

Yokogawa Deutschland GmbH

Test- und Messtechnik

Leistungsmesstechnik Seminar

**KIT – Karlsruher Institut für
Technologie**

20.03.2014

YOKOGAWA 
TEST & MEASUREMENT

Ugur Gürsoy

Produkt Support Leistungsanalytoren

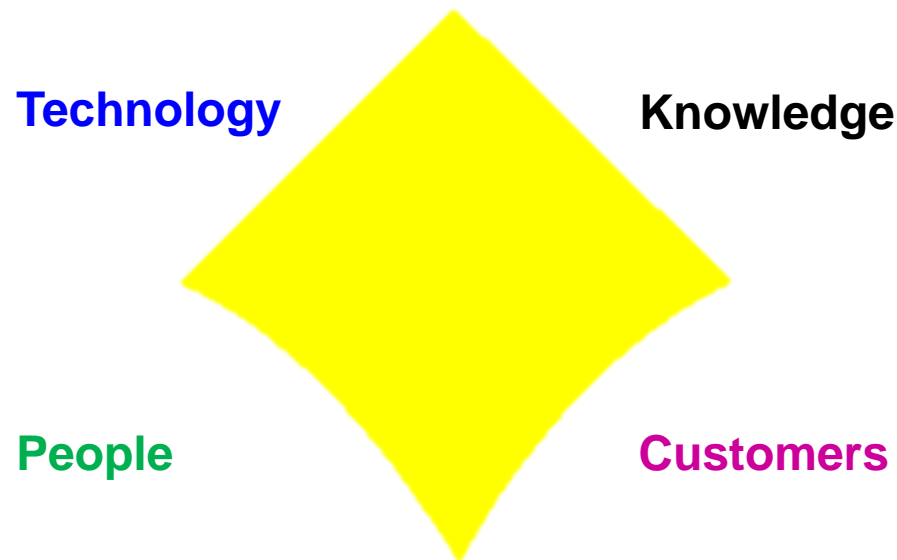
Yokogawa Deutschland GmbH
Niederlassung Herrsching
Test- und Messtechnik
Gewerbestr. 17
82211 Herrsching
Tel.: +49 8152 9310-0
Fax: +49 8152 9310-60

Precision Making

tmi.yokogawa.com/de

- Das Yokogawa-Branding
- Grundlagen der elektrischen Leistungsmessung
 - Elektrische Leistung bei Gleich- und Wechselstrom, Harmonischen Analyse, Mechanische Leistung
- Funktionsweise digitaler Leistungsmessgeräte
- 3-phasige Leistungsmessung an elektrischen Antrieben
 - 3-Phasensysteme
 - 3-Wattmeter-Methode 3P4W
 - 2-Wattmeter-Methode 3P3W / 2-Wattmeter-Methode 3V3A mit zusätzlichem Wattmeter
 - DELTA Transformation
 - Zusammenfassung 3-Phasensysteme
- Leistungsmessung an elektrischen Antrieben
 - Messungen am Umrichter
 - Synchrone, mechanische Leistungsmessung
 - Wirkungsgrad- und Verlustleistungsmessung
- Spezifikationen breitbandiger Leistungsmessgeräte
- Anwendungsgebiete
- Praktische Vorführung

Die Yokogawa-Philosophie



Die spitzen Winkel und die scharfen Kanten repräsentieren die Spitzen-technologie.

Die geraden Linien repräsentieren die Richtung des Unternehmens und die Hingabe zur Qualität, Präzision und die ständige Weiterentwicklung unserer Produkte und Dienstleistungen.

Die sanfte Wölbung der unteren Hälfte steht für die warmherzige Natur der Yokogawa Mitarbeiter.

Und vermittelt die starke Beziehung mit unseren Kunden, die uns vertrauen und unsere hochpräzisen und sehr zuverlässigen Messinstrumente einsetzen.

About Yokogawa Test & Measurement

Branding

What does Yokogawa Test &
Measurement make?



Precision

About Yokogawa Test & Measurement

Branding

What does Yokogawa Test &
Measurement do?



**Precision
Making**

About Yokogawa Test & Measurement

Branding

Who are Yokogawa Test & Measurement people?

Yokogawa is the most trusted Test & Measurement company in the world.



