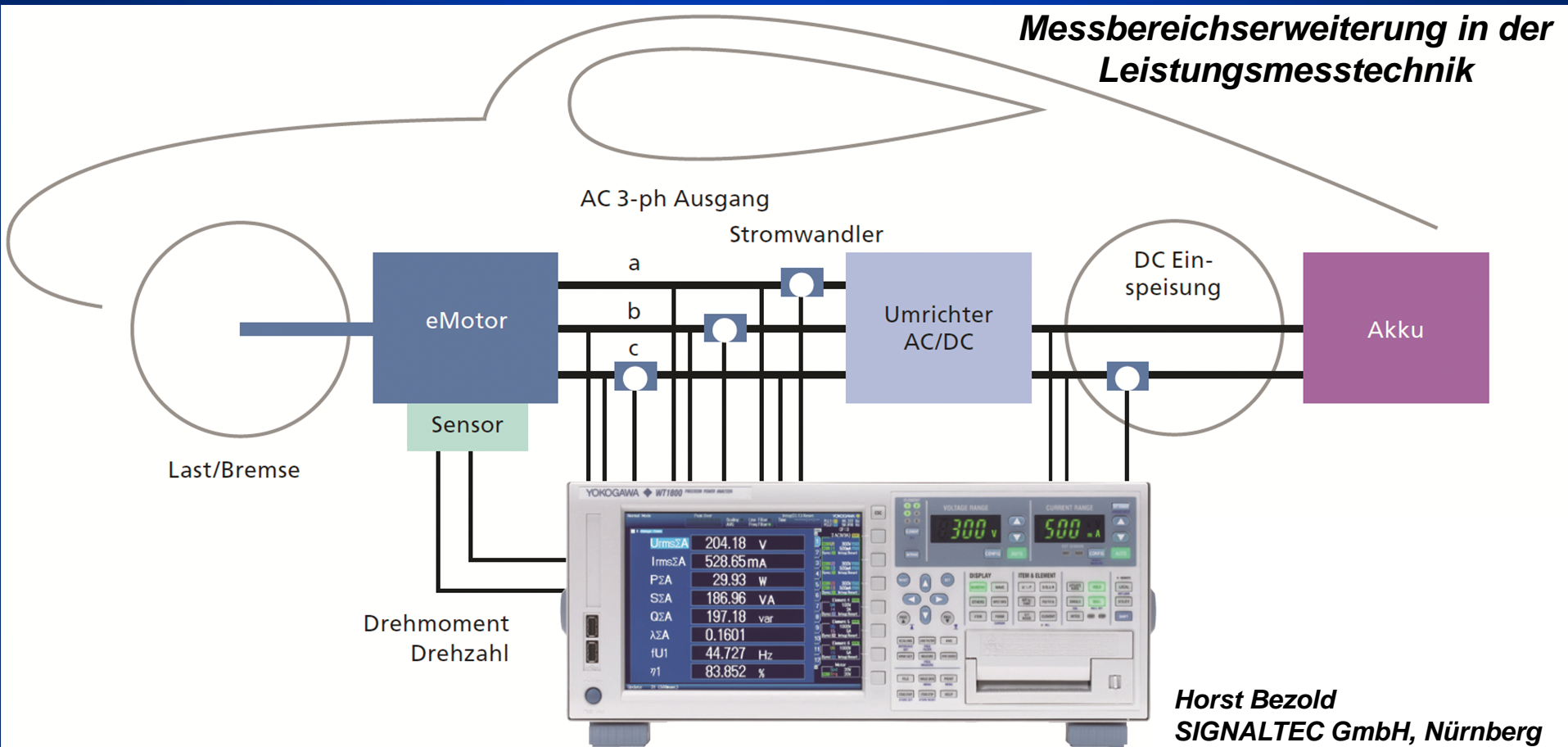


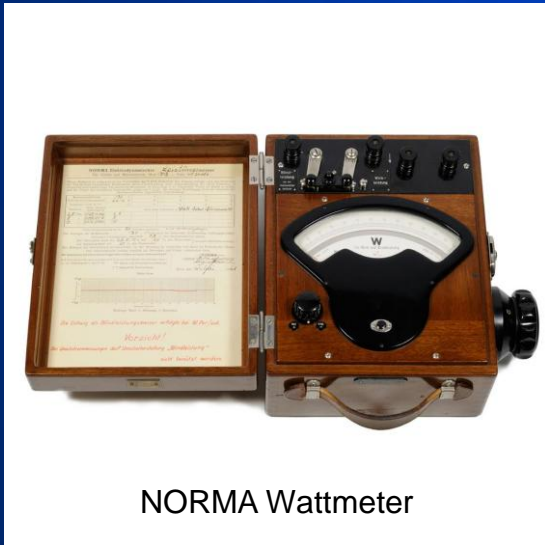
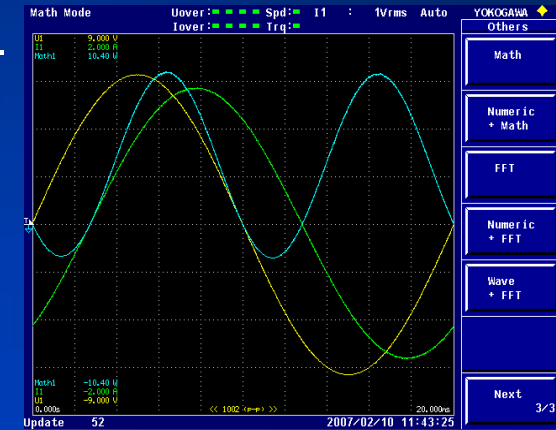
Messbereichserweiterung in der Leistungsmesstechnik



Warum sind unsere Stromwandler so verbreitet in der Leistungsmesstechnik ?

Die präzise Messung von
Strom und Leistung am
Frequenzumrichter Ausgang
ist ohne die
Nullflusstromwandler
(beinahe) unmöglich !

Bis in die 1960er Jahre war die Leistungsmesstechnikwelt in Ordnung. Analysiert wurden meist nur lineare Verbraucher, beispielsweise Elektromotoren oder Transformatoren.



NORMA Wattmeter



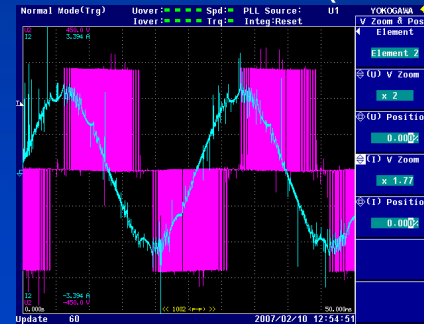
RITZ Stromwandler

Die elektrische Leistung wurde mit elektrodynamischen Drehspulmesswerken und transformatorischen Stromwandlern gemessen.

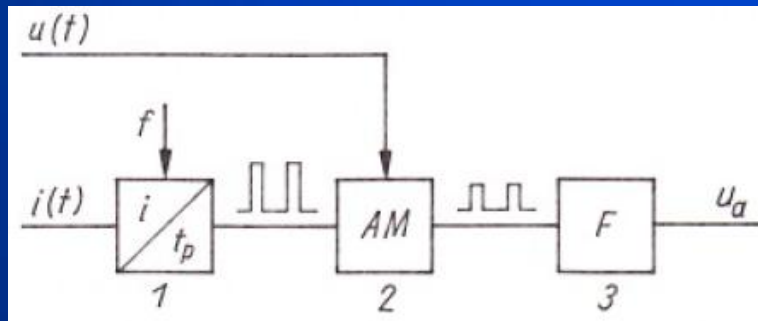
1968 kam der erste Frequenzumrichter auf den Markt (DANFOSS VLT)



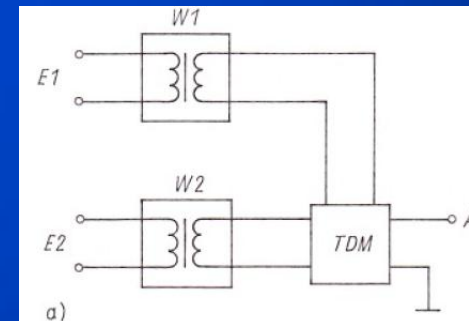
Foto: Danfoss



Elektrodynamische Messwerke waren für FU's wegen er geringe Bandbreite ungeeignet. Die erste Analyse erfolgte nach dem TDM-Verfahren.



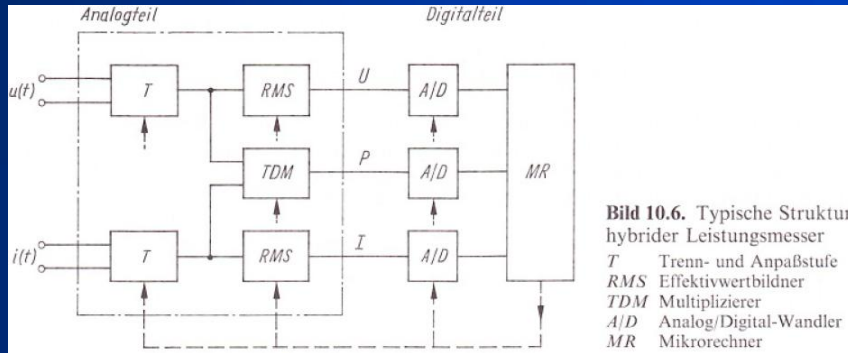
Time-Division-Multiplizierer



Signaltrennung bei TDM-Verfahren

Aufgrund der fehlenden galvanischen Trennung von U und I beim TDM-Verfahren scheiterte die breitbandige Leistungsmessung meist an verfügbaren Wandlern.

Die Messgeräte waren im praktischen Einsatz meist als hybride Systeme ausgelegt mit analogen Effektivwertbildnern für U_{rms} und I_{rms} und dem TDM-Verfahren für P . Danach erfolgte die Digitalisierung der analogen Gleichsignale. Hierdurch konnten auch die Größen S , $\cos\varphi$, φ , Q , usw. berechnet werden.



