1; 0,2; 0,5; 1; 3; 5; 0,1 S; 0,2 S; 0,5 S. Dem Klassenzeichen entspricht eine Fehlerkurve hinsichtlich Strom- und Winkelfehler.

Die Genauigkeitsklassen von Stromwandlern sind auf den Messwert bezogen. Werden Stromwandler mit einem im Bezug zum Nennstrom geringen Strom betrieben, sinkt die Messgenauigkeit deutlich ab. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Fehlergrenzwerte unter Berücksichtigung der Nennstromwerte:

Genauigkeits- klasse	Stromfehler F_I in % bei % des Bemessungsstroms							
	1 %	5 %	20 %	50 %	100 %	120 %	150 %	200 %
5				5		5		
3				3		3		
1		3	1,5		1	1		
1 ext 150		3	1,5		1		1	
1 ext 200		3	1,5		1			1
0,5		1,5	0,75		0,5	0,5		
0,5 S	1,5	0,75	0,5		0,5	0,5		
0,5 ext 150		1,5	0,75		0,5		0,5	
0,5 ext 200		1,5	0,75		0,5			0,5
0,2		0,75	0,35		0,2	0,2		
0,2 S	0,75	0,35	0,2		0,2	0,2		

Wir empfehlen für unsere Messgeräte immer Stromwandler mit der gleichen Genauigkeitsklasse. Stromwandler mit einer niedrigeren Genauigkeitsklasse führen im Gesamtsystem – Stromwandler + Messgerät – zu einer niedrigeren Messgenauigkeit, die in diesem Fall durch die Genauigkeitsklasse des Stromwandlers definiert wird. Die Verwendung von Stromwandlern mit einer niedrigeren Messgenauigkeit als beim Messgerät ist aber technisch möglich.

Stromwandler-Fehlerkurve



Messwandler vs. Schutzwandler

Während Messwandler oberhalb ihres Gebrauchsstrombereichs möglichst rasch in die Sättigung gehen sollen (ausgedrückt durch den Überstromfaktor FS), um ein Anwachsen des Sekundärstroms im Fehlerfall (z.B. Kurzschluss) zu vermeiden und die angeschlossenen Geräte dadurch zu schützen, verlangt man bei Schutzwandlern eine möglichst weit außerhalb liegende Sättigung.

Schutzwandler werden zum Anlagenschutz in Verbindung mit den entsprechenden Schaltgeräten eingesetzt. Norm-Genauigkeitsklassen für Schutzwandler sind 5P und 10P. „P“ steht hier für „protection“. Der Nennüberstromfaktor wird (in %) hinter die Schutzklassenbezeichnung gesetzt. So bedeutet z.B. 10P5, dass beim fünffachen Nennstrom die negative sekundärseitige Abweichung vom entsprechend der Übersetzung (linear) zum erwartenden Wert höchstens 10 % beträgt.

Für den Betrieb unserer Messgeräte wird dringend der Einsatz von Messwandlern empfohlen.

Auswahl von Stromwandlern

Rohrstab-Stromwandler

	Typ	Best.-Nr.	Rundleiter	Schiene	Bürde	Genauigkeitsklasse	Primärstrom	Sekundärstrom max.
	CMA-22-50-5A-1VA-1	2421100000	22,5 mm	/	1 VA	1	50 A	5 A
	CMA-22-60-5A-1,5VA-1	1482140000			1,5 VA		60 A	
	CMA-22-75-5A-1,5VA-1	2421080000			1,5 VA		75 A	
	CMA-22-100-5A-1,5VA-1	2421070000			1,5 VA		100 A	
	CMA-22-150-5A-1,5VA-1	2421060000			1,5 VA		150 A	
	CMA-22-200-5A-2,5VA-1	2421370000			2,5 VA		200 A	
	CMA-22-250-5A-5VA-1	2421050000			5 A		250 A	
	CMA-22-300-5A-5VA-1	2421040000			5 A		300 A	
	CMA-22-400-5A-5VA-0,5	2421010000			5 VA	0,5	400 A	
	CMA-22-500-5A-5VA-0,5	1482220000			5 VA		500 A	
	CMA-22-600-5A-5VA-0,5	1482180000			5 VA		600 A	

Aufsteck-Stromwandler

	Typ	Best.-Nr.	Rundleiter	Schiene	Bürde	Genauigkeitsklasse	Primärstrom	Sekundärstrom max.
	CMA-31-60-5A-1,25VA-1	2421380000	25,7 mm	20x20 mm 25x12 mm 30x10 mm	5 A	1	60 A	5 A
	CMA-31-75-5A-2,5VA-1	1482040000			2,5 VA		75 A	
	CMA-31-100-5A-2,5VA-1	1482030000			2,5 VA		100 A	
	CMA-31-150-5A-5VA-1	2420960000			5 A		150 A	
	CMA-31-200-5A-5VA-1	2420950000			5 A		200 A	
	CMA-31-250-5A-5VA-1	2420940000			5 A		250 A	
	CMA-31-300-5A-5VA-1	2420930000			5 A		300 A	
	CMA-31-400-5A-5VA-1	2420920000			5 A		400 A	
	CMA-31-500-5A-5VA-1	2420910000			5 A		500 A	
	CMA-31-600-5A-5VA-1	2420900000			5 A		600 A	
	CMA-31-750-5A-5VA-1	2420890000			5 A		750 A	

Kabelumbau-Stromwandler

Kabelumbau-Stromwandler									
	Typ	Best.-Nr.	Rundleiter	Schiene	Bürde	Genauigkeitsklasse	Primärstrom	Sekundärstrom max.	
	KCMA-18-50-1A-1VA-3	1482020000	18,5 mm	/	1 VA	3	50 A	1A	
	KCMA-18-75-1A-1VA-3	2420780000			1 VA		75 A		
	KCMA-18-100-1A-1,25VA-3	1482010000			1,25 VA		100 A		
	KCMA-18-150-1A-2VA-3	2420770000			2 VA		150 A		
	KCMA-18-200-1A-3VA-3	2420760000			3 VA		200 A		
	KCMA-18-250-1A-1,5VA-1	1482000000	32,5 mm		1,5 VA	1	250 A	5A	
	KCMA-32-400-5A-5VA-1	2420730000			5 VA		400 A		
	KCMA-32-500-5A-5VA-1	2420740000			5 VA		500 A		
	KCMA-32-600-5A-5VA-1	2420720000			5 VA		600 A		
	KCMA-44-750-5A-5VA-1	2420710000	44 mm		5 VA		750 A		

Sonderausführung

Abweichender primärer Bemessungsstrom	Auf Anfrage
Abweichender sekundärer Bemessungsstrom	Auf Anfrage
Abweichende Bauform	Auf Anfrage
Abweichende Bemessungsfrequenz	Auf Anfrage
Erweiterte Klassengenauigkeit und Dauerbelastbarkeit	Auf Anfrage
Baumustergeprüfte / geeichte Wandler	Auf Anfrage

Bauform von Stromwandlern

Durchführungswandler

Der zu messende Leiter (Stromschiene oder Leitung) wird durch die Fensteröffnung hindurchgeführt und bildet den Primärkreis des Durchführungswandlers. Durchführungswandler werden vorwiegend zur Montage auf Stromschienen eingesetzt. Durch zusätzliches Vergießen wird Tropfenfestigkeit erzielt sowie eine höhere Schock- und Rüttelfestigkeit bei mechanischer Beanspruchung (IEC 68). Hierbei handelt es sich um die gängigste Ausführung von Stromwandlern, mit dem Nachteil, dass bei der Installation der Primärleiter unterbrochen werden muss. Sprich, diese Wandlerbauform kommt vorwiegend bei der Neueinrichtung von Anlagen zum Einsatz.

Split-Wandler (teilbare Stromwandler)

Bei Retrofit-Anwendungen kommen häufig Split-Core Wandler zur Anwendung. Bei diesen Wandlern können für die Installation die Wandlerkerne geöffnet und so um die Stromschienen herum montiert werden. Damit ist die Montage ohne Unterbrechung des Primärleiters möglich.

Kabelumbau-Stromwandler

Kabelumbau-Stromwandler eignen sich ausschließlich zur Montage an isolierten Primärkreisleitern (Zuleitungskabeln) an einem witterungsgeschützten und trockenen Ort. Die Montage ist ohne Unterbrechung des Primärleiters (d.h. bei laufendem Betrieb) möglich.