Grundlagen der elektrischen Leistung

YOKOGAWA 
TEST & MEASUREMENT

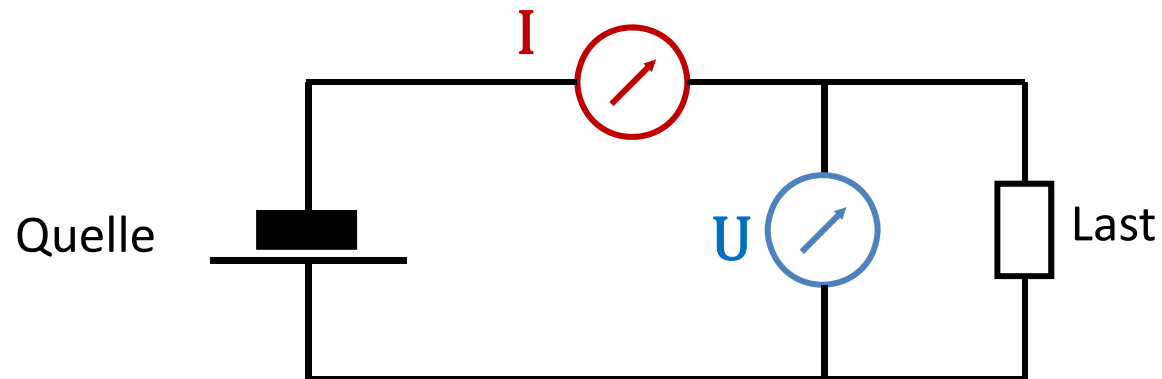


Grundlagen

Elektrische Leistung bei Gleichstrom

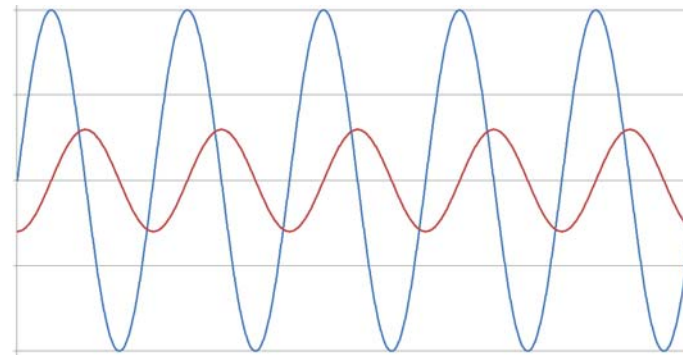
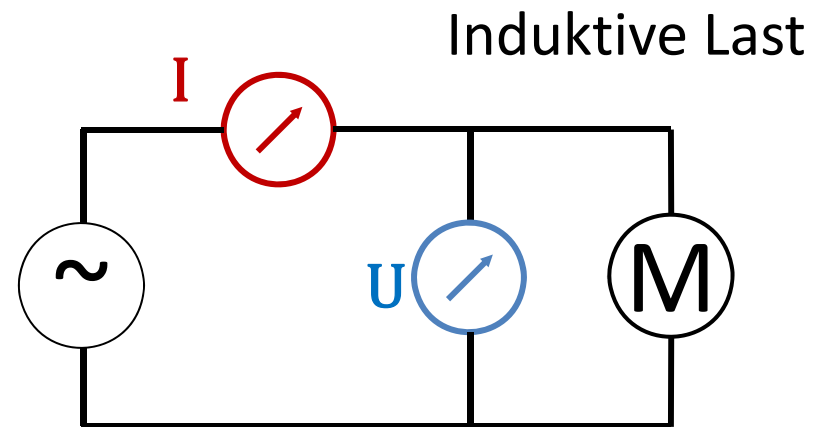
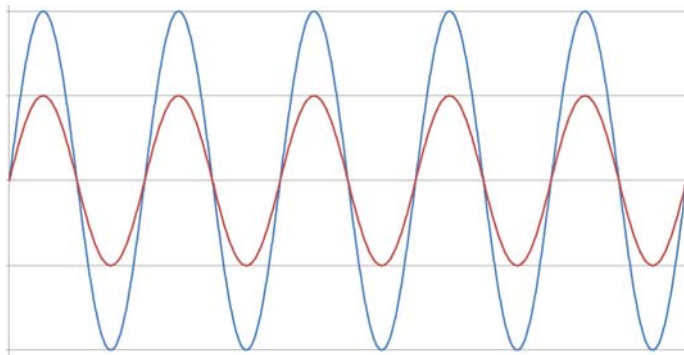
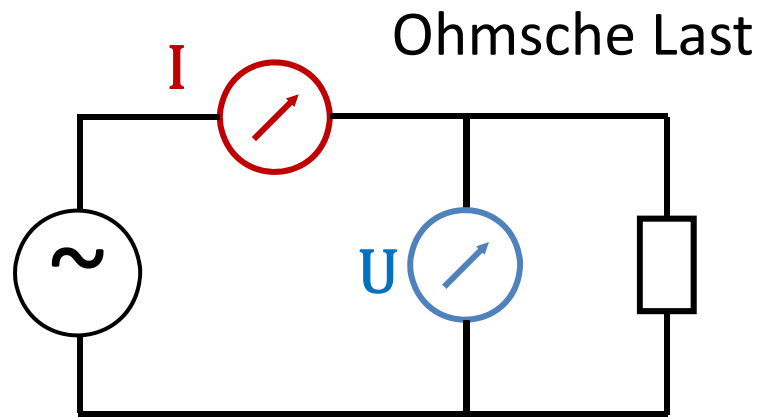
Gleichstrom (DC) :

$$P = U_{dc} * I_{dc}$$
$$[W] = [V] * [A]$$



Grundlagen

Elektrische Leistung bei Wechselstrom



Grundlagen

Elektrische Leistung bei Wechselstrom

$$\text{Wechselstrom (AC): } P = U_{\text{eff}} * I_{\text{eff}} * \cos \varphi$$
$$[\text{W}] = [\text{V}] * [\text{A}]$$



Elektrische Leistung bei Wechselstrom allgemein

Wirkleistung allgemein, für nicht-sinusförmige, beliebige Signale:

$$P = U_{\text{eff}} * I_{\text{eff}} * \lambda$$
$$[W] = [V] * [A]$$

Leistungsfaktor

$$\lambda = \frac{|P|}{S} = \frac{|Wirkleistung|}{Scheinleistung}$$
$$0 < \lambda < 1 \quad [\text{dimensionslos}]$$

Andere Bezeichnung: Power Factor PF

$\lambda = \cos\phi$ bei der Grundschiwingung

Grundlagen

Leistungsfaktor-Messung bei Harmonischen

Leistungsfaktor

$\lambda = \cos\varphi$ bei
Grundschnwingungen
und Oberschnwingungen

$$\lambda = \cos(27,19^\circ)$$

$$\lambda = 0,8895$$

$$\lambda = P1(1) / S1(1)$$

$$\lambda = 265,17 \text{ W} / 298,13 \text{ VA}$$

$$\lambda = 0,8895$$



Grundlagen

Elektrische Leistung allgemein

Definition der elektrischen Leistung

Allgemeine Leistungsberechnung (AC + DC)

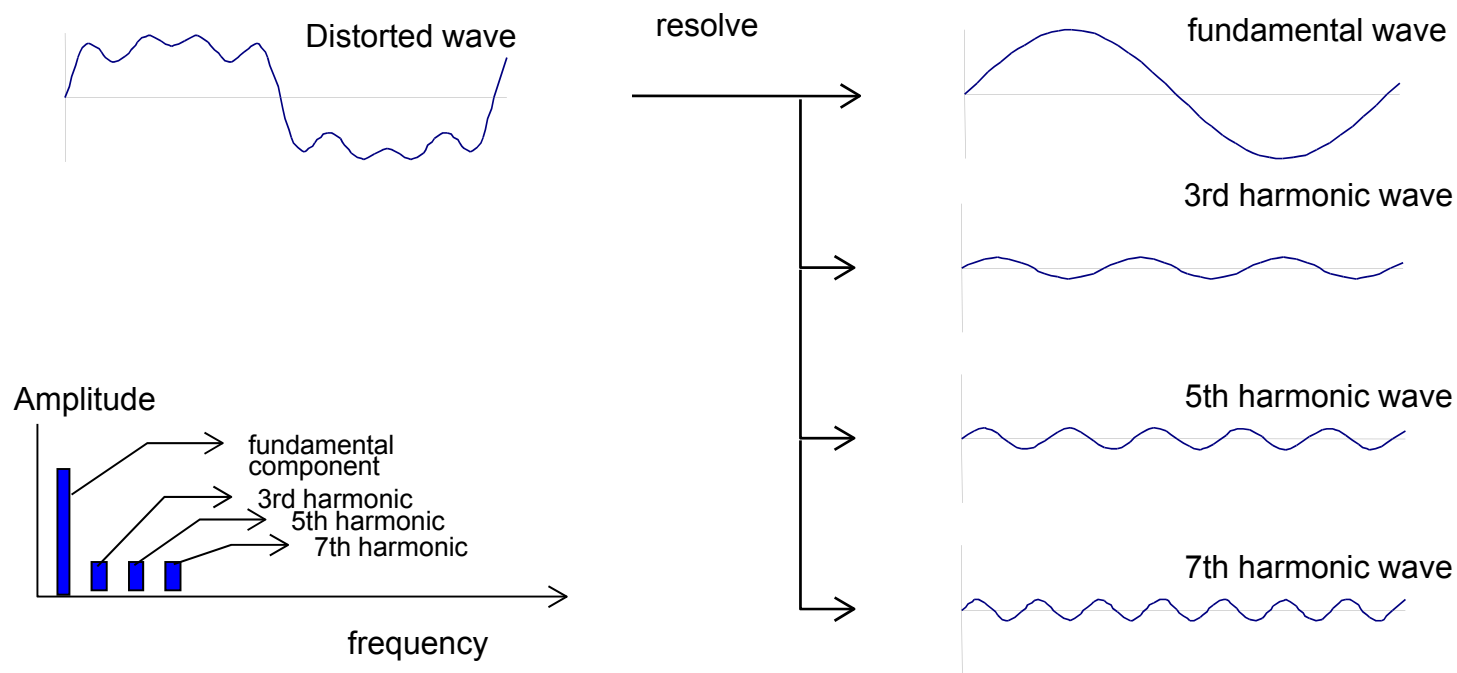
Effektivwert *	$U_{rms} = \sqrt{1/T \int_0^T u^2(t) dt}$	$I_{rms} = \sqrt{1/T \int_0^T i^2(t) dt}$
Gleichrichtwert	$U_{rm} = 1/T \int_0^T u(t) dt$	$I_{rm} = 1/T \int_0^T i(t) dt$
Mittelwert	$U_m = 1/T \int_0^T u(t) dt$	$I_m = 1/T \int_0^T i(t) dt$
Pos. Scheitelwert	$U_{pk+} = u_{max}(t) dt$	$I_{pk+} = i_{max}(t) dt$
Neg. Scheitelwert	$U_{pk-} = u_{min}(t) dt$	$I_{pk-} = i_{min}(t) dt$
Wirkleistung	$P = 1/T \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt$	
Scheinleistung	$S = U_{rms} \cdot I_{rms}$	
Blindleistung	$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$	
Leistungsfaktor	$\lambda = P / S$	
Crestfaktor	$F_{CU} = U_{pk} / U_{rms}$	$F_{CI} = I_{pk} / I_{rms}$
Formfaktor	$F_{FU} = U_{rms} / U_{rm}$	$F_{FI} = I_{rms} / I_{rm}$

