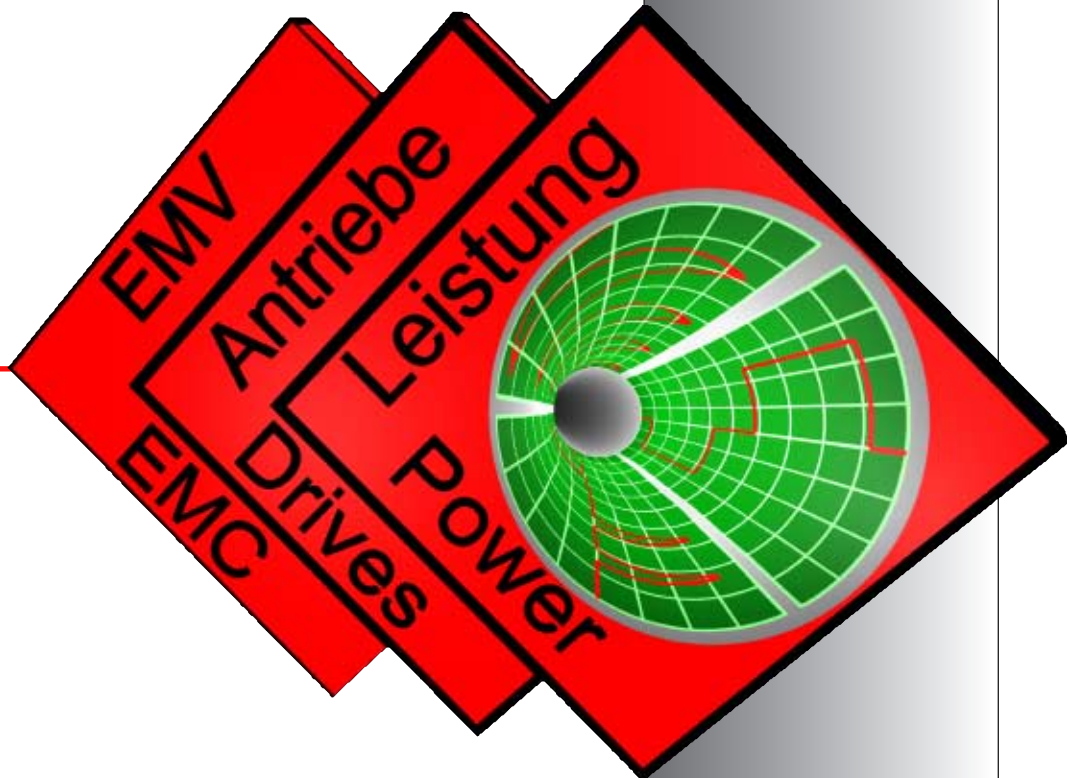




**STEINBEIS-TRANSFERZENTRUM**  
**FERTIGUNGSAUTOMATISIERUNG UND EMV**  
**GEISLINGEN**



**STEINBEIS-TRANSFERZENTRUM**  
**FERTIGUNGSAUTOMATISIERUNG UND EMV GEISLINGEN**

Südmährer Straße 13  
D-73312 Geislingen

**Leiter :** Prof. Dipl.-Ing. Ludwig Kolb

Telefon : +49/7331/961724

Telefax : +49/7331/961766

E-Mail : [info@power-e.de](mailto:info@power-e.de)