Abb.: Kabelumbau-Stromwandler

Einbau von Stromwandlern

Einbaurichtung

Ermitteln Sie die Energieflussrichtung im Kabel, an dem Sie messen möchten. P1 bezeichnet die Seite, auf der sich die Stromquelle befindet, während P2 die Verbraucherseite bezeichnet.

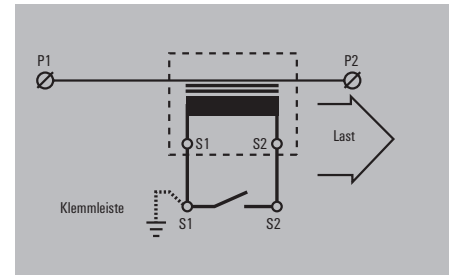


Abb.: Einbaurichtung

Klemmen S1/S2 (k/l)

Die Anschlüsse der Primärwicklung sind mit „K“ und „L“ oder „P1“ und „P2“ bezeichnet und die Anschlüsse der Sekundärwicklung mit „k“ und „l“ oder „S1“ und „S2“. Die Polung hat dabei so zu erfolgen, dass die „Energieflussrichtung“ von K nach L verläuft.

Das Vertauschen der Klemmen S1/S2 führt zu falschen Messergebnissen und kann bei Emax und BLK-Anlagen auch zu falschem Regelverhalten führen.

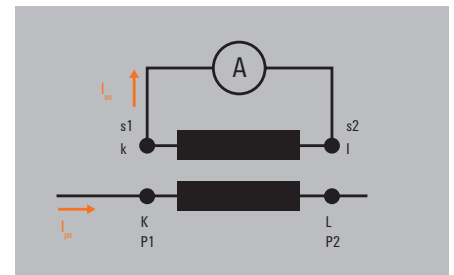


Abb.: Energieflussrichtung

Leitungslänge und Querschnitt

Die Leistungsaufnahme (in W) verursacht durch die Leitungsverluste errechnet sich wie folgt:

- spezifischer Widerstand
für CU: 0,0175 Ohm * mm² / m
für Al: 0,0278 Ohm * mm² / m

l = Leitungslänge im m (Hin- und Rückleitung)

I = Strom in Ampere

A = Leitungsquerschnitt in mm²

$$P = \frac{p \times l \times I^2}{A}$$

Schnellübersicht (Leistungsaufnahme Cu-Leitung) für 5 A und 1 A:

Bei jeder Temperaturänderung um 10 °C steigt die von den Kabeln aufgenommene Leistung um 4 %.

Leistungsaufnahme in VA bei 5 A										
Nennquerschnitt	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m	10 m
2,5 mm ²	0,36	0,71	1,07	1,43	1,78	2,14	2,50	2,86	3,21	3,57
4,0 mm ²	0,22	0,45	0,67	0,89	1,12	1,34	1,56	1,79	2,01	2,24
6,0 mm ²	0,15	0,30	0,45	0,60	0,74	0,89	1,04	1,19	1,34	1,49
10,0 mm ²	0,09	0,18	0,27	0,36	0,44	0,54	0,63	0,71	0,80	0,89

Leistungsaufnahme in VA bei 1 A										
Nennquerschnitt	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m	90 m	100 m
1,0 mm ²	0,36	0,71	1,07	1,43	1,78	2,14	2,50	2,86	3,21	3,57
2,5 mm ²	0,14	0,29	0,43	0,57	0,72	0,86	1,00	1,14	1,29	1,43
4,0 mm ²	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,63	0,71	0,80	0,89
6,0 mm ²	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54	0,60
10,0 mm ²	0,04	0,07	0,11	0,14	0,18	0,21	0,25	0,29	0,32	0,36

Beispiel Wandlerleistung und Leitungslänge					
Sekundärstrom = 1 A			Sekundärstrom = 5 A		
Leitung = 0,75 mm ²			Leitung = 2,5 mm ²		
Wandlerleistung / Leitungslänge			Wandlerleistung / Leitungslänge		
Klasse 0,5	Klasse 1	Klasse 3	Klasse 0,5	Klasse 1	Klasse 3
0,5 VA / 5 m	0,5 VA / 5 m	0,25 VA / 1 m	0,5 VA / 0,7 m	0,5 VA / 0,7 m	0,5 VA / 0,7 m
1 VA / 15 m	1 VA / 15 m	0,5 VA / 5 m	1 VA / 2,1 m	1 VA / 2,1 m	1,5 VA / 3,5 m
2,5 VA / 47 m	1,5 VA / 26 m	1 VA / 15 m	2,5 VA / 6 m	2,5 VA / 6 m	2,5 VA / 6 m
5 VA / 100 m	2,5 VA / 47 m	1,5 VA / 26 m	5 VA / 13 m	5 VA / 13 m	
10 VA / 205 m	5 VA / 100 m			10 VA / 27 m	
	10 VA / 200 m			20 VA / 55 m	
	20 VA / 400 m				

Reihenschaltung von Messgeräten an einem Stromwandler

$P_v = \text{Messgerät 1} + \text{Messgerät 2} + \dots + P_{\text{Leitung}} + P_{\text{Klemmen}} \dots?$

Einbau von Stromwandlern

Parallelbetrieb / Summenstromwandler

Erfolgt die Strommessung über zwei Stromwandler (z.B. 2 Transformatoren), so muss das Gesamtübersetzungsverhältnis der Stromwandler im Messgerät programmiert werden.

Beispiel: Beide Stromwandler haben ein Übersetzungsverhältnis von 1.000 / 5A.
Die Summenmessung wird mit einem Summenstromwandler 5+5 / 5 A durchgeführt.

Das UMG muss dann wie folgt eingestellt werden:

Primärstrom: $1.000 \text{ A} + 1.000 \text{ A} = 2.000 \text{ A}$

Sekundärstrom: 5 A

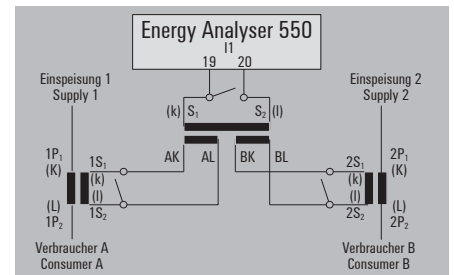


Abb.: Energy Analyser 550 Strommessung Summenwandler

Erdung von Stromwandlern

Nach VDE 0414 sollen Strom- und Spannungswandler ab einer Reihenspannung von 3,6 kV sekundär geerdet werden. Bei Niederspannung kann die Erdung entfallen, sofern die Wandler nicht großflächig berührbare Metallflächen besitzen. Gängige Praxis ist aber auch die Erdung von Niederspannungswandlern. Üblich ist die Erdung auf S1. Die Erdung kann aber an der S1(k)-Klemme oder S2(k)-Klemmen erfolgen. Wichtig: immer auf der gleichen Seite erden!

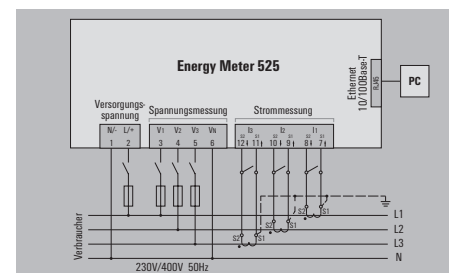


Abb.: Anschlussbeispiel Energy Meter 525

Verwendung von Schutzwandlern

Im Falle der Nachrüstung eines Messgerätes und der ausschließlichen Verfügbarkeit eines Schutzkernes empfehlen wir die Verwendung eines Wickelstromwandlers 5/5 zur Entkopplung des Schutzkerns.

Betrieb von Stromwandlern

Austausch eines Messgerätes (Kurzschließen von Stromwandlern)

Der Stromwandler-Sekundärkreis sollte unter keinen Umständen geöffnet werden, wenn im Primärkreis Strom fließt.