- * Der Effektivwert eines Wechselsignals oder schwankenden Gleichsignals verursacht am ohmschen Widerstand die gleiche Wärmewirkung (Verlustleistung) wie ein konstantes Gleichsignal.

Grundlagen

Harmonischen-Analyse

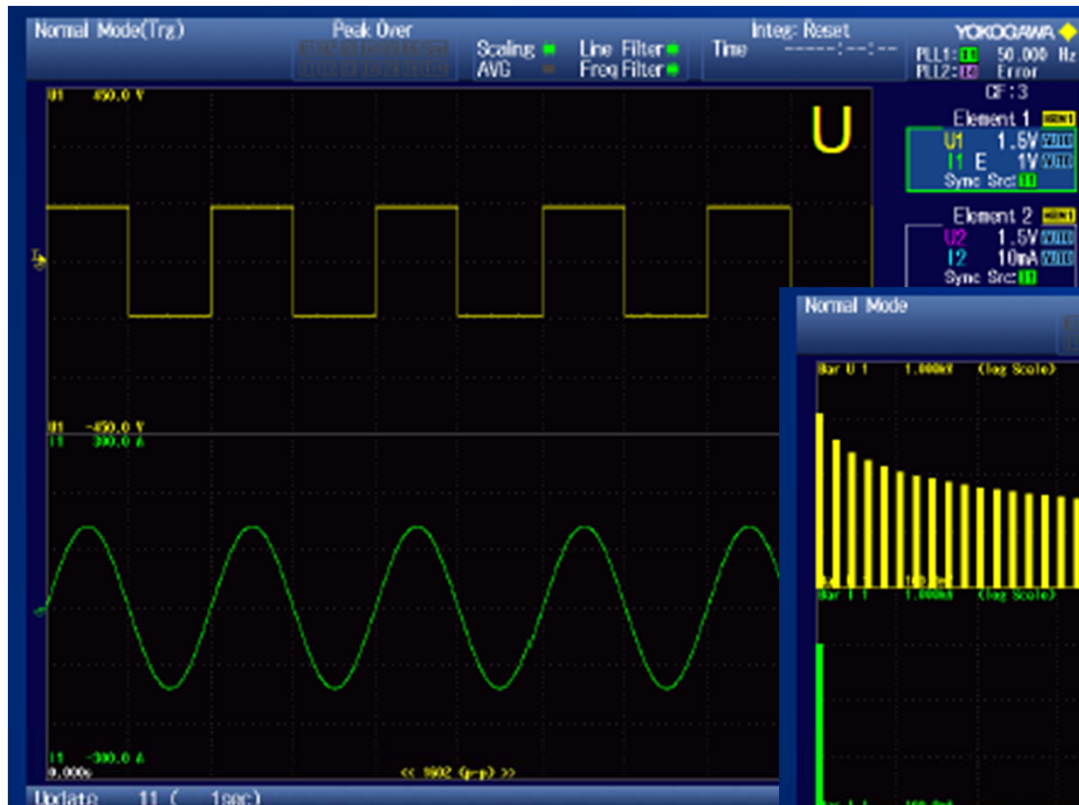
Eine verzerrtes Signal besteht aus mehreren Sinuskurven mit mehrfachen Frequenzen der Grundwelle.



Die Harmonischen Analyse zerlegt ein verzerrtes Signal in einen DC-Anteil (falls vorhanden), Grundwelle und die höheren Harmonischen.

Grundlagen

Harmonischen-Analyse



Nur Harmonische gleicher Ordnungszahl (Frequenz) resultieren in Wirkungsleistung.

Klirrfaktor

- Klirrfaktor = Oberschwingungsgehalt = Verzerrungsgehalt

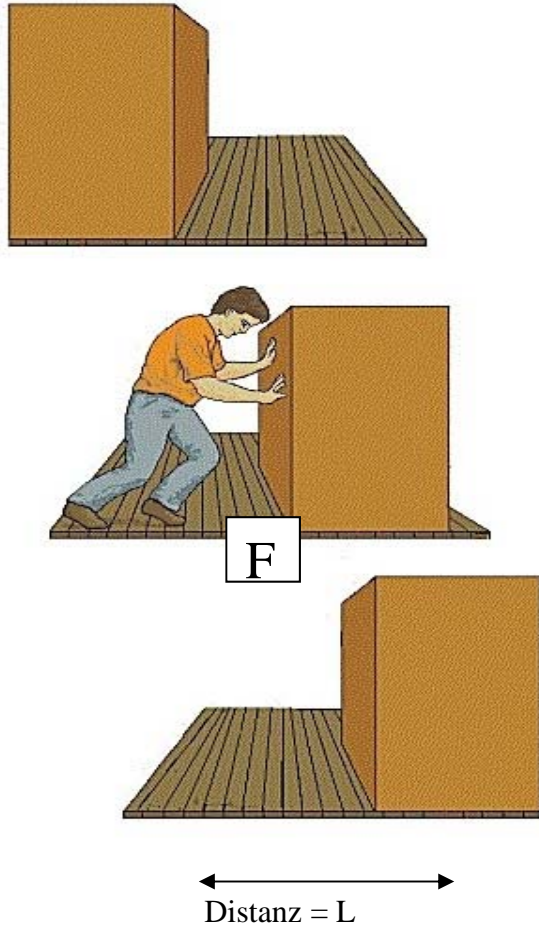
$$k = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}} = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U}$$

- Leistungsmessgeräte müssen in der Lage sein **simultan** (ohne Messmodus Umschaltung) die Oberschwingungsanalyse durchzuführen.
 - es müssen Effektivwerte von Strom und Spannung gleichzeitig mit den Klirrfaktoren bestimmt werden
 - bei Umrichtern/Motoren sollte die Messung von Gesamtleistung und Grundschiwungsleistung ohne Umschaltung des Messmodus geschehen.
 - ...