Internet : <http://www.power-e.de>

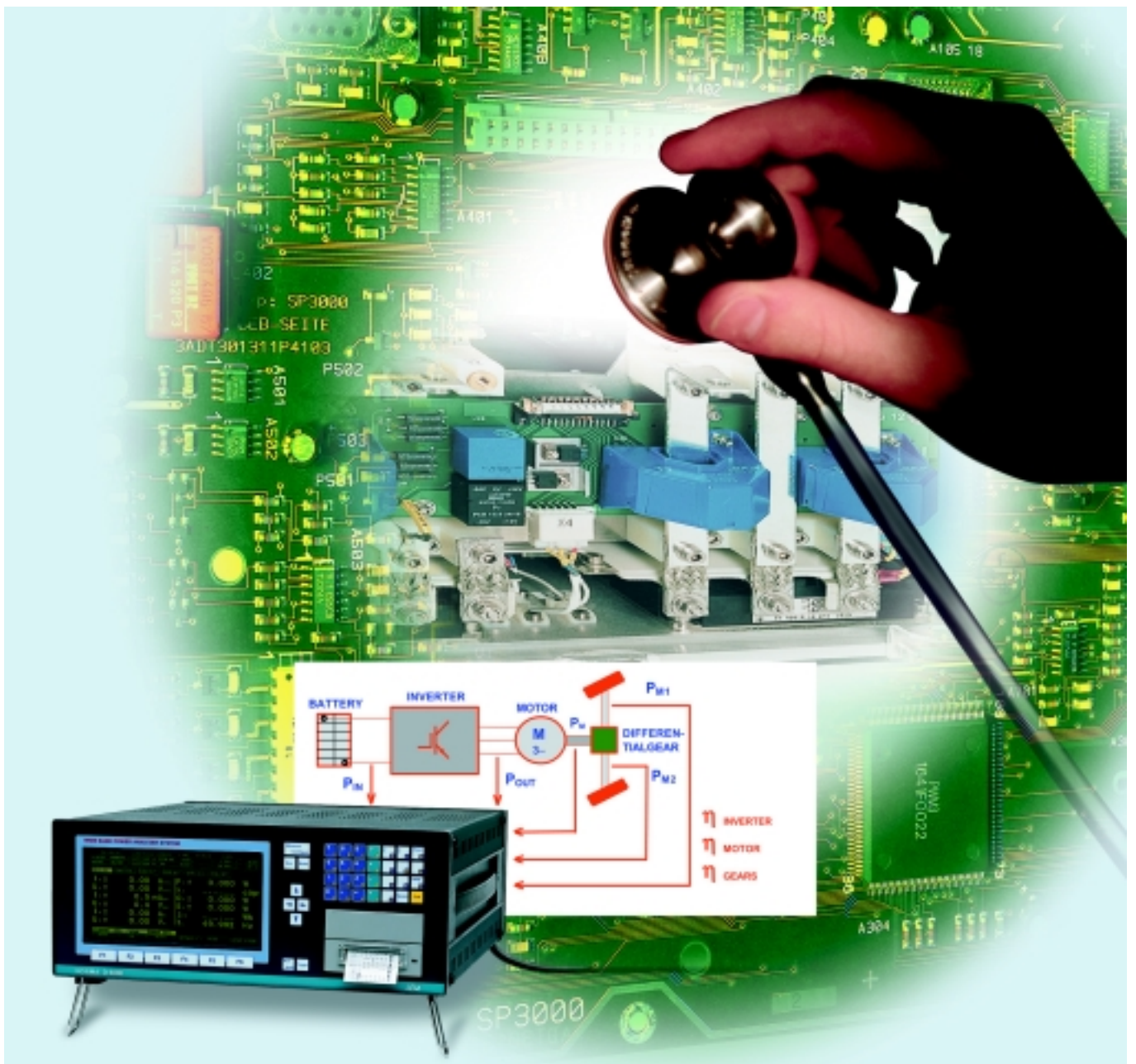




# LEM Deutschland GmbH Instrumente

Marienbergstraße 78  
D 90411 NÜRNBERG  
Telefon : +49(0)911 955 75 0  
Telefax : +49(0)911 955 75 30  
E-Mail : [postoffice.LDE@LEM.com](mailto:postoffice.LDE@LEM.com)





# Eigenschaften breitbandiger Leistungsanalysatoren

Sonderdruck aus PCIM Europe, Ausgabe 11/2000, Autor Horst Bezold

nischen Eigenschaften es bei einem breitbandigen Leistungsmessgerät ankommt und wie diese Eigenschaften leicht mit wenigen Hilfsmitteln nachgewiesen werden können. Der

Beitrag ist damit als Unterstützung für diejenigen Techniker und Ingenieure zu sehen, welche sich mit der Anschaffung eines Power Analysers für die Entwicklung ihrer Komponenten in der Leistungselektronik und der Antriebstechnik beschäftigen.

## Arbeitsweise digitaler Leistungsmessgeräte

Moderne digitale Leistungsmessgeräte arbeiten - wie Digitaloszilloskope - indem sie das zu messende Signal diskret abtasten. Anders als bei den Oszilloskopen, werden bei Leistungsmessgeräten zur Ermittlung der elektrischen Leistung die Abtastwerte der Signale Spannung und Strom miteinander multipliziert (Bild 1). Um ein richtiges Ergebnis der Leistung sicherzustellen, ist es klar, dass nur Samplewerte miteinander multipliziert werden dürfen, die zu absolut gleicher Zeit aufgenommen werden. Die Integration des berechneten Leistungssamplewerts  $p(t)$  ergibt dann die elektrische Wirkleistung. Die quadratische Mittelung der Abtastwerte von Strom und Spannung resultiert in den Effektivwerten  $U_{RMS}$  und  $I_{RMS}$  und deren Multiplikation mit der Scheinleistung  $S$ . Der Leistungsfaktor PF ergibt sich dann aus dem Quotienten  $P$  durch  $S$ .

$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p(t) dt \quad \text{mit} \quad p(t) = u(t) \cdot i(t)$$

$$S = U_{RMS} \cdot I_{RMS} \quad \text{mit} \quad U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T u^2(t) dt}$$

$$\text{und} \quad I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i^2(t) dt}$$

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

## Signalkurvenformen, Anstiegszeiten und Frequenzbereiche in der Leistungselektronik

Die Bedeutung der gleichzeitigen Abtastung ist bei niederfrequenten, sinusförmigen Signalen noch relativ gering. Eine relative Verschiebung der Signale untereinander durch nicht synchrones Abtasten ist in diesem Fall nur bei sehr kleinen Leistungsfaktoren kritisch, wenn die Verschiebung der Signale zueinander sowie in Richtung von  $90^\circ$  tendiert. Eine weitere Verschiebung durch eine Zeitverzögerung beim Abtasten kann hier praktisch zu beliebigen Fehlern führen. Das Ergebnis für die Wirkleistung ist nicht mehr zu gebrauchen.