Der Ausgang der Stromwandler stellt eine Stromquelle dar. Bei zunehmender Bürde erhöht sich daher die Ausgangsspannung (entsprechend der Beziehung $U = R \times I$) so lange, bis Sättigung erreicht wird. Oberhalb der Sättigung steigt die Spitzenspannung bei zunehmender Verzerrung weiter an und erreicht ihren Maximalwert bei unendlich großer Bürde, also offenen Sekundärklemmen. Bei offenen Wandlern können somit hohe Spannungsspitzen auftreten, die eine Gefahr für den Menschen sind und Wandler sowie Messgerät beim Wiederanschließen zerstören können.

Daraus folgt, dass ein Offenbetrieb zu vermeiden ist und unbelastete Wandler kurzgeschlossen werden müssen.

Stromwandlerklemmleisten mit Kurzschlusseinrichtung

Zum Kurzschließen von Stromwandlern und für Zwecke der wiederkehrenden Vergleichsmessung werden spezielle Klemmleisten für die DIN-Schiene empfohlen. Diese bestehen aus Quertrennklemme mit Mess- und Prüfeinrichtung, isolierten Brücken für Erdung und Kurzschließen der Wandlerklemme.

Überlastung

Überlastung Primärstrom:

Primärstrom zu hoch → Sättigung des Kernmaterials → Genauigkeit sinkt massiv ab.

Überlastung Nennleistung:

Es werden zu viele Messgeräte oder zu lange Leitungen an einen Wandler mit seiner definierten Nennleistung angeschlossen → Sättigung des Kernmaterials → Genauigkeit sinkt massiv ab.

Kurzschlussfall

Im Kurzschlussfall liegt kein Signal mehr vor. Das Messgerät kann nicht mehr messen. Stromwandler können (bzw. müssen) kurzgeschlossen werden, wenn keine Last / Bürde (Messgerät) anliegt.

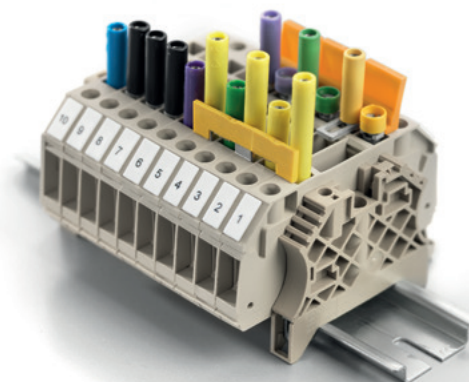


Abb.: Stromwandlerklemmleiste

Kommunikation über die RS485-Schnittstelle

Wenn es darum geht, kostengünstig Messgeräte miteinander zu vernetzen, ist die RS485-Schnittstelle mit Modbus-RTU-Protokoll nach wie vor das Maß der Dinge. Der einfache Topologieaufbau, die Unempfindlichkeit gegen EMV-Störungen und das offene Protokoll zeichnen die Kombination RS485 mit Modbus-RTU-Protokoll schon seit Jahren aus. Der komplette Name des RS485-Standards ist TIA / EIA-485-A. Die letzte Revision war im März 1998 und der Standard wurde im Jahr 2003 ohne Änderungen bestätigt. Der Standard definiert nur die elektrischen Schnittstellenbedingungen der Sender und Empfänger, sagt jedoch nichts über die Topologie bzw. über die zu verwendenden Leitungen aus. Diese Informationen findet man entweder in der TSB89 „Application Guidelines for TIA / EIA-485-A“ oder in den Applikationsbeschreibungen der RS485-Treiberbaustein-Hersteller wie z.B. Texas Instruments oder Maxim. Gemäß OSI-Modell (Open Systems Interconnection Reference Model)* wird nur der „physikalische Layer“, nicht jedoch das Protokoll beschrieben. Das verwendete Protokoll darf frei gewählt werden, wie z.B. Modbus RTU, Profibus, BACnet etc. Die Kommunikation zwischen Sender und Empfänger erfolgt leitungsgebunden über eine geschirmte, verdrehte Leitung „Twisted Pair Kabel“. Hierbei sollte immer nur ein Leitungspaar für A und B verwendet werden (Abb.: Bild 1a). Ist die Schnittstelle nicht galvanisch getrennt, ist zudem der Common-Anschluss mitzuführen (Abb.: Bild 1b). Dazu später mehr.

Die Übertragung der Daten erfolgt durch einen differentiellen, seriellen Spannungspegel zwischen den Leitungen [A] und [B]. Da Daten auf den Leitungen zwischen Sender und Empfänger übertragen werden, spricht man auch von Halbduplex oder Wechselbetrieb. Jeder Empfänger oder Sender hat einen invertierten und nicht-invertierenden Anschluss. Die Übertragung der Daten erfolgt symmetrisch. Das heißt, hat eine Leitung ein „High“-Signal, hat die andere Leitung ein „Low“-Signal. Leitung A ist somit der Komplementär von B und umgekehrt. Der Vorteil der Messung der Spannungsdifferenz zwischen A und B ist, dass Gleichtaktstörungen weitestgehend keinen Einfluss haben. Eine eventuelle Gleichtaktstörung wird auf beiden Signalleitungen annähernd gleichmäßig eingekoppelt, und durch die Differenzmessung haben sie somit keinen Einfluss auf die zu übertragenden Daten. Der Sender (Driver) erzeugt eine differentielle Ausgangsspannung von mindestens 1,5 V an 54 Ohm Last. Der Empfänger (Receiver) hat eine Empfindlichkeit ± 200 mV (Abb. Bild 2).

Der Zustand Logik ist hierbei wie folgt (Abb. Bild 3):

$A-B < 0,25 \text{ V}$ = Logisch 1
 $A-B > 0,25 \text{ V}$ = Logisch 0

Die Kennzeichnung der Anschlüsse A / B ist oft nicht einheitlich. Was bei einem Hersteller A ist, kann beim nächsten Hersteller B sein. Warum ist das so?

* Open Systems Interconnection Reference Model (OSI): Driver = Sender; Receiver = Empfänger; Transceiver = Sender / Empfänger

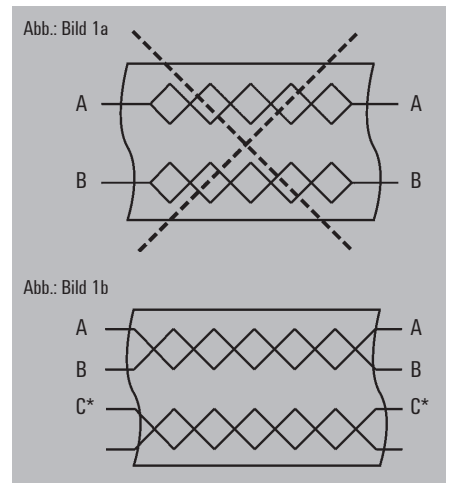


Abb.: Bild 1

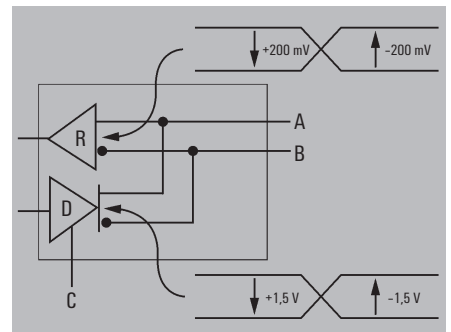


Abb.: Bild 2

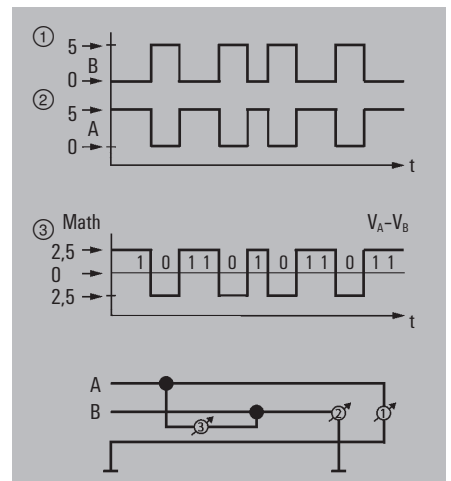


Abb.: Bild 3

Die Definition sagt:

$A = \text{„-“} = T \times D^- / R \times D^- = \text{invertiertes Signal}$
 $B = \text{„+“} = T \times D^+ / R \times D^+ = \text{nicht-invertiertes Signal}$

Es wird zudem eine dritte Leitung „C“ = „Common“ angegeben.
Diese Leitung ist für den Referenz-Ground.