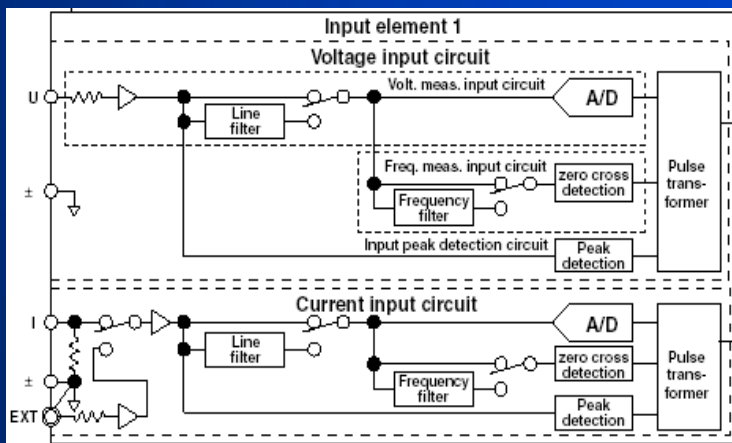
Hybridsystem für U , I , P , S , Q , λ



NORMA D5155 (AC)

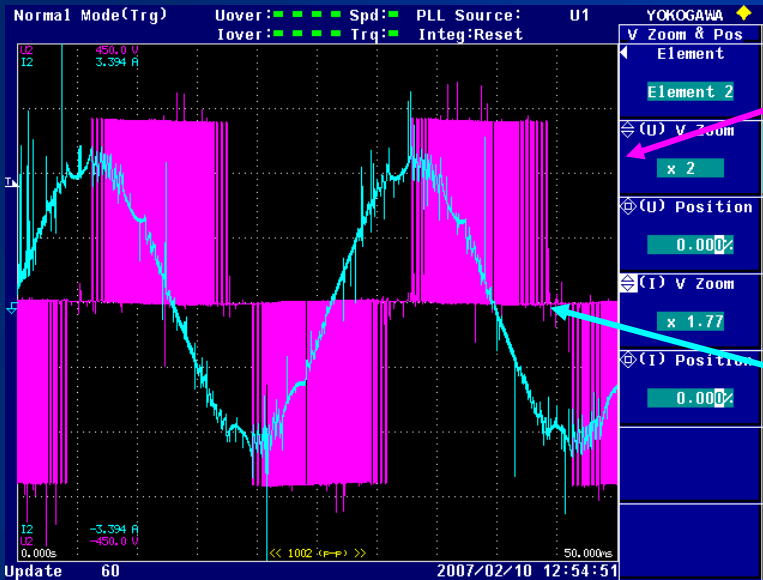


YOKOGAWA 2533 (AC + DC)



Leistungskanal YOKOGAWA WT3000

Ab ca. 1990 gab es dann die ersten volldigitalen Systeme mit galvanische getrennten Eingangskanälen. Die Hochstrommessung erfolgte meist über externe Koaxialshunts.

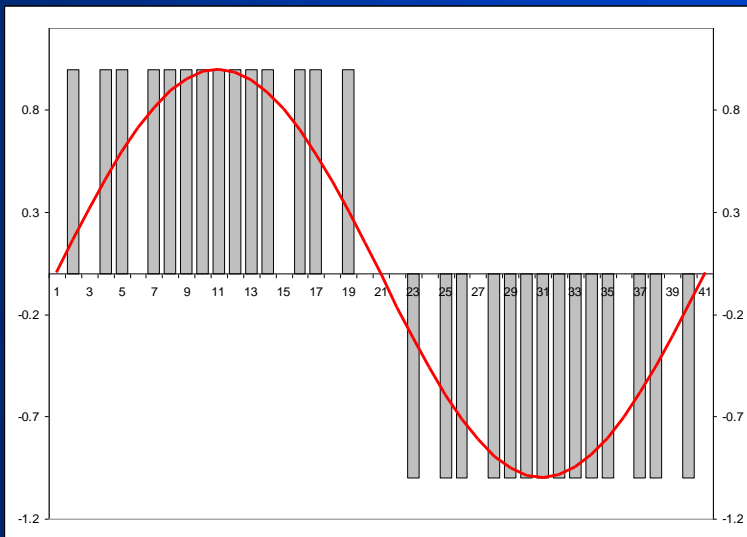


Umrichterspannung $u(t)$

Zwischenkreisspannung $\sim 500\text{ V}$

Anstiegszeit $\sim 10.000\text{ V}/\mu\text{s}$

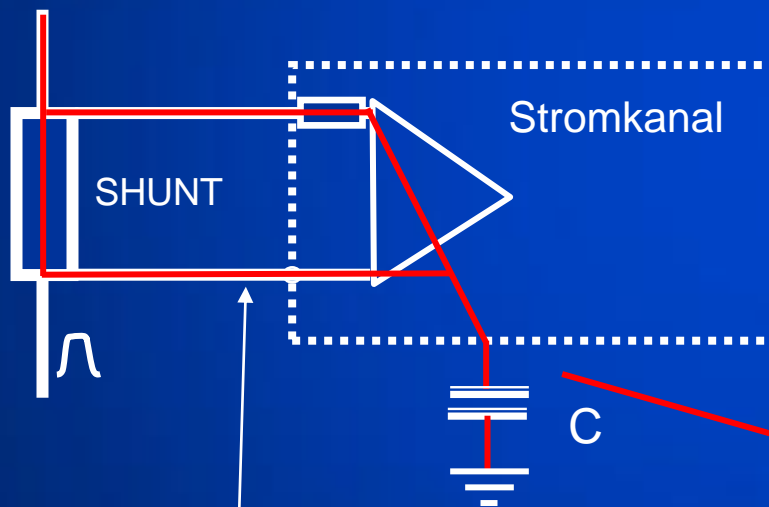
Motorstrom $i(t)$, beinahe sinusförmig



Probleme durch Gleichtaktstörungen (HF Ströme gegen Masse)

Beispiel Leistungsmessung mit „externen“ Hochstromshunts:

- Spannungsabfall an Shunt meist nur wenige mV
- Strom durch Shunt zwar annähernd sinusförmig doch liegt Shunt auf springendem Umrichterpotential



Der Spannungsabfall des Gleichtaktstroms verfälscht das Messergebnis

Bei einer typischen Anstiegszeit von du/dt von $10\text{kV}/\mu\text{s}$ und einer typischen Kanalkapazität gegen Gehäuse von $0,1\text{ nF}$ resultiert ein Gleichtaktstrom von:

$$I = C \cdot du / dt$$

$$I = 0,1 \cdot 10^{-9} \cdot 10000 / (1 \cdot 10^{-6})$$

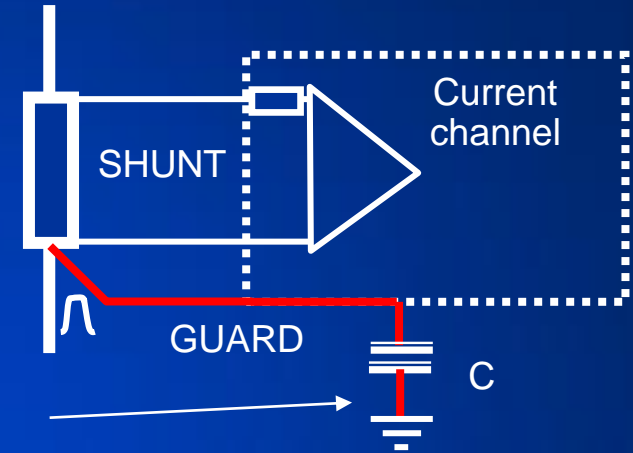
$$I = 1\text{ A}_{pk}$$

Durch die parasitären Kapazitäten im Messgerät kommt es zu hochfrequenten kapazitiven Ableitströmen (Gleichtaktstörung).

Abhilfe:

- Früher – Zusätzlicher Schirm (GUARD-Technik)

Der größte Teil des Gleichstromes fließt über den Zusatzschirm direkt zum Messgerätegehäuse ab. Er beeinflusst das Ergebnis nicht.



- Heute – Verwendung von galvanisch getrennten Präzisionswandlern (DCCT) mit geringer Koppelkapazität



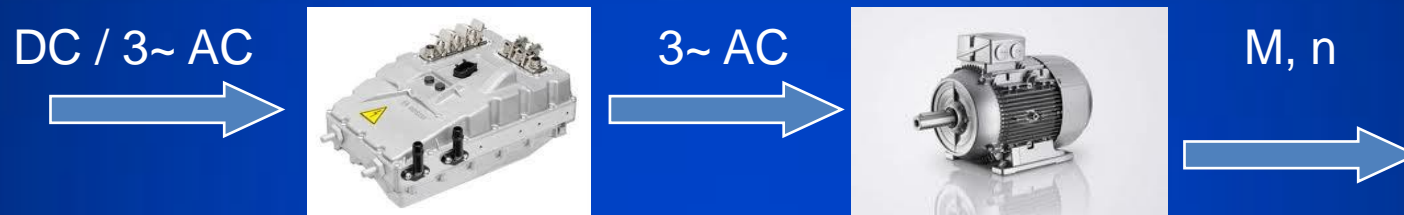
Die internen Shunts im Leistungsmessgeräte sind bezüglich des Gleichtakteinflusses wesentlich unproblematischer. Der Spannungsabfall ist vergleichsweise groß und die Leitungen zwischen Shunt und Eingangsverstärker nur wenigen Millimeter lang.

Grundlagen

Leistungsmesstechnik

Warum ist es so wichtig die Leistung mit größtmöglicher Genauigkeit zu messen?

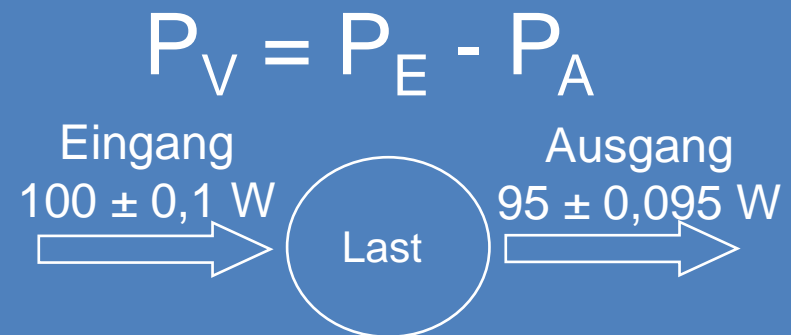
1. Die Berechnung von Umrichter- und Motorverlusten ist eine **differenzielle Messung**. Verluste können nicht direkt gemessen werden.
2. Die Wirkungsgrade von Umrichtern und Motoren sind meist sehr hoch (> 90 %)