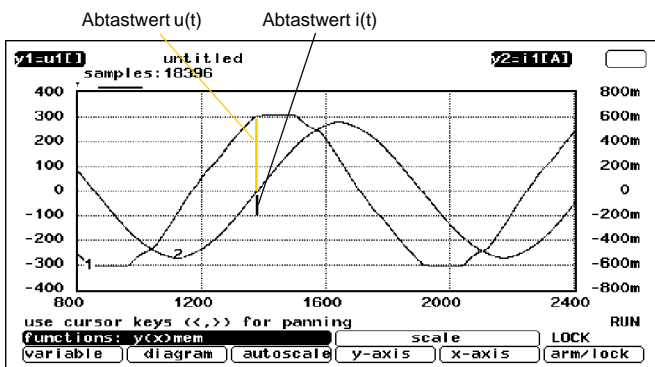


Bild 1: Die Signale  $u(t)$  und  $i(t)$  müssen absolut zeitgleich abgetastet werden. Das Ergebnis ist ein Quasiabtastwert der Wirkleistung  $p(t) = u(t) \cdot i(t)$

Bei steilflankigen bzw. hochfrequenten Signalen in der Leistungselektronik sieht dies anders aus. Spannungs- und Stromkurvenformen sind hier verzerrt und oft sogar rechteckig, d. h. die Amplitude des Signals kann in einem Augenblick maximal und im nächsten schon Null sein. Es ist leicht vorstellbar, dass in diesem Fall ein nicht synchrones Abtasten von Spannung und Strom selbst bei großen Leistungsfaktoren zu hohen Fehlern in der Leistung führen kann.

In Bezug auf synchrones Abtasten und präzise Erfassung der Wirkleistung ist die Antriebstechnik noch relativ unkritisch. Durch Induktivitäten und Kapazitäten in der Motorwicklung ist zumindest der Strom bei dieser Applikation relativ sinusförmig. Da nur Harmonische von Spannung und Strom gleicher Frequenz in einer Wirkleistung resultieren, liegt in der Antriebstechnik ein Großteil der Wirkleistung im Bereich der Grundwellenfrequenz von Strom und Spannung. Diese Frequenz liegt meist im Frequenzbereich unter einem Kilohertz. Auch werden die Komponenten in der Antriebstechnik oft nur in Bezug auf die Effektivwerte der Grundwelle optimiert, da nur diese zu einem nutzbaren Drehmoment an der Motorwelle beitragen. Für eine genaue Betrachtung der Verlustleistung und der Schaltverluste ist ein Messgerät notwendig, das noch präzise im Bereich der Schaltfrequenz des Frequenzumrichters bzw. deren Harmonischen arbeitet. Die Schaltfrequenzen von modernen Umrichtern reichen heute bis etwa 25 kHz. Eine Untersuchung dieser Verluste ist vor allem dann ratsam, wenn der Motorstrom aufgrund geringer Impedanzen der Maschine sehr verzerrt ist. Typische Vertreter solcher Maschinen sind hochdynamische Spindeltriebe oder Fahrtriebe mit hohem Anzugsdrehmoment.

Weit problematischer hinsichtlich der Ermittlung der elektrischen Leistung sind neue hochfrequente Applikationen wie z. B. Ladungspumpen. Ladungspumpen sind hochfrequente Chopperschaltkreise, welche die Batteriespannung moderner Verbraucher wie z. B. Mobiltelefone, verlustarm in ein von der Elektronik nutzbares Signal umwandeln. Die Schaltfrequenzen von Ladungspumpen liegen heute schon bei mehreren hundert Kilohertz.

Die höchsten Frequenzen und extremsten Signale sind derzeit in der Lichttechnik zu finden. Moderne elektronische Leuchtenschaltgeräte arbeiten mit Schaltfrequenzen bis 500 kHz und schon in naher Zukunft wird wohl der MHz-Bereich erreicht werden. Die Impedanz der nachfolgenden Leuchtstoffröhre sorgt für eine ähnliche Verzerrung der Spannungs- und Stromsignale. Auch sind in der Lichttechnik im Vergleich zu den Schaltnetzteilen oder Ladungspumpen die Spannungsamplituden viel höher. Deshalb muss das eingesetzte Messgerät eine ausreichende Gleichtaktunterdrückung auch im Bereich der Schaltfrequenz aufweisen.

## Problematik der Verlustleistungsberechnung an Verbrauchern hoher Effizienz

Moderne, mehrkanalige Leistungsanalysatoren bieten oft die Möglichkeit der Berechnung der Verlustleistung eines Verbrauchers als Differenzmessung aus Eingangs- und Ausgangsleistung. Das Problem dieser Berechnung ist, dass die Genauigkeit des Ergebnisses von der Effizienz des Verbrau-

# Problematik der Verlustleistungsberechnung an Verbrauchern hoher Effizienz

chers abhängig ist. Ein Beispiel soll das verdeutlichen. Bestimmt werden soll die Verlustleistung zweier Verbraucher mit einem Leistungsmessgerät der Genauigkeitsklasse 0,1 durch Differenzmessung. Der erste Verbraucher hat dabei einen Wirkungsgrad von 50 %, der zweite von 95 %. Die Eingangsleistung soll 100 Watt betragen.