Einige RS485-Chip-Hersteller wie Texas Instruments, Maxim, Analog Devices usw. verwenden aber seit Beginn eine andere Bezeichnung, welche mittlerweile ebenfalls üblich ist:

$A = \text{„+“} = T \times D^+ / R \times D^+ = \text{nicht-invertiertes Signal}$
 $B = \text{„-“} = T \times D^- / R \times D^- = \text{invertiertes Signal}$

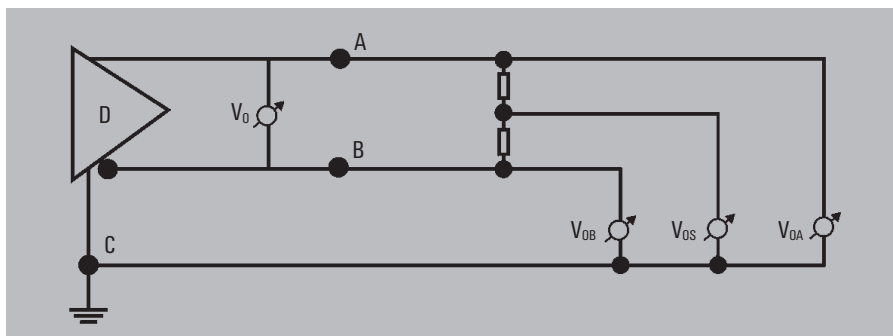
Aufgrund dieser Verwirrung haben einige Gerätehersteller ihre eigene Bezeichnung eingeführt:

$D^+ = \text{„+“} = T \times D^+ / R \times D^+ = \text{nicht-invertiertes Signal}$
 $D^- = \text{„-“} = T \times D^- / R \times D^- = \text{invertiertes Signal}$

Durch die Bezeichnung [+] und [-] nach dem Buchstaben [D] ist klar ersichtlich, welche Leitung das invertierte und das nicht-invertierte Signal darstellt.

Alle unsere Messgeräte haben die folgende Bezeichnung:

$A = \text{„+“} = T \times D^+ / R \times D^+ = \text{nicht-invertiertes Signal}$
 $B = \text{„-“} = T \times D^- / R \times D^- = \text{invertiertes Signal}$

Die Spannungen werden in den Datenblättern wie folgt definiert:

V_0 = Differenzspannung A - B
 V_{OB} = Spannung zwischen B und C
 V_{OA} = Spannung zwischen A und C
 V_{OS} = Treiber-Offsetspannung

Abb.: Bild 4

Kommunikation über die RS485-Schnittstelle

Die Spannung VCM

Die Spannung VCM (Common- mode Voltage) ist die Summe der GND-Potenzial-Differenzen zwischen den RS485 Teilnehmern (Abb.: Bild 5), der Treiber Offset Spannung und der Gleichtaktstörspannung (Vnoise), welche auf die Busleitung wirkt. Die RS485-Treiber-Hersteller geben für VCM einen Spannungsbereich von -7 bis 12 V an. Bei Kommunikationsproblemen wird dieser Spannungsbereich, bedingt durch Potenzialdifferenzen zwischen Sender und Empfänger, häufig verletzt, wenn die Schnittstelle nicht galvanisch getrennt aufgebaut ist bzw. keine Common-Leitung existiert. Bild 6 zeigt die Berechnung der „Common mode“-Spannung.

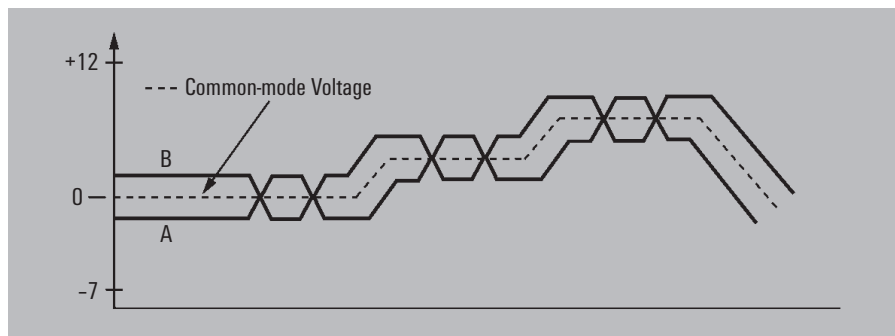


Abb.: Bild 5

$$V_{OS} = \frac{V_{OA} + V_{OB}}{2}$$

$$V_{CM} = V_{OS} + V_{noise} + V_{GPD}$$

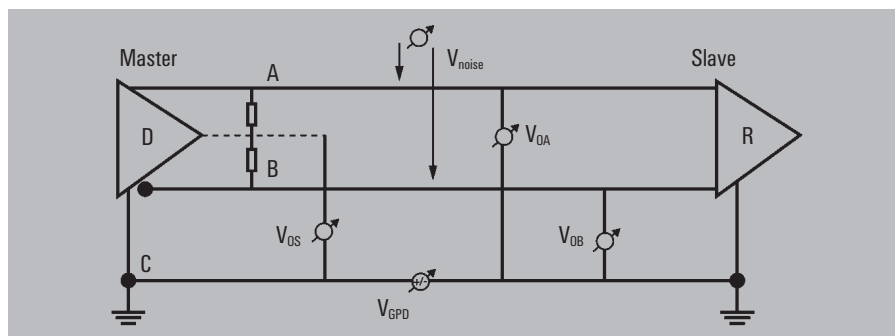


Abb.: Bild 6

V_{GPD} (Ground potential differences)

V_{GPD} ist hierbei die Potenzialdifferenz zwischen Sender und Empfänger GND (PE). Potenzialdifferenzen zwischen den Anschlüssen (Erdungen) entstehen oft bei großer räumlicher Ausdehnung des RS485-Busses. Diese Potenzialdifferenzen entstehen gerade bei älteren Elektroinstallationen, da oft kein vermaschter Potenzialausgleich existiert. Ferner kann gerade bei Blitzeinwirkung die Potenzialdifferenz zwischen den PE-Anschlüssen in den Verteilungen Hunderte oder Tausende von Volt annehmen. Auch unter Normalbedingungen können

Potenzialdifferenzen von einigen Volt, bedingt durch Ausgleichströme der Verbraucher, existieren. Vnoise (common mode noise) ist eine Störspannung, die folgende Gründe haben kann:

- Durch ein Magnetfeld induzierte Störspannung auf die Busleitung

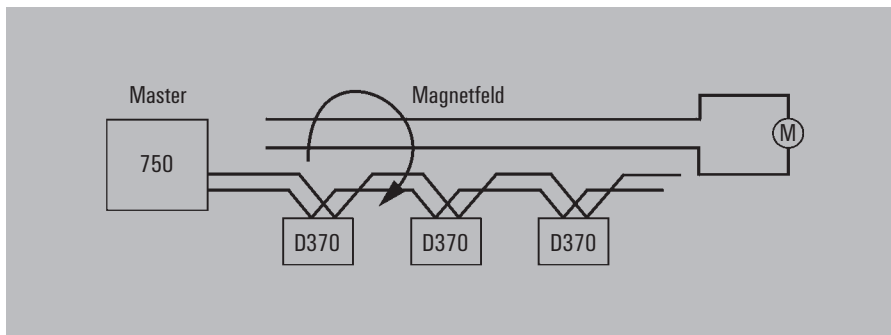


Abb.: Bild 7

- Kapazitive Kopplung bei Anlagenteilen, die nicht galvanisch getrennt sind („parasitäre Kapazitäten“)

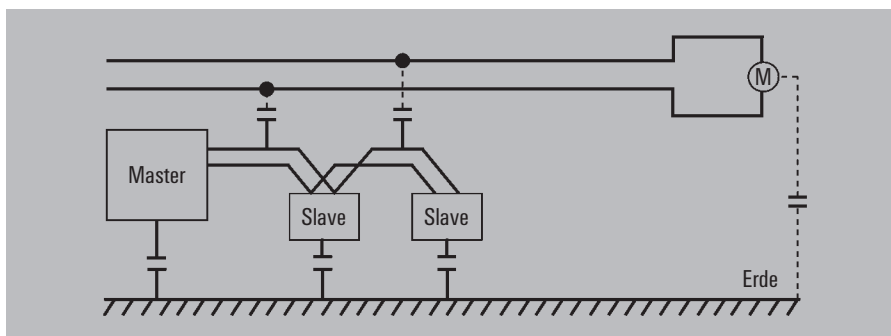


Abb.: Bild 8

- Galvanische Kopplung
- Strahlungskopplung
- Elektrostatische Entladungen

Kommunikation über die RS485-Schnittstelle

Bustopologie

Der Bus ist „multipointfähig“, und ohne Repeater können bis zu 32 Teilnehmer angeschlossen werden. Die beste Netzwerk Topologie ist dabei „Daisy chain“. Das heißt, das Buskabel geht direkt von Slave zu Slave.