Beispiel: Genauigkeit der Verlustmessung bei

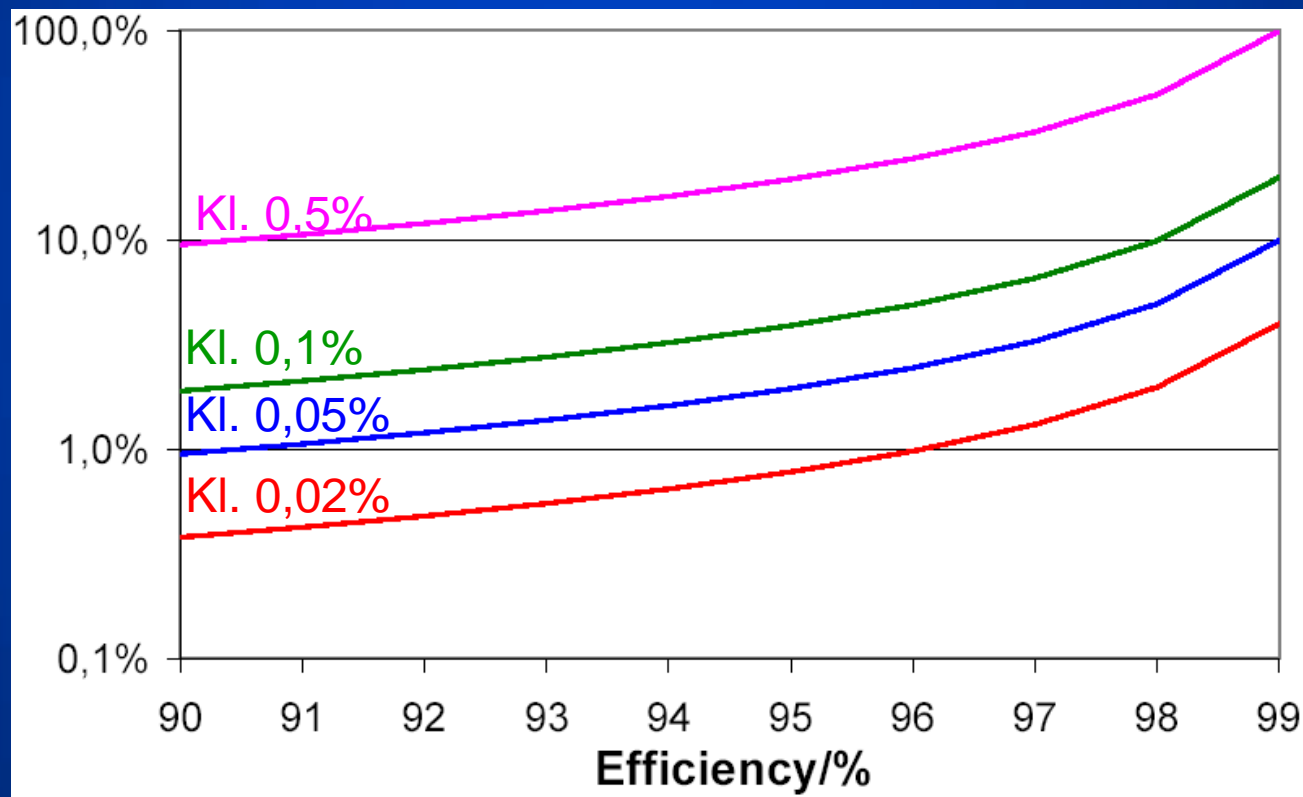
- 95 % Wirkungsgrad
- Eingangsleistung 100 W
- **Leistungsmessgenauigkeit 0,1 %**

Ergebnis (Worst Case)
 Wahrer Wert: 5 W
 Messergebnis: 4,805 W ... 5,195 W
Fehler für Verluste: 3,9 %



→ **Verlustberechnung erfordert eine Messkette höchster Präzision**

Genauigkeit der Verlustmessung in Abhängigkeit von Wirkungsgrad und Messgerätefehler (Worst Case)



→ Verlustberechnung erfordert eine Messkette höchster Präzision

AKL_102345_121212.doc

WT1800, Precision Power Analyzer; Serien-Nr.: 91L323761

AKL Messtechnik

85757 Karlsfeld, Dieselstrasse 9

Kalibrierprotokoll

Leistung (L1)								
Bereich	Frequenz	Einstellung	PF	Sollwert	Istwert	Toleranz	Abw.	MU
300 V / 1 A	53 Hz	300 V / 1 A	0,50 ind	150,00 W	150,00 W	0,38 %	0,00 %	0,02 W
		300 V / 1 A	0,50 cap	150,00 W	149,98 W	0,38 %	-0,01 %	0,02 W
		300 V / 1 A	0,10 ind	30,00 W	30,01 W	1,22 %	0,03 %	0,01 W
		300 V / 1 A	0,10 cap	30,00 W	30,00 W	1,22 %	-0,01 %	0,01 W
		300 V / 1 A	0,05 ind	15,00 W	15,00 W	2,25 %	0,03 %	0,01 W
		300 V / 1 A	0,05 cap	15,00 W	15,00 W	2,25 %	-0,01 %	0,01 W
		300 V / 1 A	0,01 ind	3,00 W	3,00 W	10,45 %	0,06 %	0,01 W
		300 V / 1 A	0,01 cap	3,00 W	2,99 W	10,45 %	-0,33 %	0,01 W
		100 V / 5 A	53 Hz	100 V / 2 A	1,00	200,00 W	200,01 W	0,28 %
100 V / 4 A	1,00			400,00 W	400,01 W	0,21 %	0,00 %	0,04 W
100 V / 5 A	1,00			500,00 W	500,00 W	0,20 %	0,00 %	0,05 W
100 V / 6 A	1,00			600,00 W	599,97 W	0,19 %	-0,01 %	0,05 W
100 V / 5 A	53 Hz	20 W / 5 A	1,00	100,00 W	100,00 W	0,40 %	0,00 %	0,01 W
		40 W / 5 A	1,00	200,00 W	200,01 W	0,28 %	0,00 %	0,02 W
		60 W / 5 A	1,00	300,00 W	300,00 W	0,23 %	0,00 %	0,03 W
		80 W / 5 A	1,00	400,00 W	399,98 W	0,21 %	-0,01 %	0,04 W
		100 W / 5 A	1,00	500,00 W	500,00 W	0,20 %	0,00 %	0,05 W
		120 W / 5 A	1,00	600,00 W	599,99 W	0,19 %	0,00 %	0,05 W

AKL_102490_130223.doc

IT 1000-S/SP1, Stromwandler; Serien-Nr.: 1123130021

AKL Messtechnik

85757 Karlsfeld, Dieselstrasse 9

Kalibrierprotokoll

Wechselstrom							
Messbereich	I	Sollwert	Messwert	Toleranz	Abweichung	MU	Bemerkung
I rms	% In	I rms	I rms				
1000 A / 1 A	100	1000,000 A	999,993 A	0,007 %	-0,001 %	0,088 A	
	80	800,000 A	799,997 A	0,008 %	0,000 %	0,070 A	
	60	600,000 A	599,998 A	0,009 %	0,000 %	0,053 A	
	40	400,000 A	399,998 A	0,013 %	-0,001 %	0,035 A	
	20	200,000 A	200,002 A	0,023 %	0,001 %	0,018 A	
	10	100,000 A	100,003 A	0,043 %	0,003 %	0,010 A	
	5	50,000 A	50,003 A	0,083 %	0,006 %	0,005 A	
Winkelfehler							
Messbereich	I	Sollwert	Messwert	Toleranz	Abweichung	MU	Bemerkung
	% In						
1000 A / 1 A	100	0,00 min	-0,02 min	0,75 min	-0,02 min	0,55 min	
	80	0,00 min	-0,03 min	0,75 min	-0,03 min	0,55 min	
	60	0,00 min	-0,03 min	0,75 min	-0,03 min	0,55 min	
	40	0,00 min	-0,03 min	0,75 min	-0,03 min	0,55 min	
	20	0,00 min	-0,01 min	0,75 min	-0,01 min	0,55 min	
	10	0,00 min	0,22 min	0,75 min	0,22 min	0,64 min	
	5	0,00 min	0,33 min	0,75 min	0,33 min	0,64 min	

WT1800 Kalibrierprotokoll (Rekalibrierung nach 2 Jahren)
Typischerweise 20 mal genauer als Datenblatt

MCTS 1000 Kalibrierprotokoll, Fehler -0,001 % bei
Vollaussteuerung, < 0,006 bei 5 % Aussteuerung

Ein störsicherer Aufbau des Prüfstandes ist oft wichtiger als die Genauigkeit der eingesetzten Messtechnik

YOKOGAWA



Leistungsmessgeräte

SIGNALTEC



Stromwandlersysteme

AKL



Kalibrierlabor

Zusammen bieten wir nicht nur präzise Leistungsmesssysteme bis in den MW-Bereich, wir können die Genauigkeit auch nachweisen.

Was ist ein elektrisches Watt?

$$P = 1/T \cdot \int_0^T p(t) dt$$

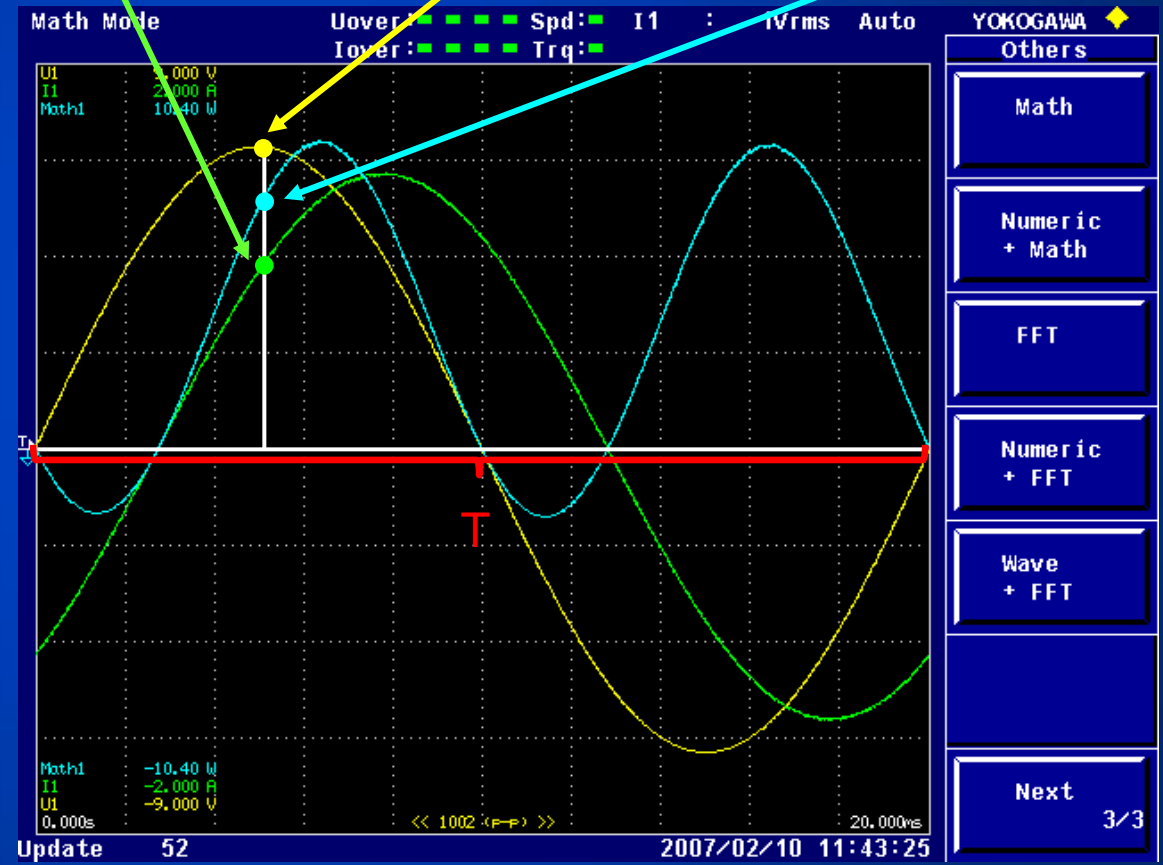
mit $p(t) = u(t) \cdot i(t)$

Abtastwert $i(t)$ Abtastwert $u(t)$ Rechenwert $p(t)$

Die beiden Signale $u(t)$ und $i(t)$ müssen absolut zeitgleich abgetastet und multipliziert werden.