Grundlagen

Mechanische Leistung

Arbeit (Energie) wird verrichtet, wenn ein Objekt über die **Distanz L** mit der **Kraft F** verschoben wird.



- Arbeit = $F \times L$ [Nm] = [J]

- Einheit: Newton x Meter = Joule

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Arbeit}}{\text{Zeit}}$$

$$P = \frac{F \times L}{t} \equiv \left[\frac{\text{Nm}}{\text{s}} \right] = \left[\frac{\text{J}}{\text{s}} \right] = [\text{Watt}] = [\text{W}]$$

Leistung ist die pro Zeiteinheit verrichtete Arbeit.

Grundlagen

Meachanische Leistung bei Rotation (am Motor)

$$\begin{aligned}P_{\text{mech}} &= M * \omega \\ &= 2\pi * M * n \\ &= 2\pi * \text{Drehmoment} * \text{Drehzahl}\end{aligned}$$

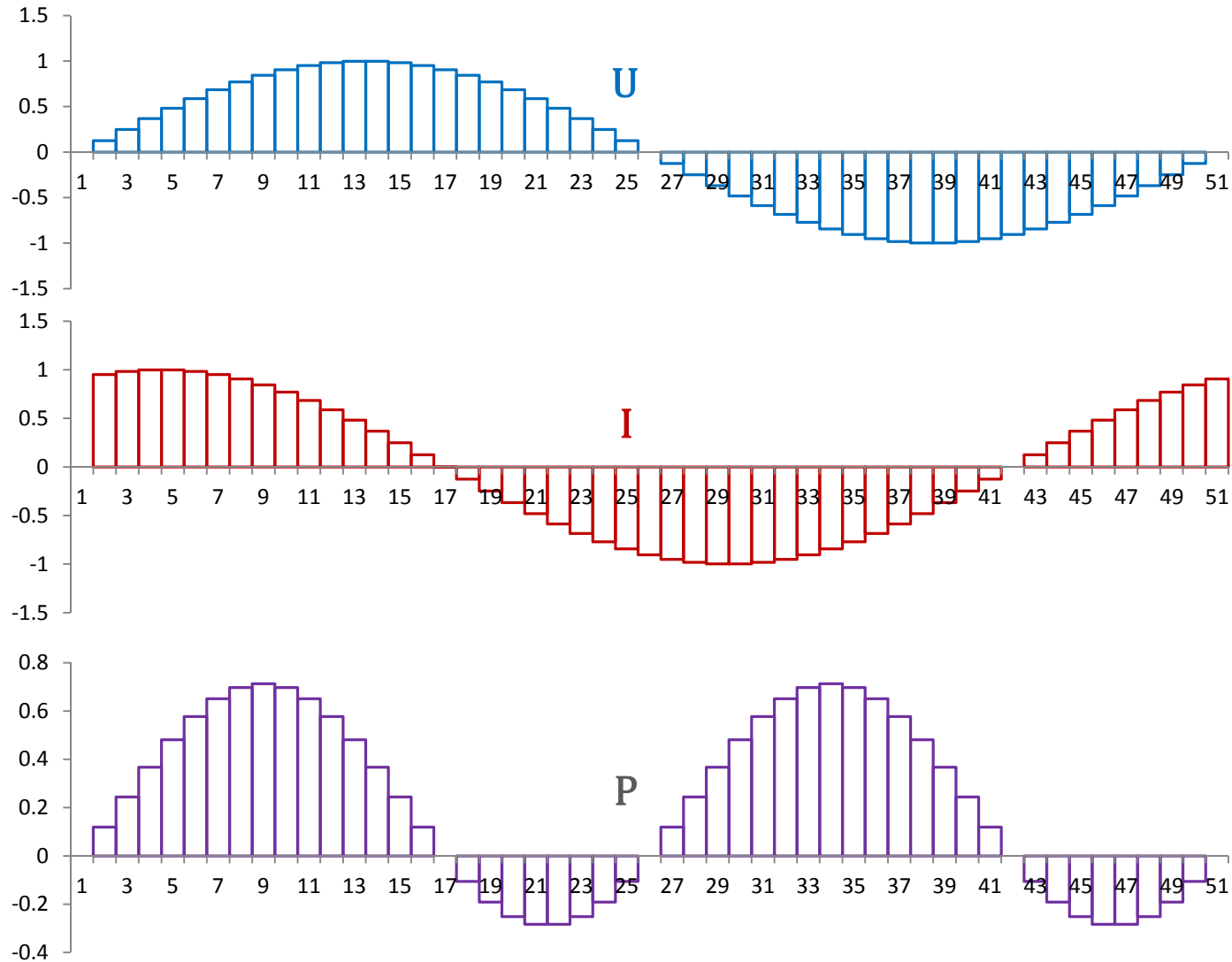
- Bei Rotation: Leistung ist proportional zu *Drehmoment * Drehzahl*
- Drehzahl **n** in Umdrehung pro Minute
- Drehmoment **M** in Nm (Newton meter)
- Mechanische Leistung **Pmech** in W (Watt)