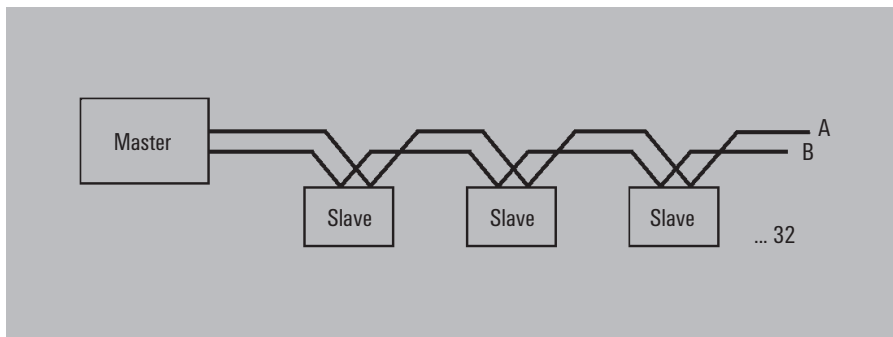


Abb.: Bild 9

Zu beachten ist, dass Stichleitungen generell zu vermeiden sind. Stichleitungen verursachen Reflexionen auf dem Bus. Theoretisch könnte je nach verwendetem Transceiver zwar eine mögliche Stichleitung berechnet werden, dies ist aber in der Praxis zu aufwendig. Die Länge einer möglichen Stichleitung hängt stark von der Signalanstiegszeit des verwendeten Transceivers ab und sollte kleiner als 1/10 der Signalanstiegszeit des Drivers sein. Je höher die möglichen Baudraten des Transceivers, desto kleiner sind die Signalanstiegszeiten des Drivers. Das heißt, man benötigt Kenntnisse darüber, welcher IC bei den Busteilnehmern verbaut wurde. Zudem fließt die Signalgeschwindigkeit des Kabels in die Berechnung ein. Aus diesem Grund sollte man generell Stiche vermeiden.

Terminierung

Eine weitere Ursache für Kommunikationsstörungen sind Bus-Reflexionen. Eine Reflexion entsteht, wenn das Sendersignal nicht komplett von der Last absorbiert wird. Die Quellenimpedanz sollte der Lastimpedanz und dem Leitungswellenwiderstand entsprechen, da hierdurch die volle Signalleistung erreicht wird und nur minimale Reflexionen entstehen. Die serielle Kommunikation der RS485-Schnittstelle arbeitet am effizientesten, wenn Quell- und Lastimpedanz mit 120 Ohm abgestimmt sind. Der RS485-Standard empfiehlt aus diesem Grund eine Busleitung mit einem Leitungswellenwiderstand von $Z_0 = 120 \text{ Ohm}$. Damit Reflexionen auf dem Bus vermieden werden, muss die Busleitung am Anfang und am Ende mit einem Abschlusswiderstand versehen werden, der dem Leitungswellenwiderstand entspricht.

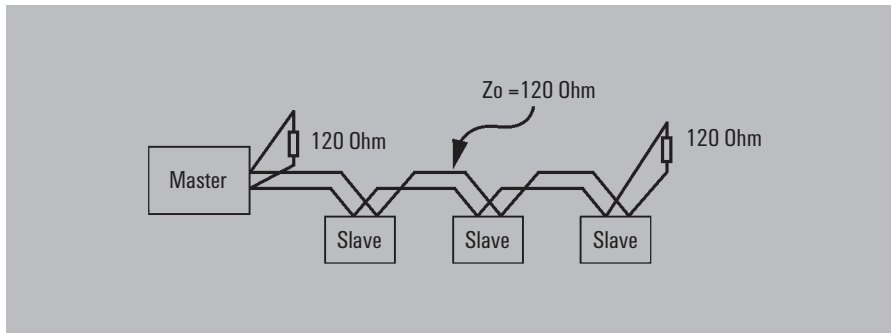


Abb.: Bild 10

„Failsafe Bias“-Widerstände

Wenn sich die Receiver-Eingänge im Bereich von -200 mV bis $+200\text{ mV}$ befinden, ist der Ausgang des Empfängerbausteins unbestimmt, d.h., eine Auswertung des RS485-Signals kann nicht stattfinden.

Unter folgenden Bedingungen ist das der Fall:

- Kein Sender ist aktiv
- Die Busleitung ist unterbrochen worden (z.B. Leitungsbruch)
- Die Busleitung ist kurzgeschlossen (z.B. Leitung beschädigt etc.)

Der RS485-Bus muss unter diesen Bedingungen in einen definierten Signalzustand gebracht werden. Einige Kommunikationsbusse haben diese Probleme nicht, da hier z.B. nur ein Sender existiert, welcher die Leitung steuert. Entweder der Sender ist aktiv oder eben nicht. Beim RS485-Bus, da multipointfähig, können aber mehrere Sender angeschlossen werden.

Damit der Signalzustand unter den obigen Bedingungen eindeutig wird, verwendet man in der Regel einen „Pull up“-Widerstand zwischen $+5\text{ V}$ und der Signalleitung A und einen „Pull down“-Widerstand zwischen GND und der Signalleitung B. Die Widerstände sind theoretisch an einer beliebigen Stelle im Bus platzierbar, werden aber in der Regel beim Master in einem Spannungsteilerverbund mit Abschlusswiderstand eingesetzt, da es hierfür fertige Stecker gibt.

Bei einigen Herstellern findet man in der Regel nur die Empfehlung, einen Abschlusswiderstand am Anfang und am Ende einzubauen, damit Reflexionen vermieden werden. Warum ist das so?

In diesem Fall haben die Hersteller für die RS485-Schnittstelle Transceiver verwendet, die bereits einen internen Failsafe Bias im Chip eingebaut haben, d.h., bei z.B. 0 V am Receiver-Eingang hat der Ausgang automatisch einen logischen

Kommunikation über die RS485-Schnittstelle

„High“-Zustand. Bei Maxim (wie im Energy Analyser D550 und Energy Meter D370 eingesetzt) heißt die Funktion „True fail-safe“. Ein externer Failsafe Bias ist dann nur noch notwendig, wenn am gleichen Bus Teilnehmer angeschlossen werden, die diese Funktion nicht besitzen. Die Buslast wird im Übrigen durch die „True fail-safe“-Funktion nicht beeinflusst.

Der „Common-Anschluss“ bzw. „galvanisch getrennt“

Die Busteilnehmer beziehen ihre Versorgungsspannung in der Regel aus unterschiedlichen Bereichen der Elektroinstallation. Gerade bei älteren Elektroinstallationen können so erhebliche Potenzialdifferenzen zwischen den Erdungen bestehen. Für eine fehlerfreie Kommunikation darf sich die Spannung V_{cm} aber nur im Bereich von -7 bis +12 V bewegen, d.h., die Spannung V_{GPD} (Ground potential differences) muss möglichst klein sein (Bild 11 a, Bild 5). Ist die RS485-Schnittstelle nicht galvanisch von der Versorgungsspannung getrennt aufgebaut, muss der Common-Anschluss mitgeführt werden (Bild 11 b).

Durch die Verbindung der Common-Anschlüsse kann allerdings eine Stromschleife entstehen, d.h. es fließt ohne eine zusätzliche Maßnahme ein hoher Ausgleichstrom zwischen den Busteilnehmern und der Erdung. Dies wird in der Regel von den Entwicklern dadurch verhindert, dass der GND der RS485-Schnittstelle durch einen 100-Ohm-Widerstand von der Erdung entkoppelt wird (Bild 11 c).