## Verbraucher 1

Tatsächliche Werte

Eingangsleistung: 100 W  
Ausgangsleistung: 50 W  
Verluste: 50 W

Gemessene Werte (Worst Case)

Eingangsleistung: 100,1 W  
Ausgangsleistung: 49,9 W  
Verluste: 50,2 W  
Fehler: 0,4 %

## Verbraucher 2

Tatsächliche Werte

Eingangsleistung: 100 W  
Ausgangsleistung: 95 W  
Verluste: 5 W

Gemessene Werte (Worst Case)

Eingangsleistung: 100,1 W  
Ausgangsleistung: 94,9 W  
Verluste: 5,2 W  
Fehler: 4,0 %

Die Verlustleistung wurde in beiden Fällen mit einer Abweichung von 0,2 W ermittelt. Bezogen auf die tatsächlichen Verluste entspricht das bei Verbraucher 1 einer Genauigkeit des Ergebnisses von 0,4 % und bei Verbraucher 2 von 4 %. Die Genauigkeit der Verlustleistungsberechnung ist also von der Effizienz abhängig. In der Leistungselektronik und der Antriebstechnik sind heute eher Wirkungsgrade von 90 % oder 95 % realistisch. Das bedeutet, dass derjenige, der die Verbraucherverluste durch Differenzmessung bestimmen muss, in jedem Fall nach einem Messgerät höchster Genauigkeit Ausschau halten sollte.

## Wichtige Eigenschaften breitbandiger Leistungsmessgeräte und deren Überprüfung

In diesem Abschnitt werden die vier wichtigsten Eigenschaften

- Amplitudengenauigkeit
- Bandbreite
- Phasenwinkelfehler der Eingänge und Wandler
- Gleichtakunterdrückung

von breitbandigen Leistungsmessgeräten erörtert und gezeigt, wie sich die Qualität des Power Analysers überprüfen lässt. Für die Messungen zum Nachweis der Güte werden eine Spannungsquelle (AC oder DC) und ein Frequenzgenerator benötigt. Diese Geräte sollten in jedem Elektroniklabor zur Verfügung stehen.

## Amplitudengenauigkeit

Die nachfolgenden Signalkurvenformen (Bilder 2a - 2c) verdeutlichen die Wichtigkeit einer hohen Amplitudengenauigkeit. Die Amplitudengenauigkeit eines Messgerätes wird als Fehler vom Messwert plus Fehler vom Messbereich (% v. MW + % v. MB) angegeben. Dabei ist die Mess-

bereichsgenauigkeit dann besonders wichtig, wenn sich große Teile des Signals in einem schlecht ausgesteuerten Bereich befinden. Eine automatische Bereichseinstellung wird sich immer auf den Spitzenwert des Signals einstellen.

Zur Überprüfung der Amplitudengenauigkeit wird bei einem mehrphasigen Leistungsmessgerät an zwei Spannungseingängen  $U_1$  und  $U_2$  das Signal einer Spannungsquelle angelegt. In unserem Beispiel sind das 24 Volt DC. Der kleinste Messbereich des Gerätes beträgt  $25 V_{\text{spitze}}$  und der größte  $2100 V_{\text{spitze}}$ . Der beurteilte Analyser bietet die Möglichkeit, durch die Eingabe einer Rechenformel, die Abweichung zwischen beiden Kanälen als Formel F1 auf dem Bildschirm in Prozent anzuzeigen.

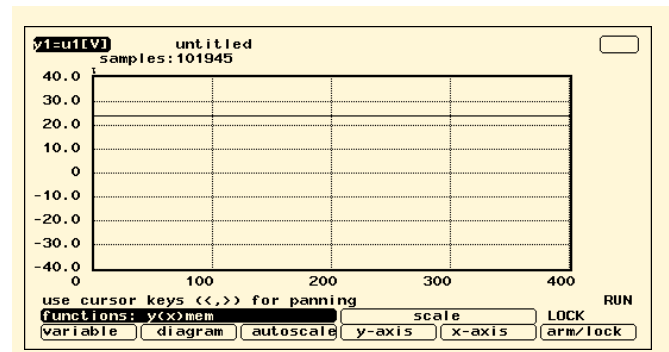


Bild 2a DC-Signal

Die Messbereichsgenauigkeit ist hier weniger wichtig. Alle Abtastwerte liegen im optimal ausgesteuerten Bereich.

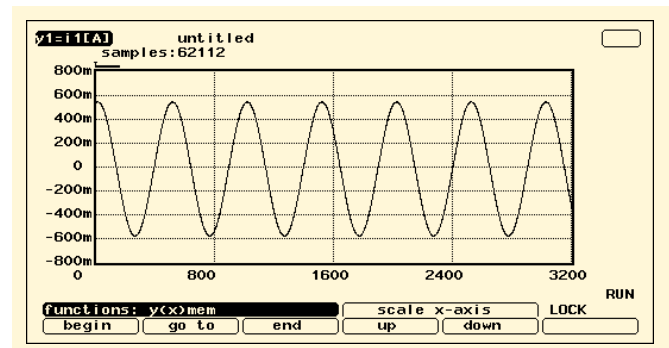


Bild 2b Sinus-Signal

Die Messbereichsgenauigkeit gewinnt an Bedeutung. Viele der Abtastwerte liegen im Bereich der Nulldurchgänge.