Die Genauigkeit der Wirkleistung ist abhängig von:

- Genauigkeit der Abtastwerte
- Zeitverzug (Winkelfehler) zwischen U- und I-Abtastung
- Fehler bei Bestimmung des Mittelungsintervalls T



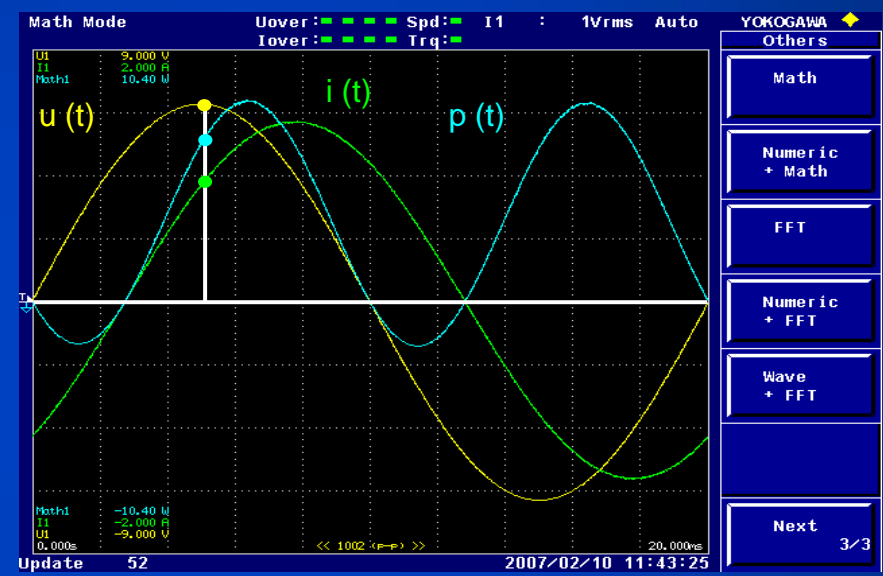
Winkelfehlereinfluss

Ein Winkelfehler des Messsystems resultiert in einem falschen Phasenwinkel φ
 → Wirkleistungsfehler

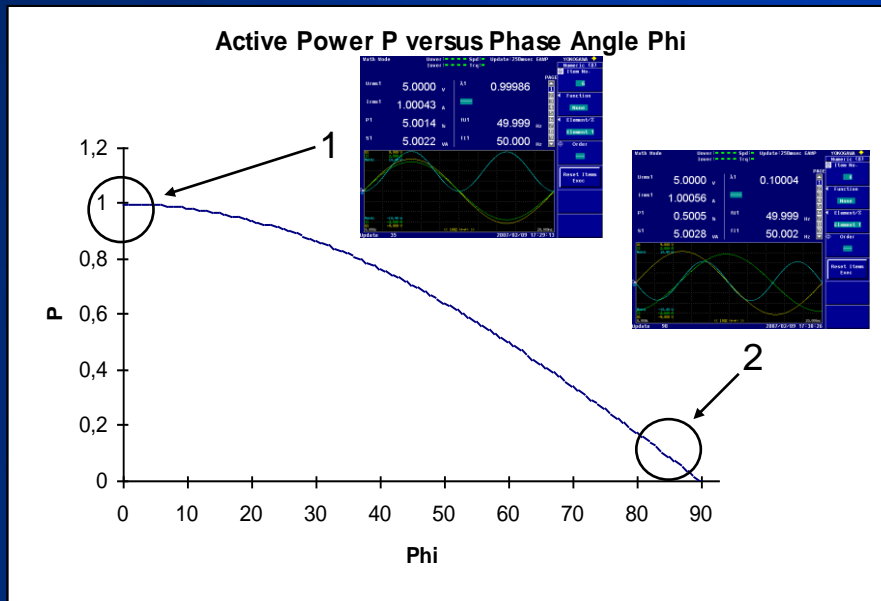
$$P = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T p(t) dt$$

mit

$$p(t) = u(t) \cdot i(t)$$



Problem: Je niedriger der tatsächliche Leistungsfaktor, umso größer ist der Einfluss des Winkelfehlers



Bereich 1 ($PF = 1,0$, $\varphi = 0^\circ$):

Winkelfehler von $0,1^\circ$ verschiebt φ von 0° auf $0,1^\circ$

$$\cos(0,1^\circ) = 0,9999985$$

→ Leistungsfehler: 0,000015 %

Bereich 2 ($PF = 0,1$, $\varphi = 84,261^\circ$):

Winkelfehler von $0,1^\circ$ verschiebt φ von $84,261^\circ$ auf $84,361^\circ$

$$\cos(84,361^\circ) = 0,0983$$

→ Leistungsfehler: 1,7 %

Beispiel: Der gleiche Winkelfehler des Messgeräts oder Wandlers von $0,1^\circ$ resultiert bei Leistungsfaktor 0,1 in einem 100.000 mal größeren Leistungsfehler als bei Leistungsfaktor 1.

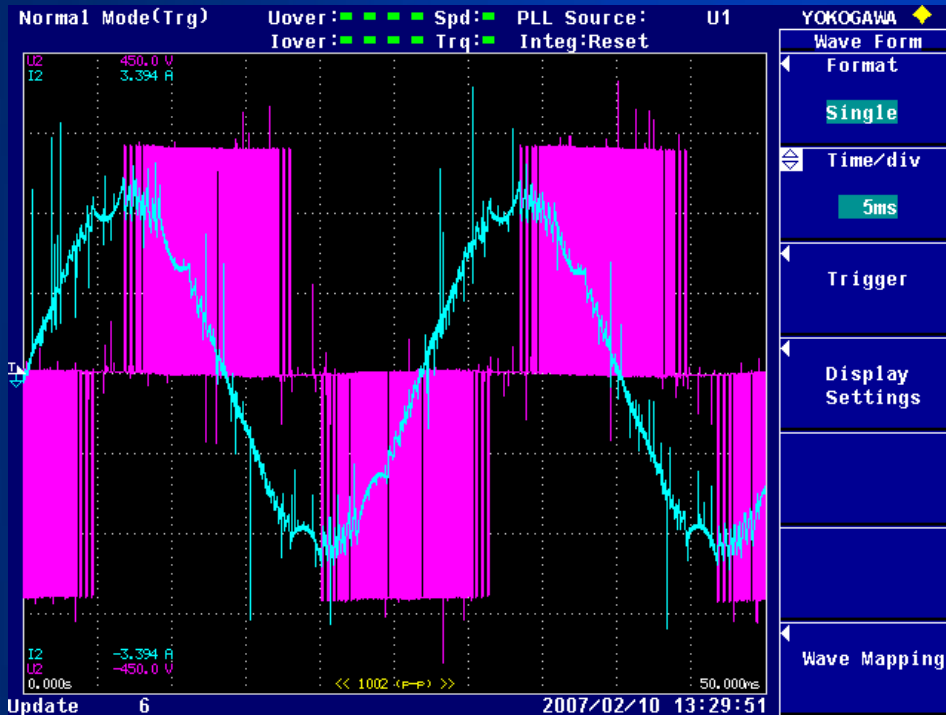
DC im Zwischen- bzw. Batteriekreis

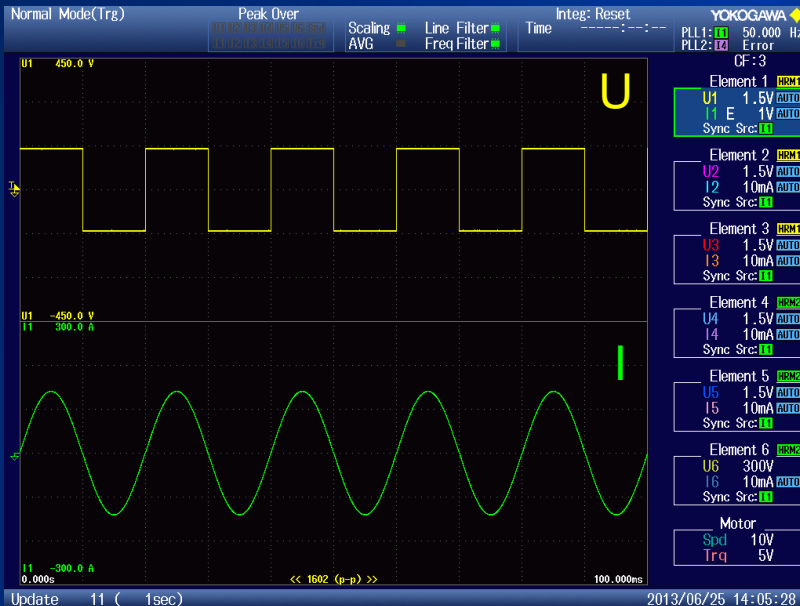
< 1 Hz bis > 2 kHz Grundfrequenz

Einige kHz bis ca. 20 kHz Schaltfrequenz

Einige MHz in der Spannungsflanke

Wegen der Motorimpedanz ist I weniger verzerrt als U





Wegen der Motorimpedanz ist I weniger verzerrt als U.

Nur Harmonische gleicher Ordnungszahl (Frequenz) resultieren in Wirkleistung.



Die Grundfrequenzanteile der Leistung liegen meist deutlich über 90 %.

Ein Leistungsmesssystem für FU's sollte möglichst präzise im Bereich DC bis ca. 2 kHz messen und die Schaltfrequenz und deren Harmonische bis ca. 50 kHz erfassen.

Messbereichserweiterung mit Sensoren

Typischerweise messen digitale Leistungsanalytoren direkt bis 1000 V (aus Sicherheitsgründen) und bis einige 10 A (aus thermischen und verdrahtungstechnischen Gründen).

Für die Messbereichserweiterung sind präzise und breitbandige Spannungs- und Stromwandler einzusetzen.

Im Bereich der Strommessung ist eine Vielzahl von unterschiedlichen Strommesstechnologien auf dem Markt verfügbar. Nur wenige sind für die Leistungsmessung geeignet.

Die Messung von hohen Spannung am Mittelspannungsumrichter ist nach wie vor ein ungelöstes Problem. Eine wirklich präzise und phasentreue und galvanisch getrennte Lösung oberhalb von 3000 V gibt es **(noch)** nicht.