Eine bessere Alternative ist die galvanische Trennung der RS485-Schnittstelle von der Versorgungsspannung durch einen internen DC/DC-Konverter und einen Signal-Isolator. Potenzialdifferenzen in der Erdung haben somit keinen Einfluss auf das Signal. Das Differenzsignal „floatet“ somit. Noch besser ist die galvanische Trennung der RS485-Schnittstelle in Kombination mit einem Common-Anschluss.

Bild 12 zeigt einen Mischbetrieb zwischen Teilnehmern mit galvanisch getrennter und galvanisch nicht getrennter Schnittstelle. Die Teilnehmer mit galvanisch getrennter RS485 haben im Beispiel keinen Common-Anschluss. In diesem Fall ist darauf zu achten, dass die Common-Anschlüsse der Teilnehmer miteinander verbunden werden. Trotzdem kann es zu Kommunikationsstörungen aufgrund von EMV-Koppelkondensatoren kommen. Dies hat zur Folge, dass die nicht galvanisch getrennten Teilnehmer das Signal nicht mehr interpretieren können. In diesem Fall muss der Bus getrennt und zwischen den Teilnehmerkreisen eine zusätzliche galvanische Kopplung integriert werden.

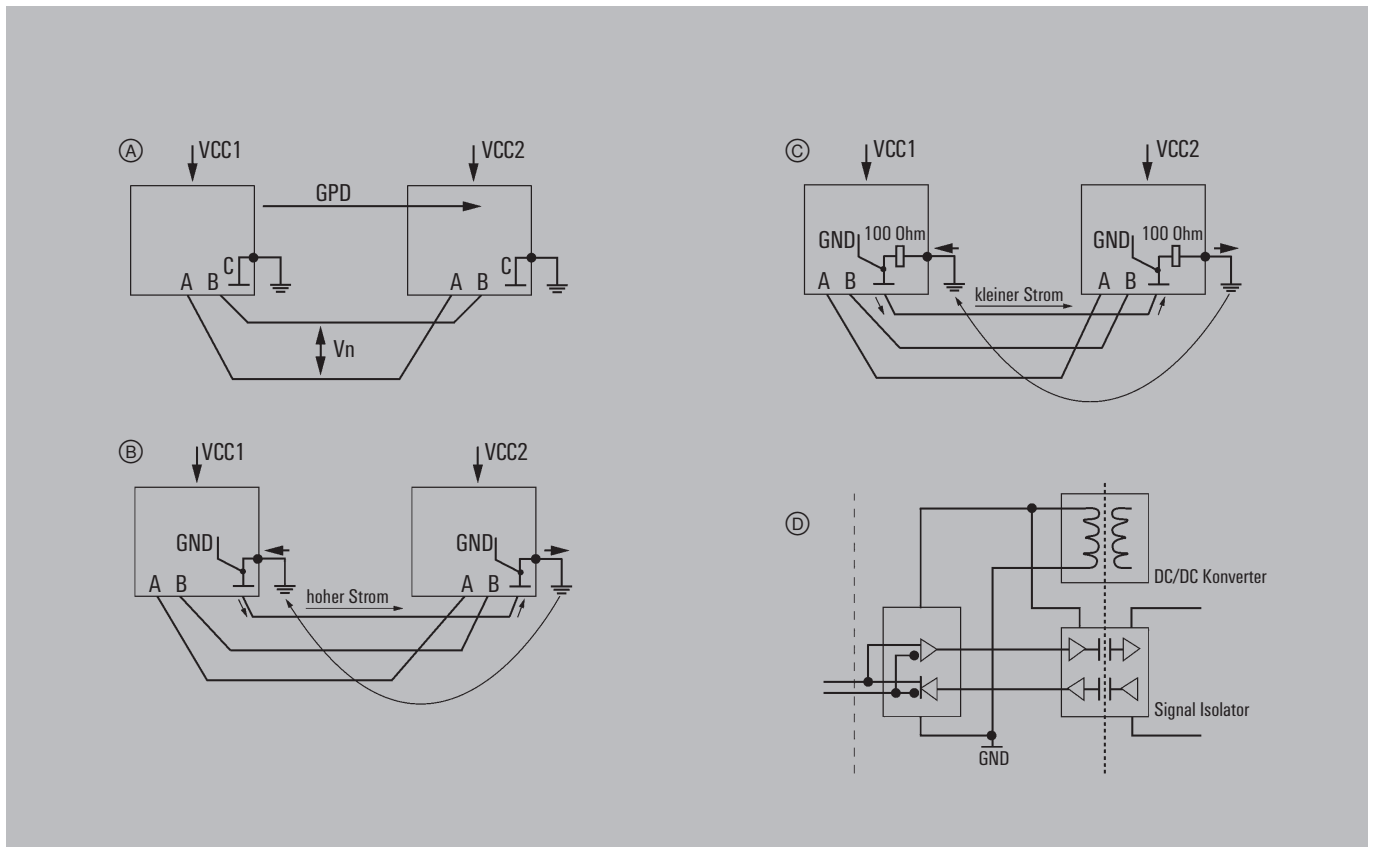


Abb.: Bild 11

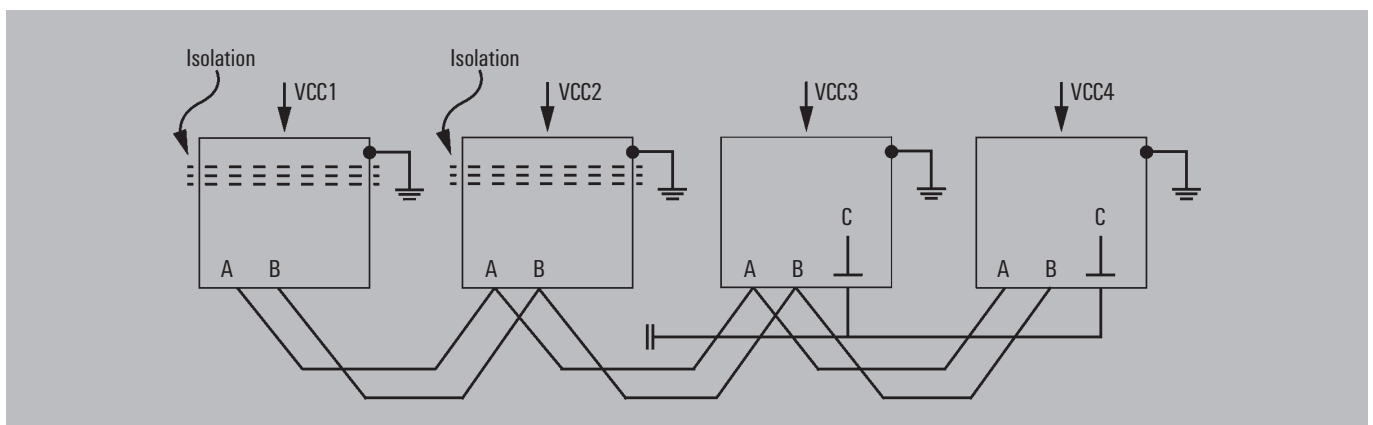


Abb.: Bild 12

Hinweis: Die Schirmung darf auf keinen Fall an den Common-Anschluss der RS485-Schnittstelle angeschlossen werden. Hierdurch würden Störungen direkt in den GND der RS485 Transceiver eingekoppelt werden.