Wie arbeitet ein Leistungsmessgerät? Digitalisieren und berechnen

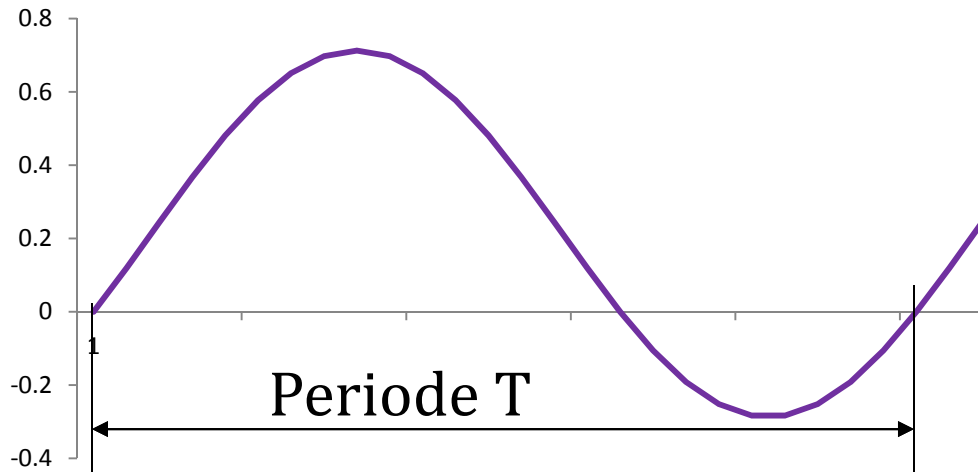
YOKOGAWA 
TEST & MEASUREMENT



Digitalisieren

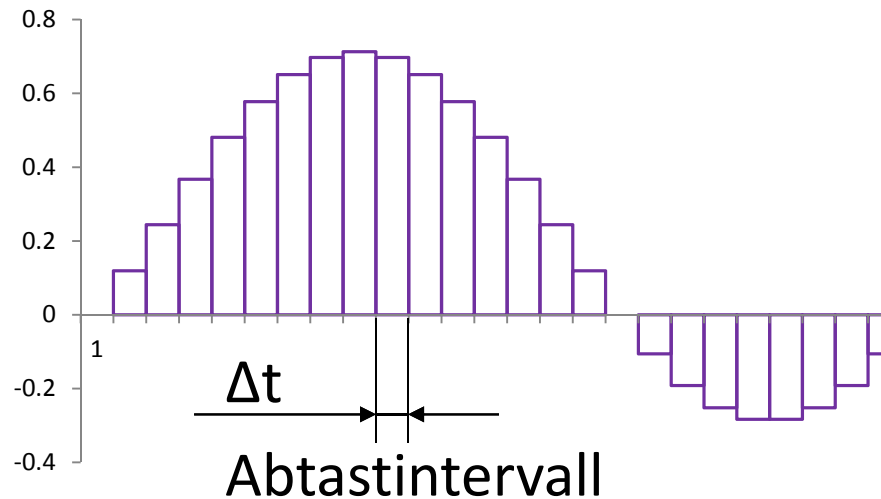


Abtasten und Berechnen



$$P_{AVG} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) * i(t) dt$$

$u(t)$ Momentanwert der Spannung zur Zeit t
 $i(t)$ Momentanwert des Stromes zur Zeit t
 T Periodendauer

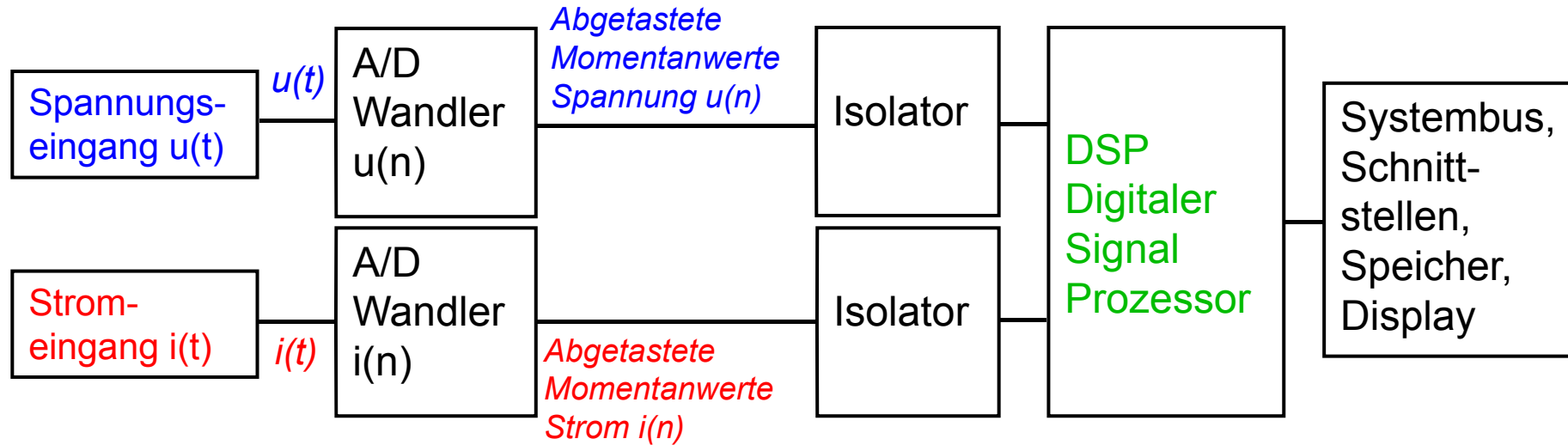


$$P_{AVG} = \frac{1}{k} \int_{k=1}^{k=T/\Delta t} u(k) * i(k) \Delta t$$

$u(k)$ Momentanwert der Spannung zur Zeit k
 $i(k)$ Momentanwert des Stromes zur Zeit k
 T Periodendauer

Funktionsweise digitaler Leistungsmessgeräte

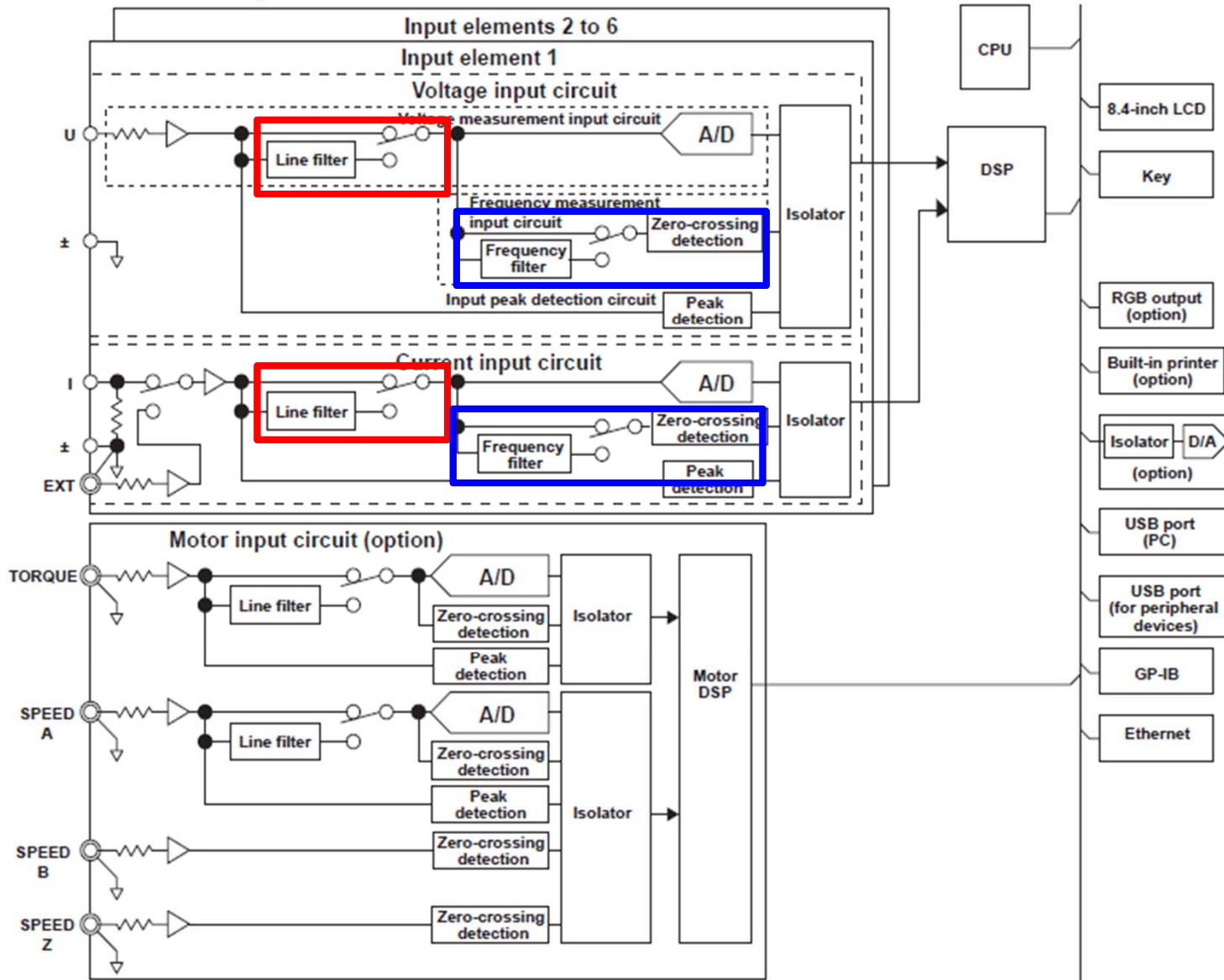
Prinzipschaltung digitaler Leistungsmessgeräte



Strom und Spannung sind zu einem Leistungsmodul zusammengefasst.
Keine getrennten Steckkarten für Strom und Spannung!