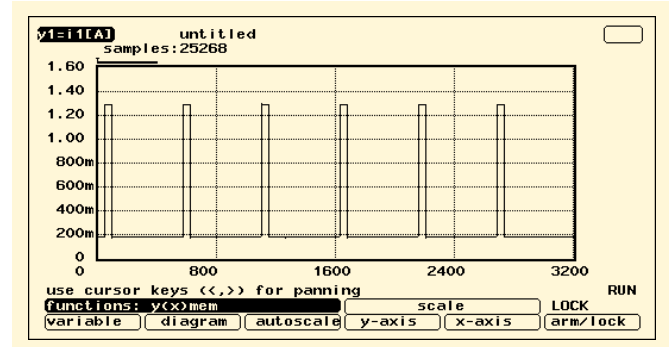


Bild 2c Verzerrtes Signal

Die Messbereichsgenauigkeit kann hier sehr wichtig sein, wenn in diesem Beispiel die Mehrzahl der Abtastwerte sehr schlecht ausgesteuert erfasst werden.

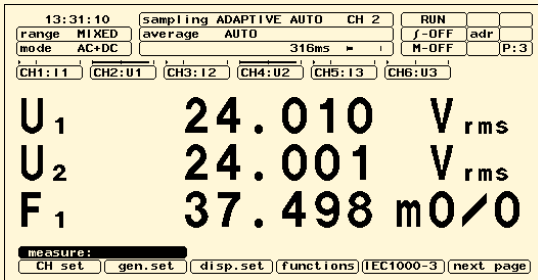


Bild 3a Beide Messbereiche befinden sich in der optimalen Einstellung von 25 V<sub>spitze</sub>. Das Gerät zeigt eine geringfügige Abweichung von wenigen m% zwischen beiden Kanälen. Das liegt daran, dass die Kanäle als unabhängige Messgeräte mit jeweils eigener A/D-Wandlung und eigener Spannungsversorgung ausgelegt sind.

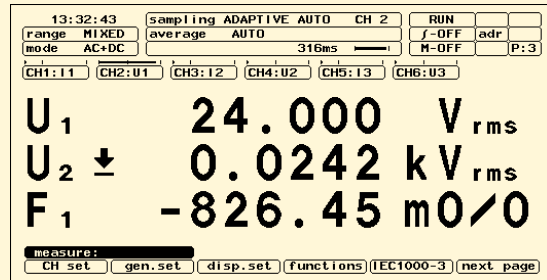


Bild 3b Das gemessene Signal von 24 V entspricht nur ca. 1 % des Messbereichs 2.100 V<sub>spitze</sub> vom Spannungseingang U<sub>2</sub>. Kanal U<sub>1</sub> befindet sich im optimalen Messbereich von 25 V<sub>spitze</sub>. Die Abweichung zwischen beiden Kanälen liegt unterhalb von 1 %. Das Messgerät besitzt eine hervorragende Messbereichsgenauigkeit.

**Bandbreite**

Wie bereits vorher gezeigt, liegen die Schaltfrequenzen leistungselektronischer Applikationen schon heute bei mehreren 100 kHz und der Trend ist steigend. Ein für die Analyse dieser Signale geeignetes Messgerät muss eine ausreichende Bandbreite haben, um alle im Signal auftretenden Frequenzanteile richtig zu erfassen. Die Bandbreite des Messgerätes kann leicht mit Hilfe eines Frequenzgenerators überprüft werden. Dazu stellt man den Generator auf eine feste Amplitude ein – in unserem Fall 10 V – und regelt die Frequenz von einer tiefen Frequenz hoch – hier 10 Hz. Das Gerät sollte zumindest bei einigen hundert Kilohertz noch keine wesentliche Abweichungen vom eingestellten Wert zeigen.

**Phasenwinkelfehler der Eingänge und Wandler**

In der Einführung wurde bereits dargestellt, dass zur Ermittlung der elektrischen Leistung ein Abtastwert  $u(t)$  mit einem Abtastwert  $i(t)$  multipliziert wird. Die Bedeutung einer gleichzeitigen Abtastung und eines minimalen Winkelfehlers der Eingänge ist bei leistungselektronischen Applikationen leicht verständlich. Die Signale können innerhalb von Nano- oder Mikrosekunden von Null auf maximales Potential und wieder zurück springen. Um wirklich zusammengehörende Abtastwerte zu verknüpfen, dürfen weder Eingänge oder eingesetzte Wandler eine zeitliche Verzögerung hervorrufen, noch darf es aufgrund von Laufzeitunterschieden im Analyser zu einer nicht synchronen Abtastung kommen. Man kann den Phasengang der Eingänge bzw. die Synchronität der Abtastung überprüfen, indem man das Ausgangssignal des Frequenz-