Ports, Protokolle und Verbindungen

Energy Analyser D550, Energy Analyser 550	
Protokolle	Ports
TFTP	1201
Modbus / TCP - Modbus / UDP	502, 4 Ports
DHCP	68
NTP	123
BACnet	47808
Nameservice	1200
HTTP	80
FTP	21
FTP Datenport	1024, 1025
FTP Datenport	1026, 1027
Modbus over Ethernet	8000, 1 Port
Serviceport (telnet)	1239
SNMP	161 / 162 (TRAP)
E-Mail-Port (aktuell)	25
E-Mail-Port (in Vorbereitung)	587

Energy Meter D370, Energy Meter D650	
Protokolle	Ports
Gerät besitzt keinen Ethernet-Anschluss	Gerät besitzt keinen Ethernet-Anschluss

ecoExplorer go	
Protokolle	Ports
Modbus / TCP - Modbus / UDP	502
HTTP	80
FTP	21
FTP Datenport	1024, 1025
FTP Datenport	1026, 1027
Modbus / TCP	502
Modbus over Ethernet	8000
Datenport Telnet Auslesen	1239
Datenport Telnet Update	1236, 1237
E-Mail-Port (Vorbereitung)	25
E-Mail-Port (Vorbereitung)	587

Anzahl der TCP/UDP-Verbindungen (Energy Analyser D550, Energy Analyser 550)

- Insgesamt sind max. 24 Verbindungen über die TCP-Gruppe möglich.
Es gilt:
 - Port 21 (FTP): max. 4 Verbindungen
 - Port 25/587 (E-Mail): max. 8 Verbindungen
 - Port 1024-1027 (Datenport zu jedem FTP-Port): Max. 4 Verbindungen
 - Port 80 (HTTP): max. 24 Verbindungen
 - Port 502 (Modbus TCP/IP): Max. 4 Verbindungen
 - Port 1239 (Debug): max. 1 Verbindung
 - Port 8000 (Modbus oder TCP/IP): max. 1 Verbindung
- Verbindungslose Kommunikation über die UDP-Gruppe
 - Port 68 (DHCP)
 - Port 123 (NTP)
 - Port 161/162 (SNMP)
 - Port 1200 (Nameservice)
 - Port 1201 (TFTP)

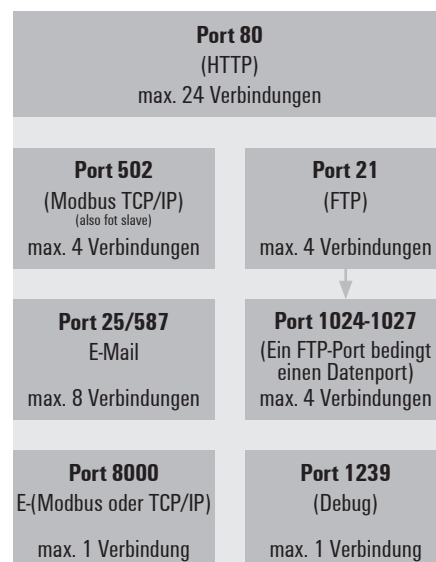


Abb.: TCP-Gruppe: max. 24 Verbindungen (queue scheduling)
(Energy Analyser D550, Energy Analyser 550)

Der Energy Meter 750 unterstützt über Ethernet-Anschluss folgende Protokolle

Client-Dienste	Ports
DNS	53 (UDP / TCP)
DHCP-Client (BootP)	68 (UDP)
NTP (Client)	123 (UDP)
E-Mail (senden)	Wählbar (1-65535 TCP)

Server-Dienste	Port
Ping	(ICMP / IP)
FTP	20 (TCP)*, 21 (TCP)
HTTP	80 (TCP)
NTP (nur lauschen)	123 (UDP Broadcast)
SNMP	161 (UDP)
Modbus TCP	502 (UDP / TCP)
Geräte-Identifikation	1111 (UDP)
Telnet	1239 (TCP)
Modbus RTU (Ethernet gekapselt)	8000 (UDP)

* Zufälliger Port (> 1023) für die Datenübertragung, falls im PASSIVE-Mode gearbeitet wird.

Der Energy Meter 750 kann 20 TCP-Verbindungen verwalten.

Client-Dienste werden vom Gerät an einen Server über die angegebenen Ports kontaktiert, Server-Dienste stellt das Gerät zur Verfügung.

Port 68 (DHCP)
Port 123 (NTP)
Port 161/162 (SNMP)
Port 1200 (Nameservice)
Port 1201 (TFTP)
Port 47808 (BACnet)

Abb.: UTP-Gruppe: verbindungslose Kommunikation
(Energy Analyser D550, Energy Analyser 550)

Überspannungskategorien

Elektrische Verteilungssysteme und Verbraucher werden immer komplexer. Dadurch nimmt auch die Wahrscheinlichkeit von transienten Überspannungen zu. Vor allem Baugruppen der Leistungselektronik (z.B. Frequenzumrichter, Phasenanschnitt- und -abschnittsteuerungen, PWM-gesteuerte Leistungsschalter) erzeugen in Verbindung mit induktiven Lasten vorübergehende Spannungsspitzen, die wesentlich höher als die jeweilige Nennspannung sein können. Um die Sicherheit für den Anwender zu gewährleisten, wurden in der DIN VDE 0110 / EN 60664 vier Überspannungskategorien (CAT I bis CAT IV) definiert.

Die Messkategorie gibt die zulässigen Anwendungsbereiche von Mess- und Prüfgeräten für elektrische Betriebsmittel und Anlagen (z.B. Spannungsprüfer, Multimeter, VDE-Prüfgeräte) für die Anwendung im Bereich von Niederspannungsnetzen an.

Definierte Kategorien und Verwendungszwecke in der IEC 61010-1:

Folgende Kategorien und Verwendungszwecke sind in der IEC 61010-1 definiert:	
CAT I	Messungen an Stromkreisen, die keine direkte Verbindung zum Netz haben (Batteriebetrieb), z.B. Geräte der Schutzklasse 3 (Betrieb mit Schutzkleinspannung), batteriebetriebene Geräte, Pkw-Elektrik
CAT II	Messung an Stromkreisen, die eine direkte Verbindung mittels Stecker mit dem Niederspannungsnetz haben, z.B. Haushaltsgeräte, tragbare Elektrogeräte
CAT III	Messungen innerhalb der Gebäudeinstallation (stationäre Verbraucher mit nicht steckbarem Anschluss, Verteileranschluss, fest eingebaute Geräte im Verteiler), z.B. Unterverteilung
CAT IV	Messungen an der Quelle der Niederspannungsinstallation (Zähler, Hauptanschluss, primärer Überstromschutz), z.B. Zähler, Niederspannungsfreileitung, Hausanschlusskasten

Die Kategorien sind außerdem in die Spannungshöhe 300 V / 600 V / 1.000 V unterteilt.

Die Kategorie ist für die Sicherheit bei Messungen von besonderer Bedeutung, da niederohmige Stromkreise höhere Kurzschlussströme aufweisen und / oder Störungen in Form von Lastumschaltung und andere transiente Überspannungen vom Messgerät verkraftet werden müssen, ohne den Anwender durch elektrische Schläge, Feuer, Funkenbildung oder Explosion zu gefährden. Durch die niedrige Impedanz des öffentlichen Stromversorgungsnetzes sind an der Hauseinspeisung Kurzschlussströme am größten. Innerhalb der Hausanlage werden die maximalen Kurzschlussströme durch die Reihenwiderstände der Anlage reduziert. Technisch wird die Einhaltung der Kategorie u.a. durch Berührungssicherheit von Steckern und Buchsen, Isolation, ausreichende Luft- und Kriechstrecken, Zugentlastungen und Knickschutz von Leitungen sowie genügende Leitungsquerschnitte sichergestellt.

Aus der Praxis

Unserer Einschätzung und Erfahrung nach sind sich viele Anwender dieser Thematik nicht ausreichend bewusst. Das Thema Überspannungskategorie mag in der einen oder anderen Anwendung zur Folge haben, dass man anstatt eines Energy Analyser D550 mit 300 V CAT-III auf ein Energy Analyser 550 mit der Überspannungskategorie 600 V CAT-III wechseln muss, sprich, anstatt einer 4.000-V-Bemessungsstoßspannung wird eine 50 % höhere Bemessungsstoßspannung von 6.000 V erreicht! Es kann aber auch die Verlegung der Messstelle zur Folge haben. Das bedeutet, zusätzliche Sicherheit für Mensch und Maschine!

Die Kombination aus der CAT-Kategorie und der definierten Spannungshöhe ergibt die Bemessungsstoßspannung.

Nennspannungen von Stromversorgungssystemen (Netzen) bei verschiedenen Arten der Überspannungsbegrenzung

Spannung Leiter zu Neutraleiter, abgeleitet von Nennwechsel oder nngleichspannungen bis einschließlich	Gegenwärtig weltweit benutzte Nennspannungen				Bemessungsstoßspannung für Betriebsmittel			
	Dreiphasen-4-LeiterSysteme mit geerdetem Neutraleiter	Dreiphasen-3-LeiterSysteme ungeerdet	Einphasen-2-LeiterSysteme Wechsel- oder Gleichspannung	Einphasen-3-LeiterSysteme Wechsel- oder Gleichspannung	Überspannungskategorien			
	V	V	V	V				
150	120 / 208* 127 / 220	115, 120, 127	100** 110, 220	100 - 200** 101 - 220 120 - 240	800	1.500	2.500	4.000
300	220 / 380, 230 / 400 240 / 415, 260 / 440 277 / 480	200**, 220, 230, 240, 260, 277, 347, 380, 400, 415, 440	220	220 - 400	1.500	2.500	4.000	6.000
600	347 / 600, 380 / 660 400 / 690, 417 / 720	500	480	480 - 960	2.500	4.000	6.000	8.000

* In den Vereinigten Staaten von Amerika und in Kanada üblich.