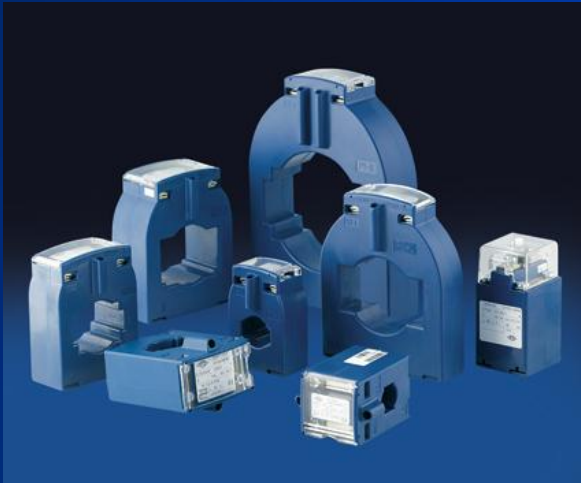


Foto: RITZ

Transformatorischer Wandler:

- mittlere Genauigkeit $> 0,1 \%$
- geringe Bandbreite
- nicht DC - fähig

Nicht Umrichtertauglich

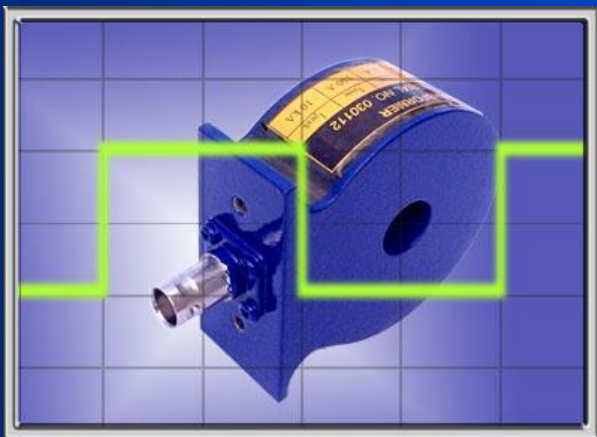
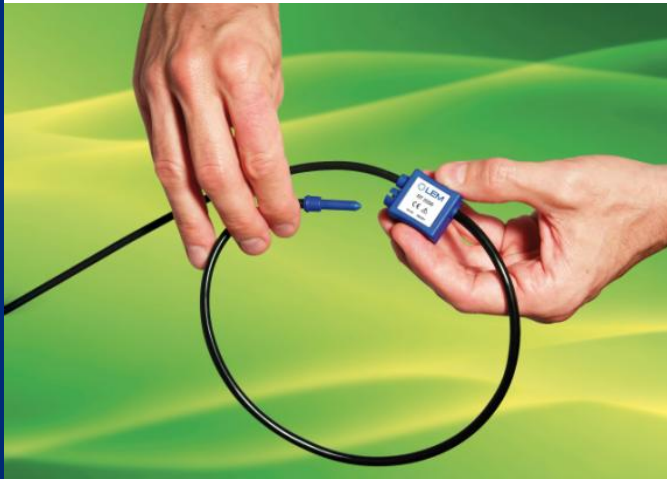
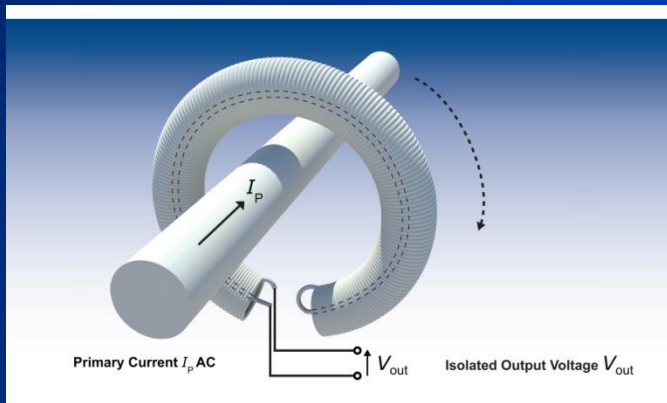


Foto: LILCO

Impulsstromwandler:

- geringe Genauigkeit $> 1 \%$
- hohe Bandbreite $> 10 \text{ MHz}$
- nicht DC - fähig

Zu ungenau für die Leistungsmessung

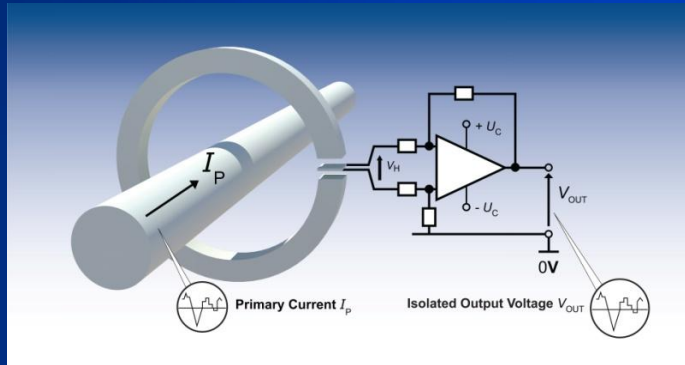


Fotos: LEM

Rogowskispule:

- geringe Genauigkeit $> 1\%$
- hohe Bandbreite $> 1\text{ MHz}$
- nicht DC - fähig

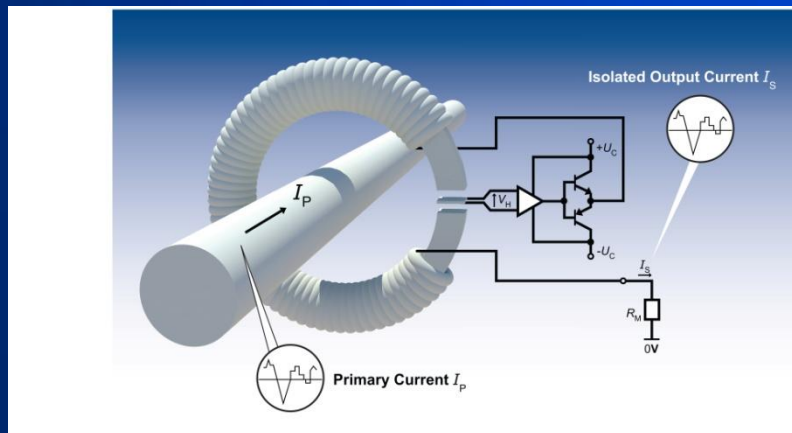
Zu ungenau für die Leistungsmessung



Hallsensorwandler:

- mittlere Genauigkeit $> 0,5 \%$
- mittlere Bandbreite $> 100 \text{ kHz}$
- AC + DC - fähig

Zu ungenau für die Leistungsmessung



Fotos: LEM

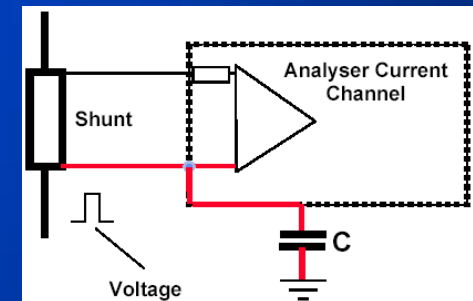


Koaxialshunt:

- hohe Genauigkeit
- hohe Bandbreite > 1 MHz
- AC + DC – fähig
- keine galvanische Trennung, CMR !

Nur in der Niederspannung

Nur mit Guard-Technik für Leistung geeignet
(Triaxialshunt)



$$I = C \cdot du/dt = 1A$$

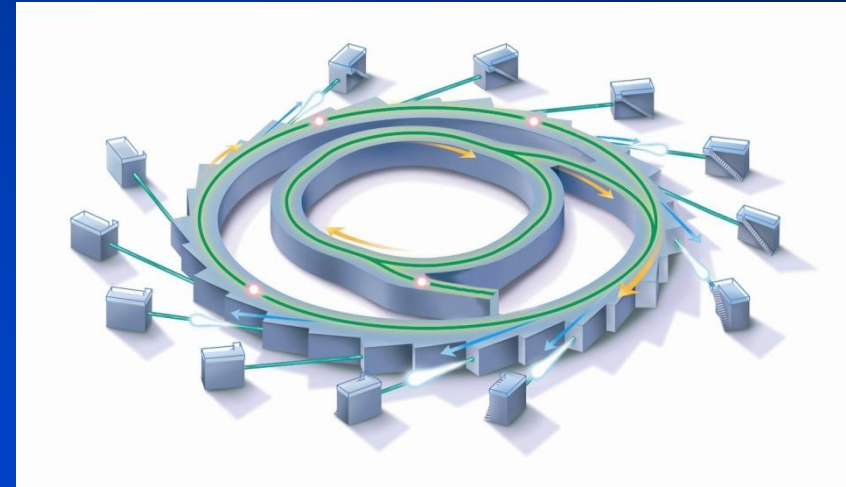
bei 0.1 nF und 10 kV/μs

Anforderungen an einen Stromwandler für die Leistungsmessung am Umrichter Ausgang:

- Hohe Bandbreite DC bis einige 100 kHz
- Höchste Amplitudengenauigkeit im ppm Bereich
- Geringer Phasenwinkelfehler
- Geringer Offset
- Galvanische Trennung → hohe Gleichtaktunterdrückung