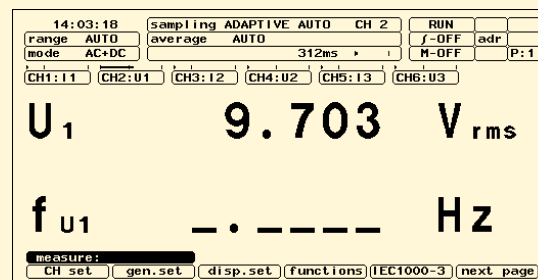
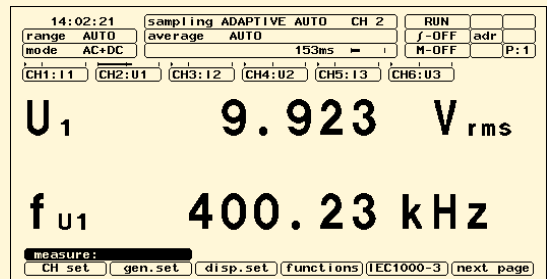
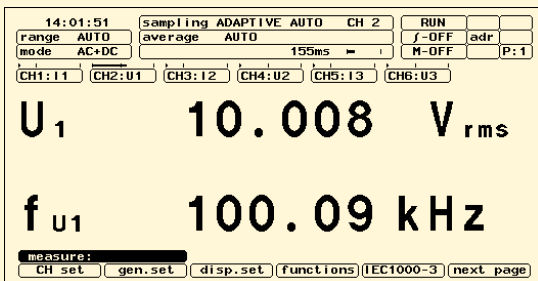
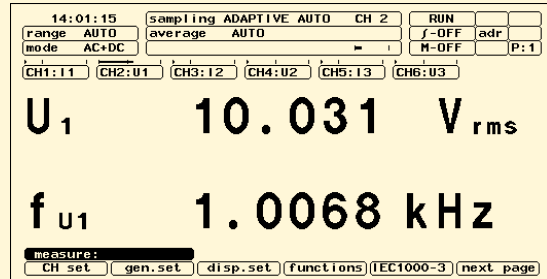
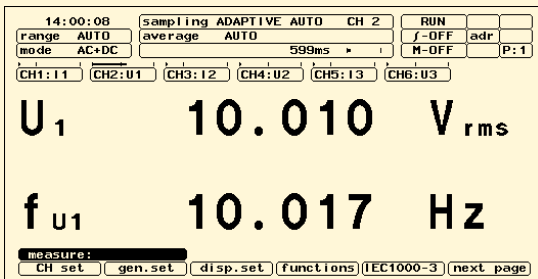


Bild 4 Das Messinstrument zeigt eine sehr hohe Linearität über den gesamten Frequenzbereich. Oberhalb von 400 kHz schaltet beim betrachteten Gerät die Frequenzmessung ab. Der letzte Bildschirm zeigt das Ergebnis bei 1 MHz. Bei 1 MHz ergibt sich eine Abweichung von nur 3 %. Die Bandbreite des Leistungsmessgerätes ist für die bestehenden Leistungselektronikapplikationen vollkommen ausreichend.

## Phasenwinkelfehler der Eingänge und Wandler

generators gleichzeitig an den Spannungseingang und den Stromeingang des Leistungsmessgerätes anschließt. Fast alle Geräte bieten neben einem direkten Stromeingang auch einen Spannungseingang für die Strommessung, um externe Stromwandler anzuschließen. In unserem Fall wurde eine Wechselspannung von 1 V parallel an den Spannungs- und den Stromkanal angelegt. Die Skalierung des Stroms beträgt 1 A/V. Auf dem Bildschirm werden Spannung, Strom, Leistungsfaktor und Phasenverschiebung angezeigt. Da an beiden Kanälen das gleiche Signal anliegt, muss der Leistungsfaktor den Wert 1,0 und der Phasenwinkel genau 0° als Ergebnis anzeigen. Eine Verschiebung zwischen den Signalen darf eigentlich nicht auftreten und kann nur durch den Phasengang der Analogeingänge oder durch ein nicht synchrones Abtasten von U und I hervorgerufen werden. Die Frequenz wird von wenigen Hertz auf mehrere 100 kHz hochgeregelt.

Neben der Phasentreue der Eingänge geht natürlich auch der durch den eingesetzten Stromwandler verursachte Winkelfehler in das Ergebnis der elektrischen Leistung ein.



Bild 6 Breitbandige Koaxialshunts mit hoher Amplitudengenauigkeit und geringem Winkelfehler.