Funktionsweise digitaler Leistungsmessgeräte

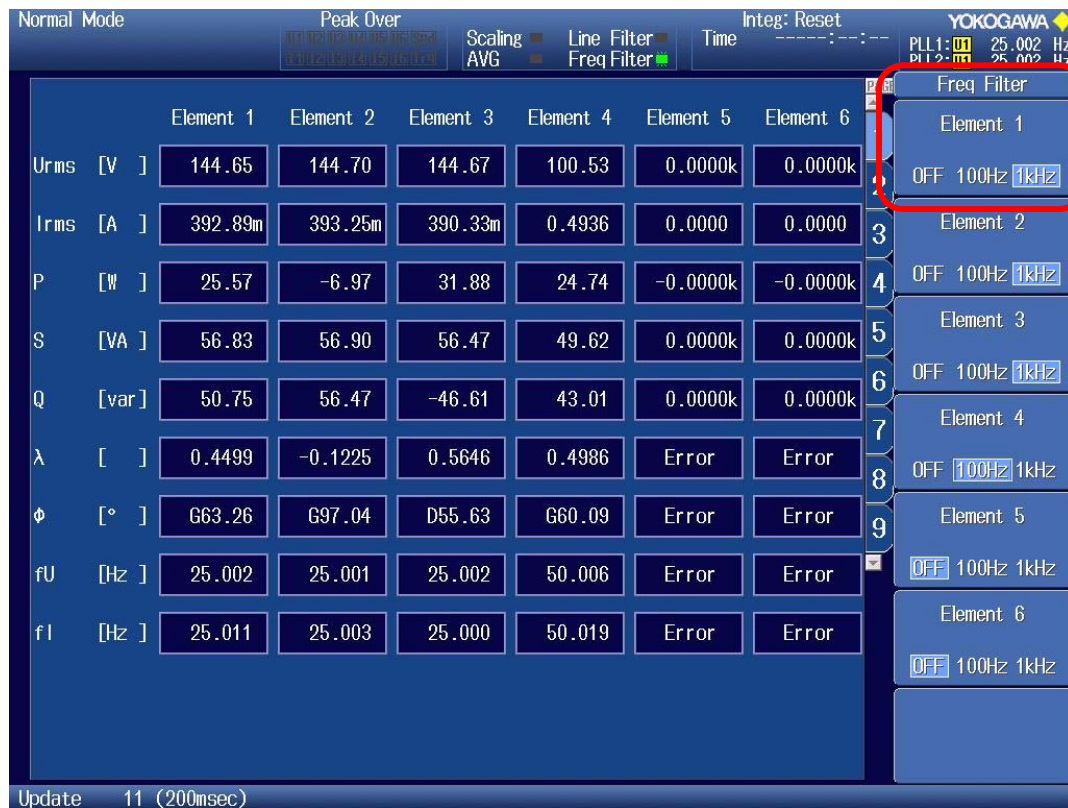
WT1800 Blockdiagramm



- Line-Filter =
Netzfilter =
Bandbreitenfilter =
Eingangsfiler →
beeinflusst das
Messsignal
- Zero-Cross-Filter =
Frequenzfilter
(einschalten wenn
die Grundfrequenz
nicht erkannt wird)
- Current input und
Current sensor
/EXT input sind
miteinander
verbunden.
Deshalb nie
zusammen
versorgen!

WT1800 Frequenzfilter (Zero-Cross-Filter)

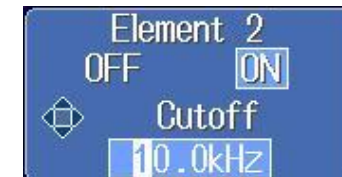
Mit diesem Tiefpaßfilter können unerwünschte Störungen vom Frequenzzähler ferngehalten werden. (Beispiel: Frequenzerkennung beim Umrichtersignal)



Funktionsweise digitaler Leistungsmessgeräte

WT1800 Line-Filter (Bandbreitenfilter)

LINE FILTER um die Auswahl der Eckfrequenz für jedes Modul zu treffen (OFF, 100 Hz bis 100.0 kHz in Schritten von 100 Hz, 300kHz, 1MHz). **Mit diesem Tiefpaßfilter können unerwünschte Störungen von Spannungs-, Strom- und Leistungsmessungen ferngehalten werden.**

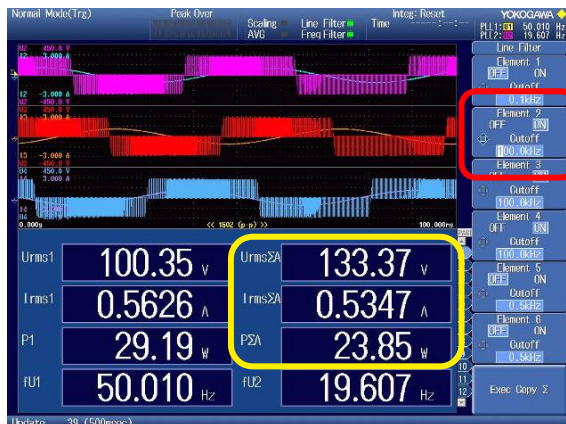


Beispiel: Messung am Umrichter

Bandbreite 100 kHz

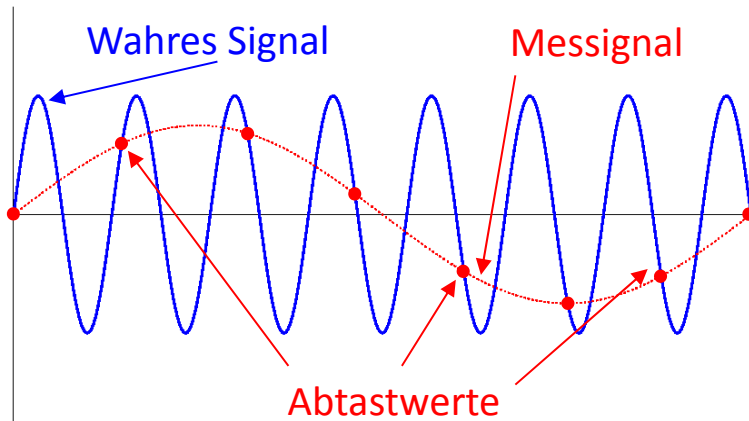
Bandbreite 10 kHz

Bandbreite 500 Hz



Line-Filter (Bandbreitenfilter im Messkreis)

Begründung für Eingangsfiler: Aliasing (Spiegelfrequenzen)



Nach SHANNON:

$$f_{\text{Samplingfrequenz}} > 2 f_{\text{Signalfrequenz}}$$

Aliasing ist in der Antriebstechnik kein Thema. Gut 95 % der Leistung steckt in der Grundschwingung bis ca. 1 kHz. Die Abtastfrequenz der Messgeräte liegen bis zu 2000 mal höher.