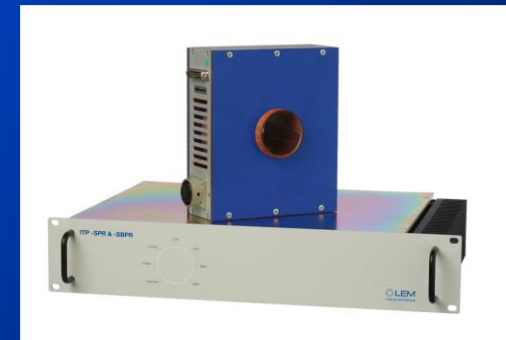
→ Nullflusswandler

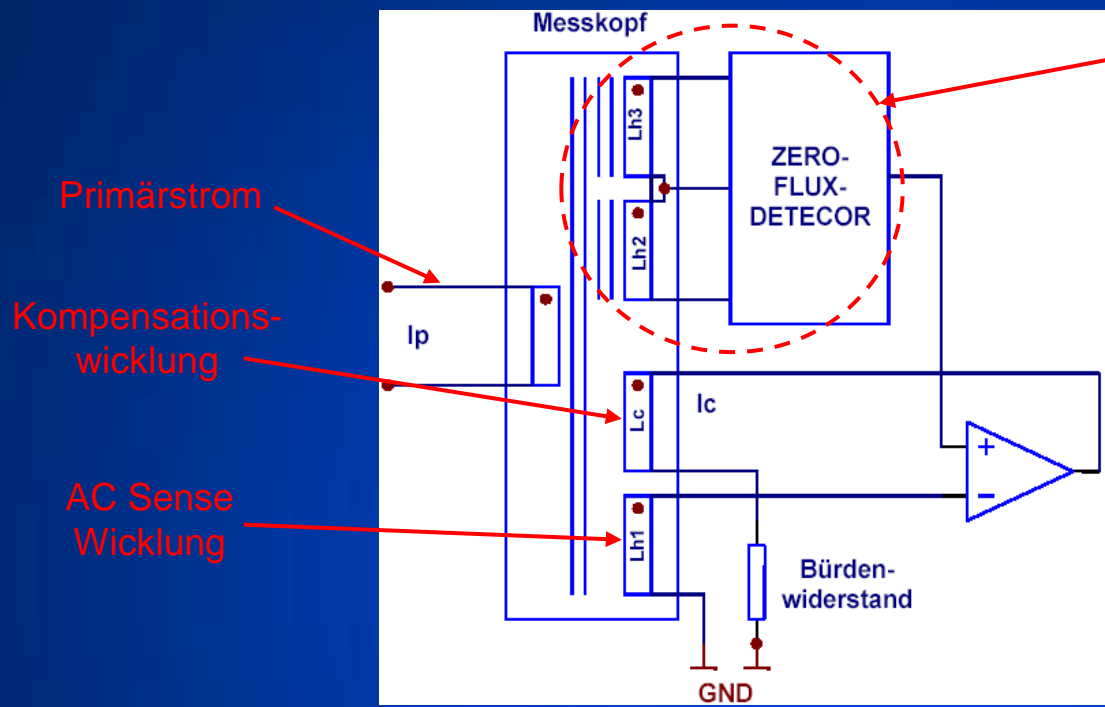
Entwicklung im CERN in den 1960er Jahren für die DC-Regelung von Magneten.



Industrielle Fertigung durch DANFYSIK.

Übernahme der DANFYSIK ULTRASTAB Stromwandler durch LEM in 2009.



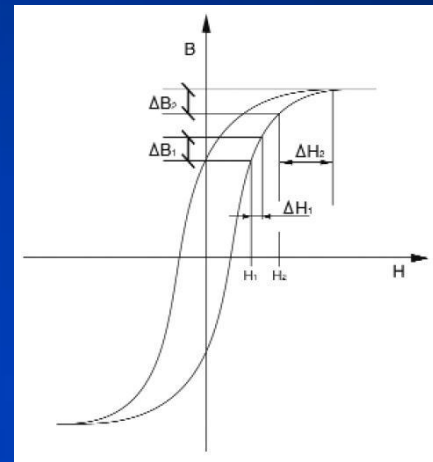


Primärstrom

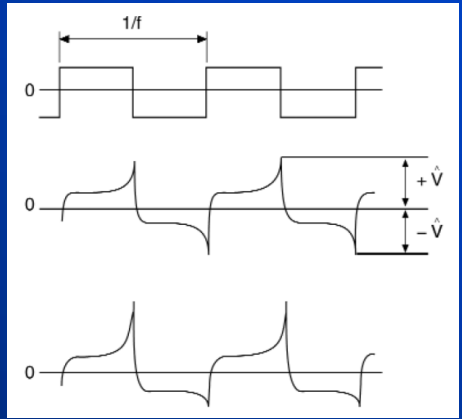
Kompensations-
wicklung

AC Sense
Wicklung

DC Sense Schaltung



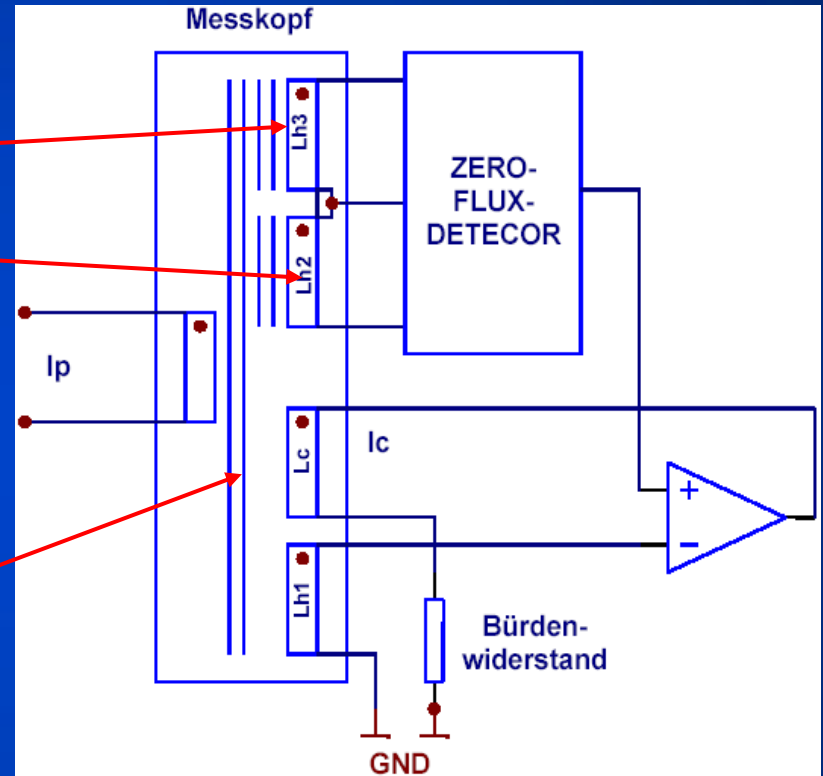
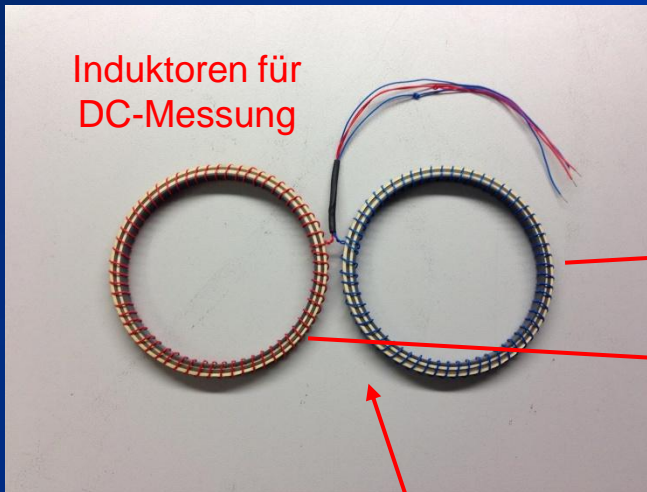
DC Messung beruht auf den nichtlinearen Eigenschaften eines gesättigten Magnetkerns



Rechteckspannung am Oszillatorausgang

Resultierender Strom $I_{pk+} = I_{pk-}$ ($V_{pk+} = V_{pk-}$) im Fall DC = 0

Asymmetrischer Strom $I_{pk+} \neq I_{pk-}$ ($V_{pk+} \neq V_{pk-}$) wenn DC \neq 0 (Differenz proportional zum DC-Level)



IT - Wandlerspezifikationen

Transducer	IT 60-S	IT 200-S	IT 400-S	IT 700-S	IT 1000-S/SP1
<i>Primary Current Range Ip DC, RMS Sinus</i>	60 A	200 A	400 A	700 A	1000 A
<i>Overload Ability Short Time (100 mS)</i>	300 Apk	1000 Apk	2000 Apk	3500 Apk	4000 Apk
<i>Max. burden resistor (100 % of Ip)</i>	10 Ω	10 Ω	5 Ω	2.5 Ω	2.5 Ω
<i>dI/dt (accurately followed)</i>	> 25 A/μs	> 100 A/μs	> 100 A/μs	> 100 A/μs	> 100 A/μs
<i>Temperature Influence</i>	< 2.5 ppm/K	2 ppm/K	< 1 ppm/K	< 1 ppm/K	< 1 ppm/K
<i>Output Ratio</i>	100 mA at 60 A	200 mA at 200 A	200 mA at 400 A	400 mA at 700 A	1 A at 1000 A
<i>Bandwidth (0.5 % of Ip)</i>	DC ... > 800 KHz	DC ... > 500 kHz	DC ... > 500 kHz	DC ... > 250 kHz	DC ... > 500 kHz
<i>Linearity</i>	0.002 %	0.001 %	0.001 %	< 0.001 %	0.001 %
<i>Offset</i>	0.025 %	0.008 %	0.004 %	< 0.005 %	0.005 %
<i>Frequency Influence</i>	0.04 %/kHz	0.06 %/kHz	0.06 %/kHz	0.12 %/kHz	0.06 %/kHz
<i>Angular Influence</i>	0.06 °/kHz	0.09 °/kHz	0.09 °/kHz	< 0.18 °/kHz	0.09 °/kHz
<i>Rated isolation voltage rms, single isolation CAT III, Pollution deg. 2 IEC 61010-1 standards EN 50178 standards</i>	2000 V 1000 V	2000 V 1000 V	2000 V 1000 V	1600 V 1000 V	300 V 300 V
<i>Test voltage 50/60 Hz, 1 min</i>	5.4 kV	5.4 kV	5.4 kV	4.6 kV	3.1 kV
<i>Inner diameter</i>	26 mm	26 mm	26 mm	30 mm	30 mm

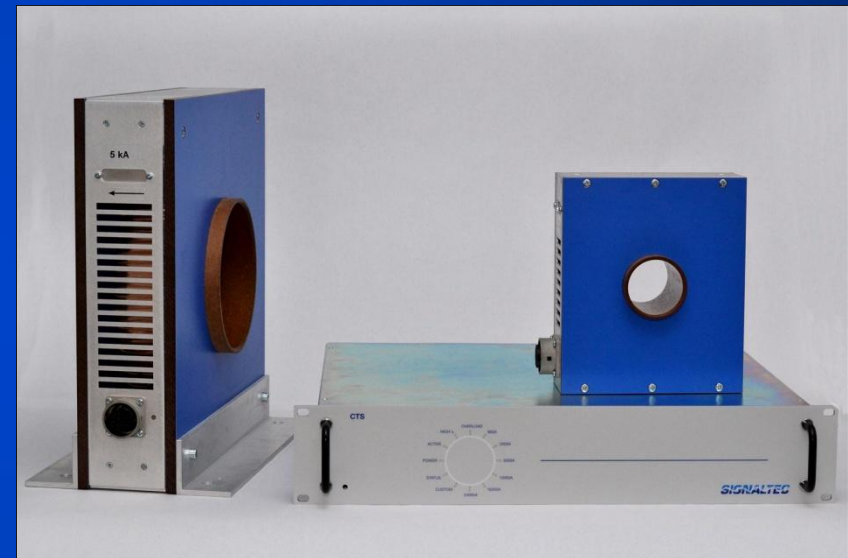
Einzelwandler und Mehrkanalsysteme

60 A_{rms} ... 1000 A_{rms}



Hochstromsysteme

2000 A_{rms} und 5000 A_{rms} (24 kA_{rms})

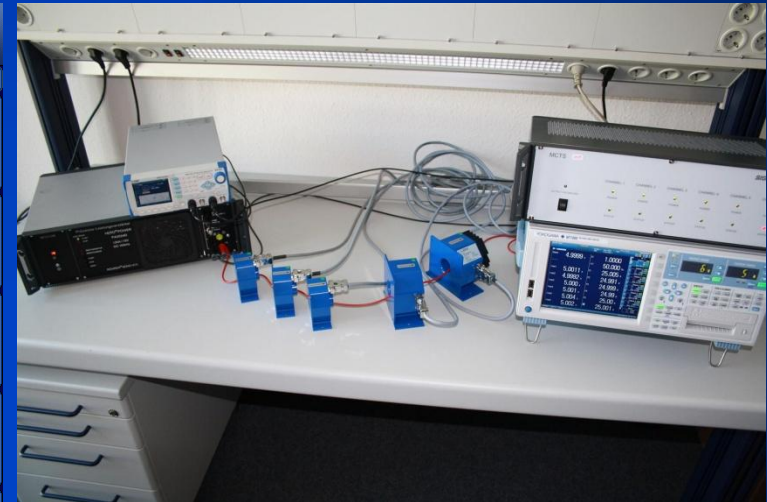


Beispiel 1: Frequenzbereich Wandler IT 1000-S/SP1 (MCTS 1000)