** In Japan üblich.

Gültige Normen

Weidmüller Geräte wurden gemäß international gültigen Normen und Richtlinien entwickelt, gefertigt und geprüft. Die wichtigsten nationalen und internationalen Normen im Zusammenhang mit unseren Produkten, Lösungen und Anwendungen sind wie folgt:

Allgemeine Normen und EMV-Normen:

- **IEC/EN 61000-2-2:** Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV): Umgebungsbedingungen; Verträglichkeitspegel für niederfrequente, leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen.
- **IEC/EN 61000-2-4:** Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV): Umgebungsbedingungen; Verträglichkeitspegel für niederfrequente, leitungsgeführte Störgrößen in Industrieanlagen.
- **IEC/EN 61000-3-2:** Grenzwerte für Oberschwingungsströme für Elektrogeräte mit einer Stromaufnahme < 16 A je Leiter.
- **IEC/EN 61000-3-3:** Grenzwerte – Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungsversorgungsnetzen für Geräte mit einem Bemessungsstrom ≤ 16 A je Leiter, die keiner Sonderanschlussbedingung unterliegen.
- **IEC/EN 61000-3-4:** Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV): Grenzwerte – Begrenzung der Aussendung von Oberschwingungsströmen in Niederspannungsversorgungsnetzen für Geräte und Einrichtungen mit Bemessungsströmen über 16 A.
- **IEC/EN 61000-3-11:** Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV): Grenzwerte – Begrenzung von Spannungsänderungen, Spannungsschwankungen und Flicker in öffentlichen Niederspannungsversorgungsnetzen; Geräte und Einrichtungen mit einem Bemessungsstrom ≤ 75 A, die einer Sonderanschlussbedingung unterliegen.
- **IEC/EN 61000-3-12:** Grenzwerte für Oberschwingungsströme, verursacht von Geräten und Einrichtungen mit einem Eingangsstrom > 16 A und ≤ 75 A je Leiter, die zum Anschluss an öffentliche Niederspannungsnetze vorgesehen sind.
- **IEC/EN 61557-12:** Elektrische Sicherheit in Niederspannungsnetzen bis AC 1000 V und DC 1500 V – Geräte zum Prüfen, Messen oder Überwachen von Schutzmaßnahmen.

Normen zur Spannungsqualität:

- **EN 50160:** Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen.
- **D-A-CH-CZ:** Technische Regeln zur Beurteilung von Netzurückwirkungen in Deutschland, Österreich, der Schweiz und der Tschechischen Republik.
- **TOR D2:** Technische und organisatorische Regeln für Betreiber und Benutzer elektrischer Netze; Teil D: Besondere, technische Regeln; Hauptabschnitt D2: Richtlinie zur Beurteilung von Netzurückwirkungen.
- **IEEE 519:** (Recommended Practices and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems) als gemeinsame Empfehlung von EVUs und Betreibern zur Begrenzung der Auswirkungen nicht linearer Lasten durch Reduzierung von Oberschwingungen.
- **ENGINEERING RECOMMENDATION:** G5/4-1 (planning levels for harmonic voltage distortion to be used in the process for the connection of non-linear equipment) als Richtlinie der Energy Networks Association (UK) zur Begrenzung der Auswirkungen nicht linearer Lasten durch Reduzierung von Oberschwingungen am Übergabepunkt (PCC). Gültig in Großbritannien und Hongkong.
- **IEEE1159-3 PQDIF:** Recommended Practice for the Transfer of Power Quality Data (Datenaustauschformat für Spannungsqualitätsdaten).
- **ITIC (CBEMA):** Die ITI-Kurve des Information Technology Industry Council (ITI) repräsentiert die Widerstandsfähigkeit von Computern / Netzteilen in Bezug auf die Höhe und die Dauer von Spannungsstörungen.

Normen für Spannungsqualitätsnetzanalysatoren

- **IEC/EN 61000-4-2:** Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen die Entladung statischer Elektrizität.
- **IEC/EN 61000-4-3:** Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen hochfrequente, elektromagnetische Felder.
- **IEC/EN 61000-4-4:** Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen schnelle, transiente, elektrische Störgrößen / Burst.
- **IEC/EN 61000-4-5:** Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen Stoßspannungen.
- **IEC/EN 61000-4-6:** Prüf- und Messverfahren – Störfestigkeit gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder.
- **IEC/EN 61000-4-7:** Prüf- und Messverfahren – allgemeiner Leitfaden für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten.
- **IEC/EN 61000-4-8:** Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen Magnetfelder mit energietechnischen Frequenzen.
- **IEC/EN 61000-4-11:** Prüf- und Messverfahren – Prüfung der Störfestigkeit gegen Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen und Spannungsschwankungen.

Normen für Energiemessgeräte

- **DIN EN 62053-21:** Wechselstrom-Elektrizitätszähler. Besondere Anforderungen. Teil 21: Elektronische Wirkverbrauchszähler der Genauigkeitsklassen 1 und 2.
- **DIN EN 62053-22:** Wechselstrom-Elektrizitätszähler. Besondere Anforderungen. Teil 22: Elektronische Wirkverbrauchszähler der Genauigkeitsklassen 0,2 S und 0,5 S.
- **DIN EN 62053-23:** Wechselstrom-Elektrizitätszähler. Besondere Anforderungen. Teil 23: Elektronische Blindverbrauchszähler der Genauigkeitsklassen 2 und 3.

- **DIN EN 62053-31:** Einrichtungen zur Messung der elektrischen Energie (AC). Teil 31: Impulseinrichtungen für Induktionszähler oder elektronische Zähler (nur Zweidrahtsysteme).
- **DIN EN 60529:** Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code).

Normen für Energiemanagement

- **DIN ISO 50001:** Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung.
- **DIN EN 16247:** Beschreibt die Anforderungen an ein Energieaudit, das kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) in die Lage versetzt, ihre Energieeffizienz zu verbessern und den Energieverbrauch zu reduzieren.
- **DIN EN 16247-1:** Energieaudits – Teil 1: Allgemeine Anforderungen; Möglichkeit für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) im Sinne der Empfehlung 2003/361/EG der Europäischen Kommission, die Anforderungen des Strom- und des Energiesteuergesetzes für den Spitzenausgleich zu erfüllen.

Weidmüller – Ihr Partner der Smart Industrial Connectivity

Als erfahrene Experten unterstützen wir unsere Kunden und Partner auf der ganzen Welt mit Produkten, Lösungen und Services im industriellen Umfeld von Energie, Signalen und Daten. Wir sind in ihren Branchen und Märkten zu Hause und kennen die technologischen Herausforderungen von morgen. So entwickeln wir immer wieder innovative, nachhaltige und wertschöpfende Lösungen für ihre individuellen Anforderungen. Gemeinsam setzen wir Maßstäbe in der Smart Industrial Connectivity.

Wir können nicht ausschließen, dass in unseren Druckschriften oder in Software, die zu Bestellzwecken dem Kunden übergeben wird, Fehler enthalten sind. Wir sind bemüht, solche Fehler, sobald sie uns bekannt werden, zu korrigieren.

Für alle Bestellungen gelten unsere allgemeinen Lieferbedingungen, die Sie auf der Internetseite unseres Gruppenunternehmens, bei dem Sie Ihre Bestellung aufgeben, einsehen können und die wir Ihnen auf Wunsch auch gerne zusenden.

Weidmüller Interface GmbH & Co. KG
Klingenbergstraße 26
32758 Detmold, Germany
Telefon +49 5231 14-0
Telefax +49 5231 14-292083
www.weidmueller.de

Persönlichen Support
finden Sie im Internet unter:
www.weidmueller.de/kontakt

Made in Germany/04/2016/SMKW