Line-Filter (Bandbreitenfilter im Messkreis)

Begründung für Eingangsfiler: EMV-Probleme



Am Umrichterausgang treten immer wieder Probleme mit Störungen im Signal auf.

Die direkte Messung mit den internen Shunts des WTs ist relativ problemlos.

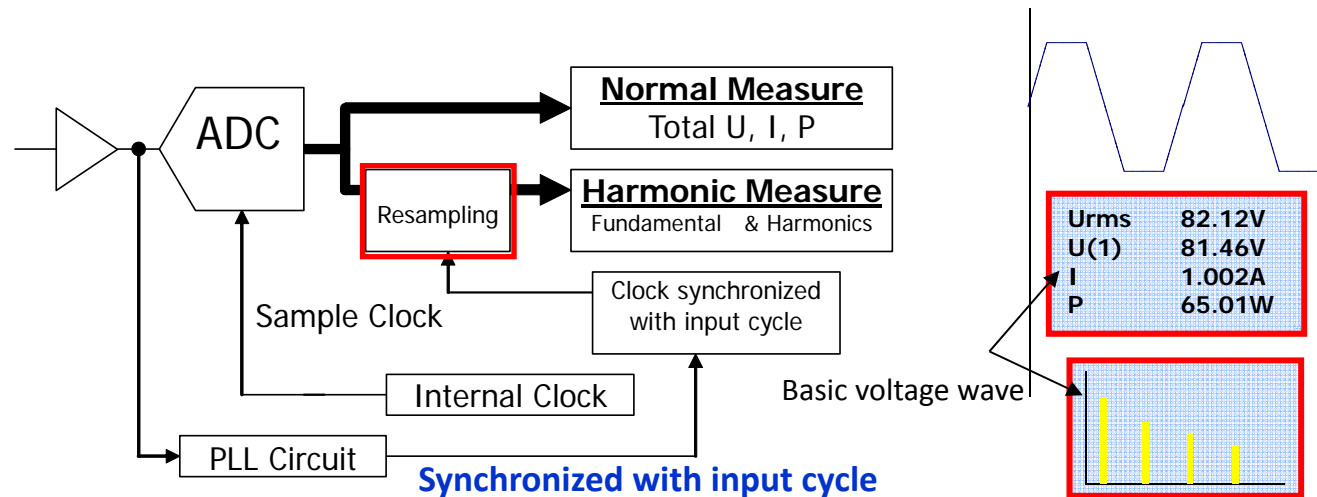
Bei externen Stromsensoren mit niedrigem Ausgangssignal kann ein Eingangsfiler > 50 kHz eine gute Problemlösung darstellen.

Zu niedrig gewählte Filterwerte verfälschen das Ergebnis.

Filterung ist keine Begründung für die Erhöhung des Wirkungsgrades!

Funktionsweise digitaler Leistungsmessgeräte

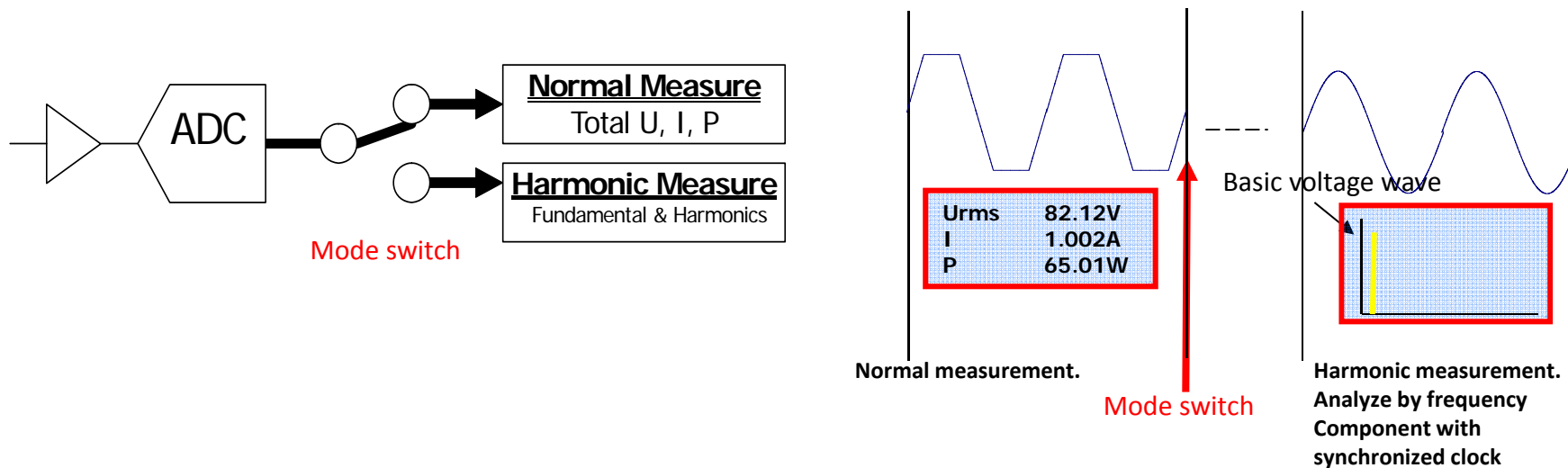
Simultane Harmonischen-Analyse



- Normale Leistungsmessung und Harmonischen-Analyse läuft **simultan!**
- Keine Umschaltung des Messmodus erforderlich.
- Wichtig bei Messungen am Frequenzumrichter/Motor. *I.d.R ist nur die Grundwelle ist für den mechanischen Antrieb verantwortlich.*
- Alle YOKOGAWA Leistungsmessgeräte können **simultan** alle Parameter ermitteln!

Funktionsweise digitaler Leistungsmessgeräte

Keine simultane Messung aller Parameter (veraltete Technik)



- Zwischen zwei Messmodi muss umgeschaltet werden!
- Keine vollständige Analyse aller Parameter zur selben Zeit!
- **Nicht ideal für Messungen am Frequenzumrichter/Motor für gleichzeitige Analyse.**
- **Ungeeignet wenn breitbandige und einzelne Harmonische gleichzeitig zu analysieren sind.**
- **Mehr Zeitaufwand!**

3-phasige Leistungsmessung an elektrischen Antrieben

YOKOGAWA 
TEST & MEASUREMENT



Grundlagen

Blondel's Lehrsatz

Für die Messung der Gesamtleistung (in einem mehrphasigen System) wird ein Wattmeter weniger benötigt als die Anzahl der vorhandenen Leitungen.