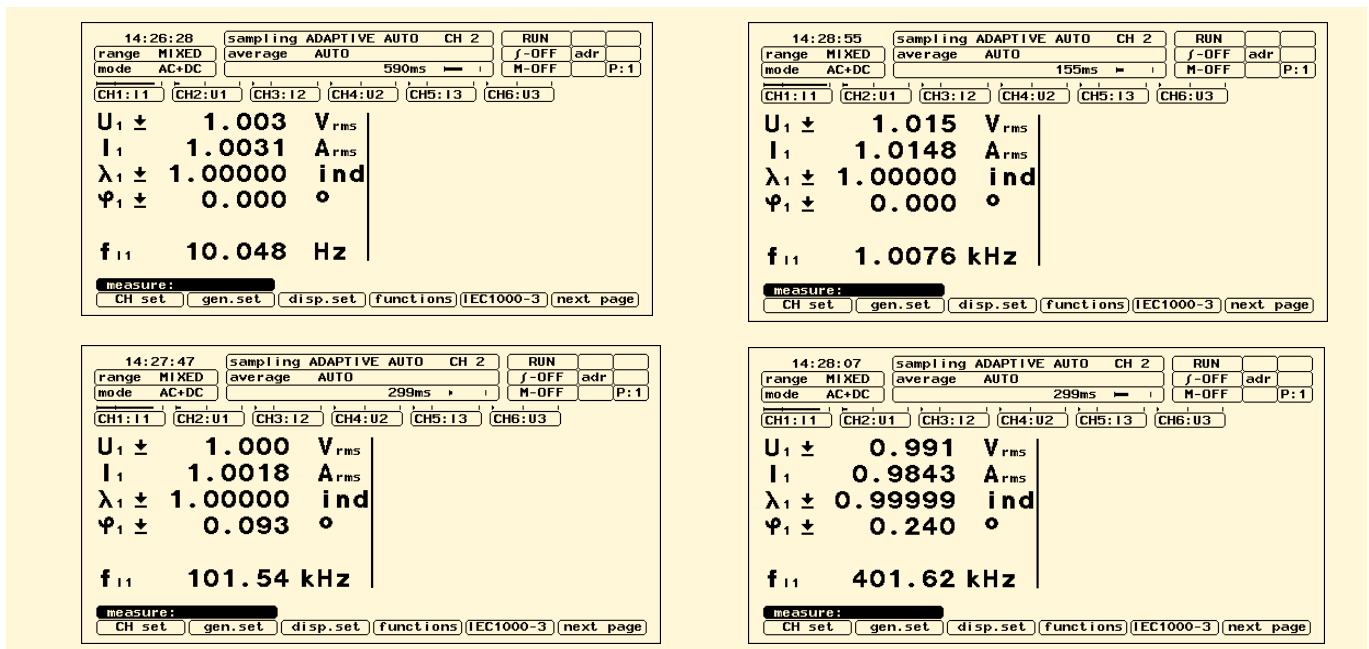


Bild 5 Das Leistungsmessgerät zeigt bei einer Frequenz von 400 kHz eine Phasenverschiebung von weniger als 0,3° zwischen

Hier muss man weitgehend den Angaben der Messgeräte- und Wandlerhersteller vertrauen, da breitbandige Messungen von Spannung, Strom und Leistung nur in wenigen Kalibrierlaboratorien durchführbar sind. Grundsätzlich gilt bei Stromwandlern für Leistungsmessgeräte allerdings: Die höchste Amplitudengenauigkeit und der geringste Winkelfehler sind beim Präzisionskoaxialshunt (Bild 6) zu finden. Diese Bauelemente sind extrem induktivitäts- und kapazitätsarm und damit sehr breitbandig und phasentreu. Darüber hinaus bieten die Shunts den Vorteil, dass es passive Bauteile sind. Ein Offset tritt damit bei den Shunts nicht auf. Selbst ein geringer Offset führt bei kleinen Leistungsfaktoren zu einem sehr hohen Fehler in der Wirkleistung.

### Gleichtaktunterdrückung

Die Gleichtaktunterdrückung ist ein Maß für die Güte des Messgerätes in Bezug auf den Fehler, der durch kapazitive Ableitströme vom Messkreis zum Instrumentengehäuse ver-

spannung und Strom. Der Phasenwinkelfehler des beurteilen Messgerätes ist sehr gering.

ursacht wird. Bei niederfrequenten Applikationen spielt dieser Effekt praktisch keine Rolle. Bei hochfrequenten leistungselektronischen Anwendungen muss gegen diese Ableitströme etwas unternommen werden, da sie zu einem Spannungsabfall auf der LOW-Leitung des Eingangsverstärkers und damit zu einer fehlerhaften Anzeige führen.

Man kann den Fehler, der durch kapazitive Ableitströme verursacht wird, leicht an der eigenen Applikation untersuchen. Als erstes wird dabei eine ganz normale Leistungsmessung mit der Anzeige von U, I und P durchgeführt. Bei der zweiten Messung wird die HIGH-Leitung vom Shunt entfernt und auf die LOW-Leitung gesteckt. Der Shunt befindet sich also immer noch auf Messpotential, sollte aber keinen Spannungsabfall mehr zeigen. Der bei der zweiten Messung angezeigte Strom wurde rein durch den Spannungsabfall auf der LOW-Leitung des Verstärkers hervorgerufen und sollte im Vergleich zum Nennstrom der ersten Messung im unteren Prozent- bis Promillebereich liegen.

# Bedeutung der störungsfreien Erfassung der mechanischen Leistung zur Berechnung des Wirkungsgrads eines frequenzumrichterbetriebenen Elektromotors

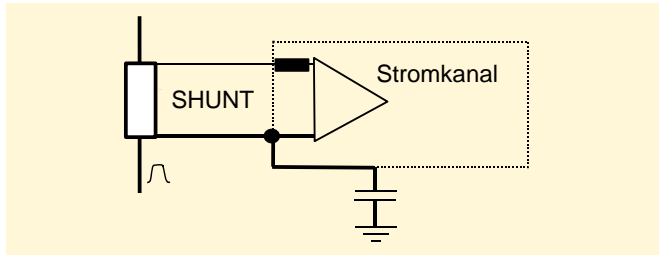


Bild 7 Eingangskreis eines Messgerätes:

Durch die LOW-Leitung des Eingangverstärkers fließt ein hochfrequenter kapazitiver Ableitstrom gegen das Gehäuse des Analysers ab. Bei einer nicht untypischen Kanalkapazität von 0,2 nF und einer Flankensteilheit von 500 V/μs resultiert daraus ein Strom von  $I = C \cdot du/dt = 1 \text{ A}$ . Der Spannungsabfall dieses Stroms auf der LOW-Leitung des Verstärkers führt zur fehlerhaften Anzeige.