Beispiel 2: IT Wandler (MCTS) bei geringster Aussteuerung (AC)

5 A, Filter OFF



- 1_{rms}: Direkte Messung WT1800
- 12_{rms}: Wandlerausgang IT 60-S
- 13_{rms}: Wandlerausgang IT 200-S
- 14_{rms}: Wandlerausgang IT 400-S
- 15_{rms}: Wandlerausgang IT 700-S
- 16_{rms}: Wandlerausgang IT 1000-S/SP1

$U_1 \dots U_6$ synchronisiert zu $I_1 \dots I_6$

Beispiel 2: IT Wandler (MCTS) bei geringster Aussteuerung (AC)

1 A, Filter OFF



1 A, 1 MHz Filter ON



Beispiel 2: IT Wandler (MCTS) bei geringster Aussteuerung (AC)

100 mA, 100 kHz Filter ON



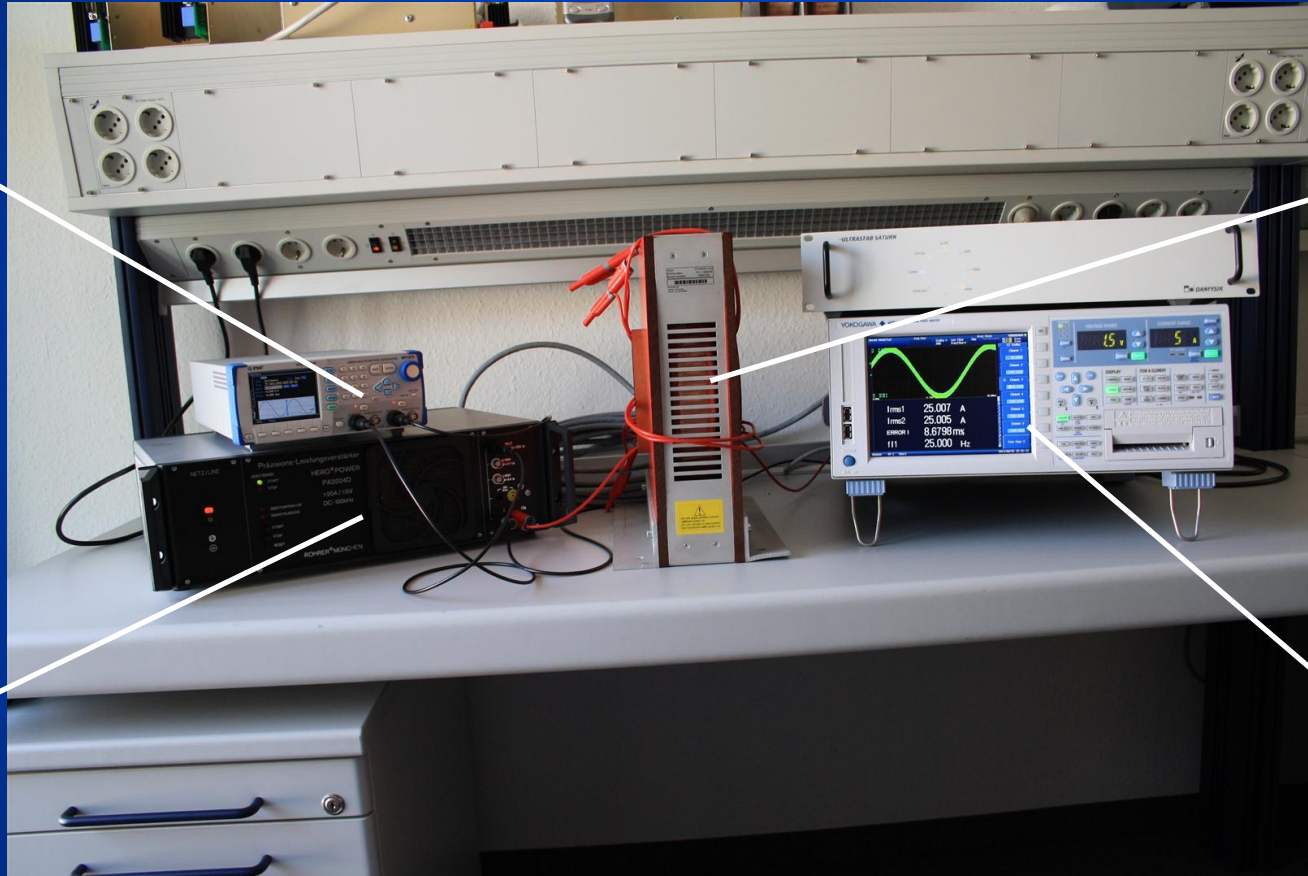
Beispiel 3: Messung von verzerrtem Stromsignal mit 5000 A Wandler

2 CH
Funktions-
generator

CTS 5000
mit 10
Windungen

Strom-
verstärker

Wattmeter
WT1800



Beispiel 3: Messung von verzerrtem Stromsignal mit 5000 A Wandler

CTS 5000: Messung 25 A_{rms}, 25 Hz Grundschwingungsstrom
überlagert mit 15 kHz Oberschwingung mit WT1800 (2 MSamples)

Mischsingnal

Abweichung zwischen direkter Strommessung und Wandlerausgang ~ 0,1 %



Beispiel 3: Messung von verzerrtem Stromsignal mit 5000 A Wandler

CTS 5000: Messung 25 A_{rms}, 25 Hz Grundschwingungsstrom überlagert mit 15 kHz Oberschwingung mit WT1800 (2 MSamples)

15 kHz Oberschwingung

Direkte Strommessung und Wandlerausgang absolut deckungsgleich



IT 1000-S/SP1, Stromwandler; Serien-Nr.: 1123130021

AKL_102490_130223.doc

AKL Messtechnik

85757 Karlsfeld, Dieselstrasse 9

Kalibrierprotokoll

Wechselstrom							
Messbereich	I	Sollwert	Messwert	Toleranz	Abweichung	MU	Bemerkung
I rms	% In	I rms	I rms			I rms	
1000 A / 1 A	100	1000,000 A	999,993 A	0,007 %	-0,001 %	0,088 A	
	80	800,000 A	799,997 A	0,008 %	0,000 %	0,070 A	
	60	600,000 A	599,998 A	0,009 %	0,000 %	0,053 A	
	40	400,000 A	399,998 A	0,013 %	-0,001 %	0,035 A	
	20	200,000 A	200,002 A	0,023 %	0,001 %	0,018 A	
	10	100,000 A	100,003 A	0,043 %	0,003 %	0,010 A	
5	50,000 A	50,003 A	0,083 %	0,006 %	0,005 A		

Winkelfehler							
Messbereich	I	Sollwert	Messwert	Toleranz	Abweichung	MU	Bemerkung
	% In						
1000 A / 1 A	100	0,00 min	-0,02 min	0,75 min	-0,02 min	0,55 min	
	80	0,00 min	-0,03 min	0,75 min	-0,03 min	0,55 min	
	60	0,00 min	-0,03 min	0,75 min	-0,03 min	0,55 min	
	40	0,00 min	-0,03 min	0,75 min	-0,03 min	0,55 min	
	20	0,00 min	-0,01 min	0,75 min	-0,01 min	0,55 min	
	10	0,00 min	0,22 min	0,75 min	0,22 min	0,64 min	
5	0,00 min	0,33 min	0,75 min	0,33 min	0,64 min		

Kalibrierprotokoll MCTS 1000

Amplitude: < 0.006 % v. MW, Range 5 ... 100 %

Winkelfehler: < 0.33 min., Range 5 ... 100 %

CTS 5000, Stromwandlersystem; Serien-Nr.: 1122290003

AKL Messtechnik

85757 Karlsfeld, Dieselstrasse 9

Kalibrierprotokoll

Wechselstrom							
Messbereich	I	Sollwert	Messwert	Toleranz	Abweichung	MU	Bemerkung
I rms	% In	I rms	I rms			I rms	
5000 A / 2 A	70	3500,000 A	3499,954 A	0,032 %	-0,001 %	0,347 A	
	60	3000,000 A	3000,009 A	0,033 %	0,000 %	0,298 A	
	40	2000,000 A	2000,064 A	0,036 %	0,003 %	0,198 A	
	20	1000,000 A	1000,016 A	0,046 %	0,002 %	0,099 A	
	10	500,000 A	500,008 A	0,066 %	0,002 %	0,050 A	
5	250,000 A	250,028 A	0,106 %	0,011 %	0,015 A		

Winkelfehler							
Messbereich	I	Sollwert	Messwert	Toleranz	Abweichung	MU	Bemerkung
	% In						
5000 A / 2 A	70	0,00 min	0,24 min	3,90 min	0,24 min	0,65 min	
	60	0,00 min	0,24 min	3,90 min	0,24 min	0,65 min	
	40	0,00 min	0,21 min	3,90 min	0,21 min	0,65 min	
	20	0,00 min	0,20 min	3,90 min	0,20 min	0,65 min	
	10	0,00 min	0,41 min	3,90 min	0,41 min	0,65 min	
5	0,00 min	0,54 min	3,90 min	0,54 min	0,65 min		

Kalibrierprotokoll CTS 5000

Amplitude: < 0.011 % v. MW, Range 5 ... 100 %

Phase Shift: < 0.54 min., Range 5 ... 100 %

- Herkömmliche galvanisch getrennte, transformatorische Spannungswandler sind am Umrichter Ausgang untauglich.
- Ihr Frequenzbereich ist sehr eingeschränkt.
- Harmonische werden falsch oder gar nicht mehr gemessen.
- Bei niedrigen Grundfrequenzen stellt die Primärwicklung praktisch einen Kurzschluss dar und die Wandler brennen ab.



Foto: RITZ

Beispiel:

- Messung am Mittelspannungsumrichteranschluss
- Lösung mit HV-Teilern und Präzisionsstromwandlern
- Lösung Prof. Ludwig Kolb 2001
- Aufwendiger Aufbau eines Mittelspannungsmessschanks

Leistungsmessung und Signalanalyse am 6 kV Frequenzumrichter

Spannungsmessung bis 6000 Volt

D 6000 Leistungsmessung und Signalanalyse bis 5 MVA

Strommessung bis 600 Ampere

Mittelspannungsgerechter Aufbau

URACA Hochdruckpumpen mit 6 kV Umrichterantriebssystem

Komplettes Meßwandlersystem

Realisierung und Anwendung durch:

STEINBEIS-TRANSFERZENTRUM
FERTIGUNGSAUTOMATISIERUNG UND EMV
GEISLINGEN

URACA
Pumpenfabrik GmbH & Co. KG
Bad Urach

Bis ca. $3 \text{ kV}_{\text{rms}}$ können ARCUS Isolierverstärker von der Firma ROHRER eingesetzt werden.

- Hohe Genauigkeit $< 0,1 \%$
- Geringe Anstiegszeit von wenigen Nanosekunden \rightarrow geringer Winkelfehler



Foto: ROHRER

Einsatz vor allem im Traktionsbereich (Schienenfahrzeuge) bis $3,3 \text{ kV}_{\text{rms}}$.

- Die Firma RITZ stellt einen Spannungsteiler für die Messbereichserweiterung bis ca. 15 kV_{rms} her.
- Aufgrund der fehlenden galvanischen Trennung empfiehlt sich eine Bedienung des Leistungsmessers über galvanisch getrennten Messrechner (LWL-ETHERNET)
- Anpassung an das Messgerät wegen MΩ-Ausgangsimpedanz sehr schwierig.
- Nur wenige Meter Leitungslänge für Ausgangssignal möglich.

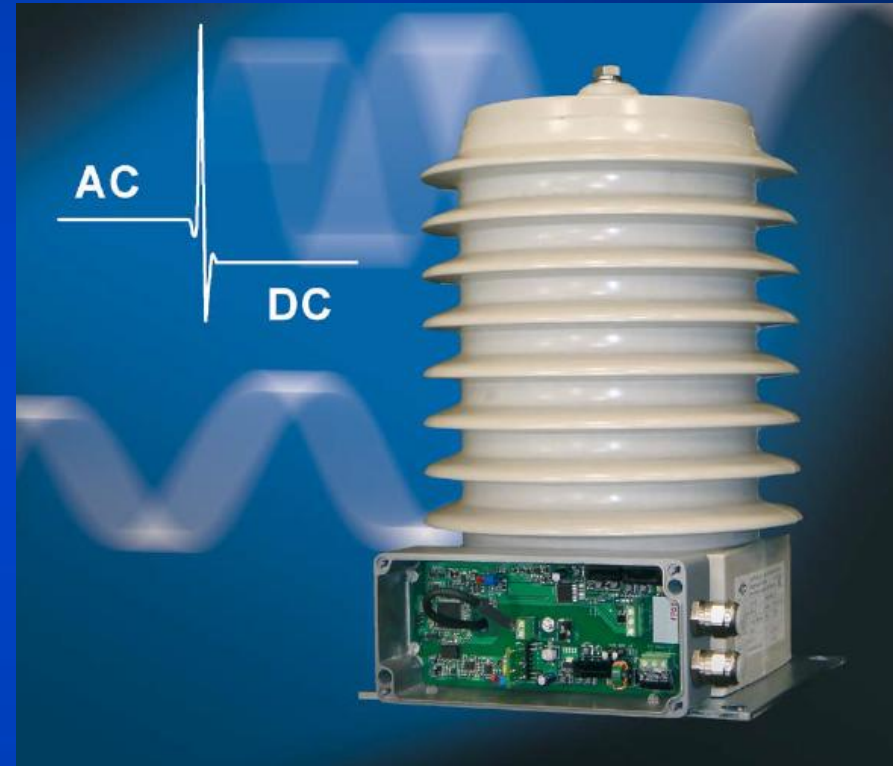
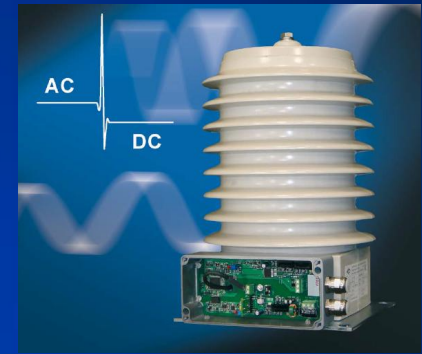


Foto: RITZ

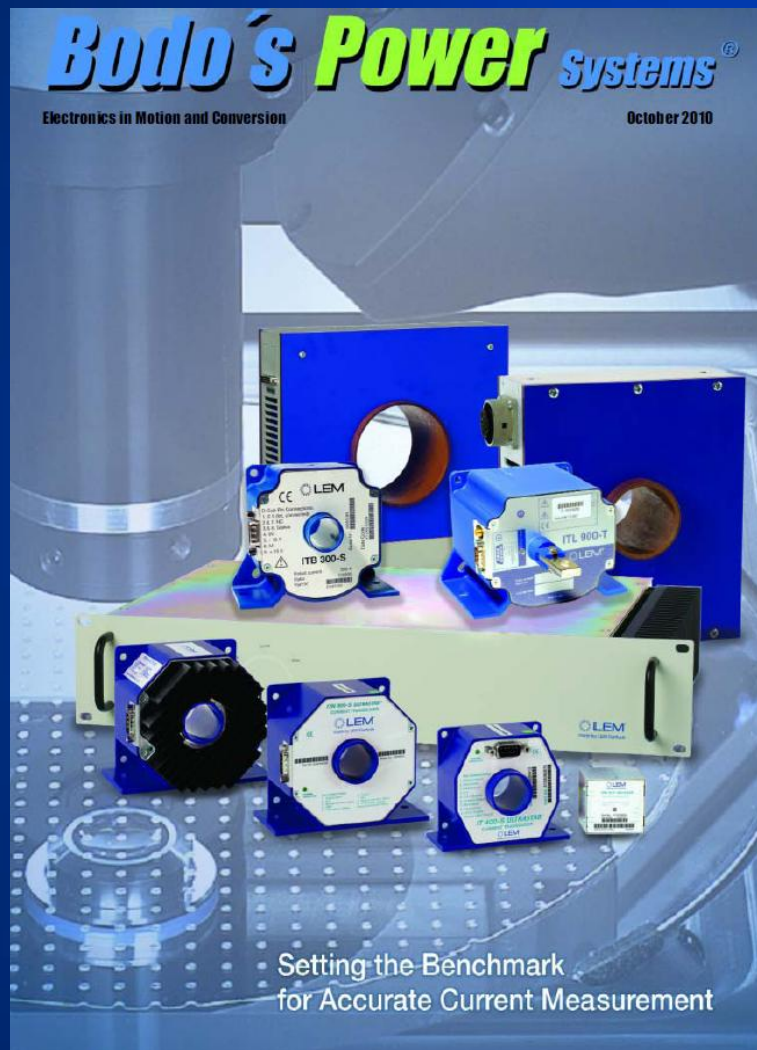
Das größte Problem der Spannungsteiler ist der recht große Winkelfehler von ca. 30 Winkelminuten ($0,5^\circ$)

Zur Erinnerung:
 $0,5^\circ$ Winkelfehler resultiert in einem Leistungsfehler von 9 % bei $\cos\varphi$ 0,1



Prüfprotokoll für Spannungswandler / Test report for voltage transformer														
Bestellung:	ATANHAC -			KA	50368605-10			Firma:	ABB, Wien					
Order - Nr.:	45482596-E1G							Client:						
		OHMIC VOLTAGE SENSOR GSER(F) 16												
Fabriknummer / serial number		2009 / 50237028 - 50237032												
input voltage		100...18000										V		
output voltage		1...180										V		
frequenz		0...60...2000										Hz		
rated input resistance		20										M Ω		
rated secondary resistance R2 // Rb		202 k Ω // 10 M Ω : 5 pF										a - n		
accuracy		0,2 %												
ins level 18 / 50 / 150 kV		ins cl E										IEC 60044 - 7		
Hochspannungsprüfung / High voltage te		50 kV		1,2 min		bei / at		50 Hz						
Genauigkeit Meßwerte / Accuracy measurement														
Fabr. Nr. serial No.	100 V		1 000 V		2 000 V		4 500 V		9 000 V		13 500 V		18 000 V	
	error %	δ min	error %	δ min	error %	δ min	error %	δ min	error %	δ min	error %	δ min	error %	δ min
50237028	0,00	-36,7	-0,07	-37,6	-0,08	-37,0	-0,08	-36,6	-0,07	-36,6	-0,06	-36,6	-0,05	-36,7
50237029	0,12	-31,7	0,04	-26,4	0,02	-23,5	0,05	-26,0	0,05	-25,4	0,04	-25,9	0,0	-25,7
50237030	0,05	-35,3	0,02	-34,7	0,03	-33,7	0,00	-34,0	0,00	-33,9	0,01	-33,7	0,0	-33,9
50237031	0,03	-29	-0,02	-28,7	-0,02	-26,8	-0,04	-27,2	-0,03	-27,1	-0,03	-27,3	-0,0	-26,8
50237032	0,08	-28,7	0,02	-32,1	-0,06	-31,1	-0,04	-32,7	-0,03	-32,2	-0,03	-32	-0,0	-32,1

Fragen



Fachartikel zu den Wandlern in
Bodo's Power Systems
Oktober 2010

Download unter
www.signaltec.com



Alt aber gut

ISBN 3-341-01068-8



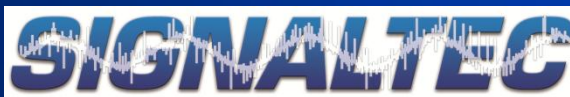
<http://www.power-e.de>
<http://www.power-e.de/Literatur/literatur.shtml>
EMV-/Messtechnik-Dienstleistung



<http://tmi.yokogawa.com/de>
Leistungsmessgeräte, Power-Scopes, Signalgeneratoren, ...



<http://www.rohrer-muenchen.de>
Messverstärker, Trennverstärker, Leistungsverstärker, ...



<http://www.signaltec.com>
Präzisionswandler, Leistungsmesssysteme, ...

Für weitere Informationen

SIGNALTEC GmbH

Johannisstraße 44

90419 Nürnberg

T. 0911/2550993-0

<http://www.signaltec.com>

Horst Bezold, T. 0911/2550993-10, horst.bezold@signaltec.com