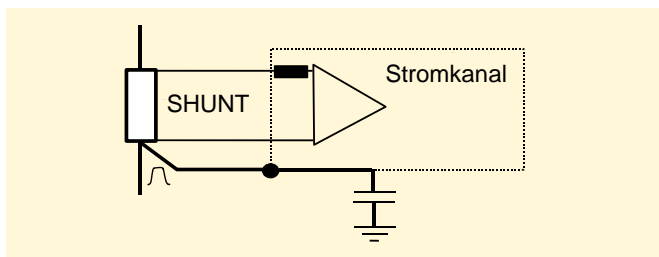


Bild 8 Abhilfe GUARD-Technik

Der GUARD ist ein zweiter Schirm, der auf Shunt-Potential liegt und die Leitungen vom Shunt zum Verstärker und den Eingangskanal abschirmt. Damit fließt zwar immer noch ein Strom zum Gehäuse ab, dieser Strom erzeugt jedoch keinen Spannungsabfall auf der LOW-Leitung des Verstärkers hervor.

## Bedeutung der störungsfreien Erfassung der mechanischen Leistung zur Berechnung des Wirkungsgrads eines frequenzumrichterbetriebenen Elektromotors

Die Problematik der Verlustleistungsberechnung an Verbrauchern hoher Effizienz wurde schon weiter vorn dargestellt. Elektromotoren sind typische Verbraucher hoher Effizienz. Die Wirkungsgrade von Elektromotoren liegen heute im Bereich von 95 %. Auch können die Verluste von Elektromotoren nur durch eine Differenzmessung erfasst werden. Für diese Aufgabe ist also ein Leistungsmessgerät höchster Genauigkeitsklasse zu wählen. Zur Erinnerung: Um bei einem Verbraucher mit einem Wirkungsgrad von 95 % die Verluste mit einer Genauigkeit von 4 % zu berechnen, ist ein Messgerät notwendig, das sowohl die elektrische Leistung als auch die mechanische Leistung mit 0,1 % misst. Die Eigenschaften von Messgeräten zur Messung der elektrischen Leistung wurden hinreichend behandelt. Die Erfassung der mechanischen Leistung erfolgt meist als Analogsignal für das Drehmoment und als Impulssignal für die Drehzahl. Die

16:13:00	sampling ADAPTIVE AUTO	CH 5	RUN	
range MANUAL	average AUTO		f-OFF	adr
mode AC+DC		1.2 s	M-OFF	P:1
CH1: I1	CH2: U1	CH3: I2	CH4: U2	CH5: I3
I1	0.4145	A <sub>rms</sub>	P1	0.01126 kW
U1	142.35	V <sub>rms</sub>	P2	0.01505 kW
I2	0.4382	A <sub>rms</sub>	P3	0.01163 kW
U2	142.86	V <sub>rms</sub>	P	0.03794 kW
I3	0.4469	A <sub>rms</sub>	λ	0.20468 ind
U3	142.63	V <sub>rms</sub>	f <sub>U3</sub>	72.972 Hz
general set: average A		time interval		
manual		up down next page		

Bild 9a Dreiphasige Spannungs-, Strom-, und Leistungsmessung am Ausgang eines Frequenzumrichters

16:14:36	sampling ADAPTIVE AUTO	CH 2	RUN	
range MANUAL	average AUTO		f-OFF	adr
mode AC+DC		326ms	M-OFF	P:1
CH1: I1	CH2: U1	CH3: I2	CH4: U2	CH5: I3
I1	0.0000	A <sub>rms</sub>	P1	0.00000 W
U1	142.44	V <sub>rms</sub>	P2	0.00000 W
I2	0.0000	A <sub>rms</sub>	P3	0.00000 W
U2	142.81	V <sub>rms</sub>	P	0.00000 W
I3	0.0000	A <sub>rms</sub>	λ	cap
U3	142.62	V <sub>rms</sub>	f <sub>U2</sub>	72.957 Hz
general set: average A		time interval		
manual		up down next page		

Bild 9b Messung an der gleichen Last. Hier wird die HIGH-Leitung vom Shunt entfernt und auf die LOW-Leitung gelegt. Der Shunt liegt auf Potential, wird aber nicht mehr vom Strom durchflossen. Das Ergebnis bei Strom und Leistung ist Null. Die Gleichaktunterdrückung ist vollkommen ausreichend für diese Applikation.

Messung beider Signale ist unproblematisch. Eine Herausforderung tritt aber auf, wenn die Leitung, die das analoge Drehmomentsignal von der Messwelle zum Messgerät trägt, in EMV-verschmutzter Umringerumgebung liegt. Durch Einstrahlungen kann dann leicht ein Offset entstehen, der eine Genauigkeit von 0,1 % für die mechanische Leistung nicht mehr zulässt. Einige Hersteller von Drehmomentmesswellen bieten deshalb inzwischen auch Impulsausgänge für das Drehmoment an. Auch Hersteller von Power Analysern haben reagiert und können Impulssignale für Drehzahl und Drehmoment auswerten. Die Genauigkeit der Impulseingänge im Gerät liegt bei ca. 0,025 %.

Drehmomentmesswellen sind bis zu einer Genauigkeit von 0,05 % verfügbar. Durch die Vereinigung der geeigneten Messwelle mit dem passenden Leistungsmessgerät kann auch in EMV-verschmutzter Umringerumgebung eine Verlustleistungsberechnung an einem Elektromotor mit ausreichender Genauigkeit durchgeführt werden.



LEM Instruments  
 Palmersstraße 2, A-2351 Wiener Neudorf  
 Tel. +43/22 36/691-0, Fax +43/22 36/624 74  
 e-mail: lno@lem.com, http://www.lem.com