1P 2W **1 Wattmeter**

1P 3W **2 Wattmeter** (auch Split Phase genannt - in USA bei Haushaltsgeräten üblich)

3P 3W **2 Wattmeter**

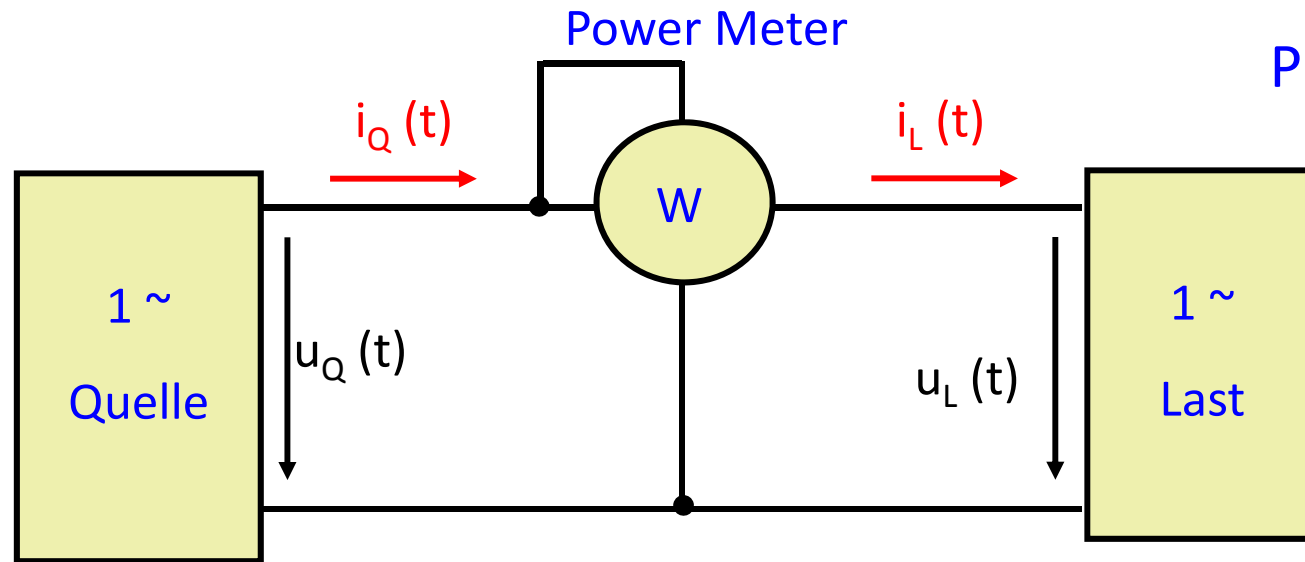
3P 4W **3 Wattmeter**

P = Phase

W = Wire

Grundlagen

1-Phasensystem (1P2W)

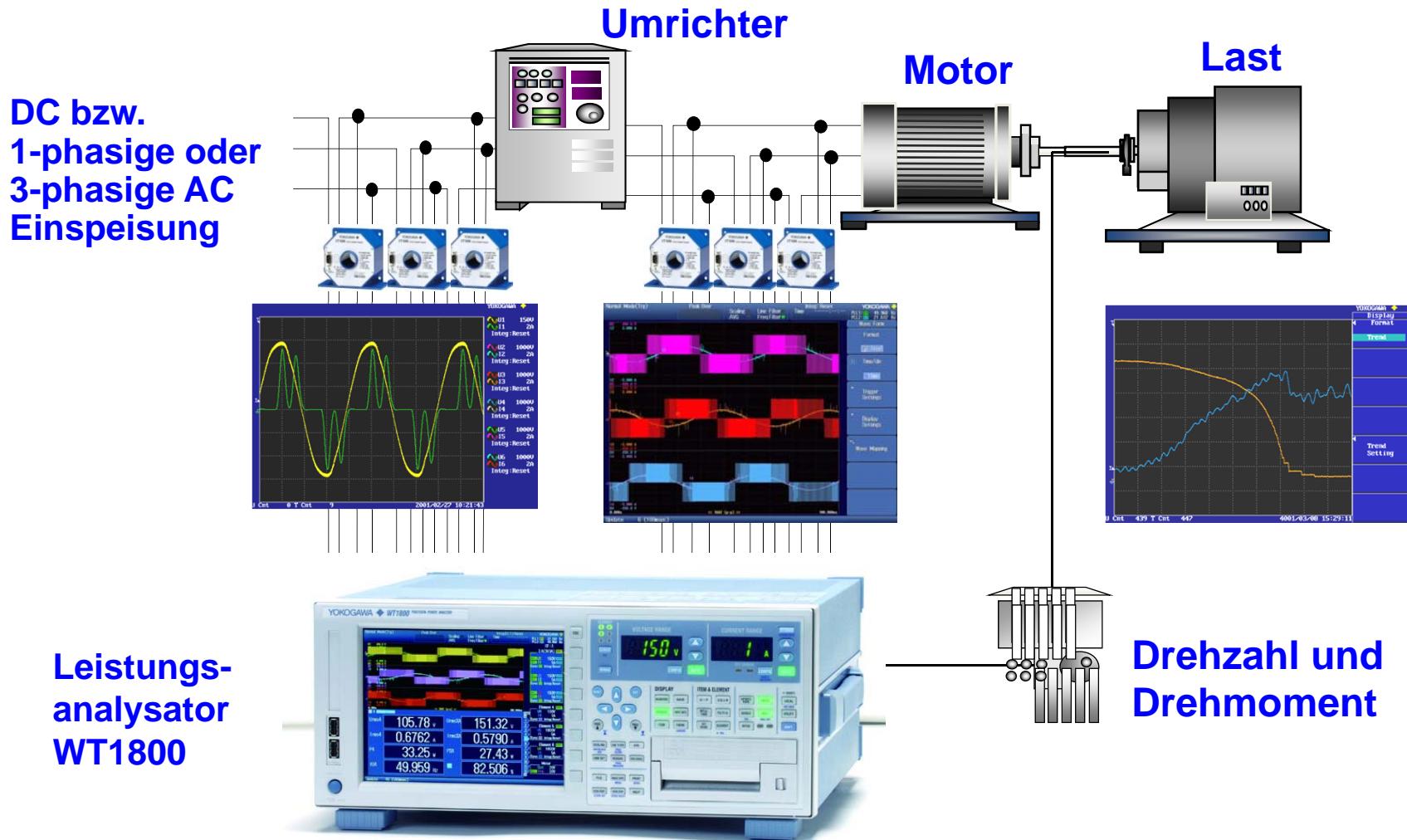


$$P = U_{\text{rms}} \cdot I_{\text{rms}} \cdot \lambda$$

- Bei Einphasensystemen gibt es verdrahtungstechnisch wenig zu beachten.
- Bei langen Leitungen könnten jedoch Leitungsimpedanzen einen Einfluss auf das Ergebnis haben.
- Messgeräteimpedanzen (YOKOGAWA U-Eingang einige M Ω , I-Eingang wenige m Ω) spielen in der Antriebstechnik eigentlich keine Rolle, könnten aber im Messgerät kompensiert werden

3-Phasensysteme

Kompletter Testaufbau an drehzahlvariablen E-Motoren



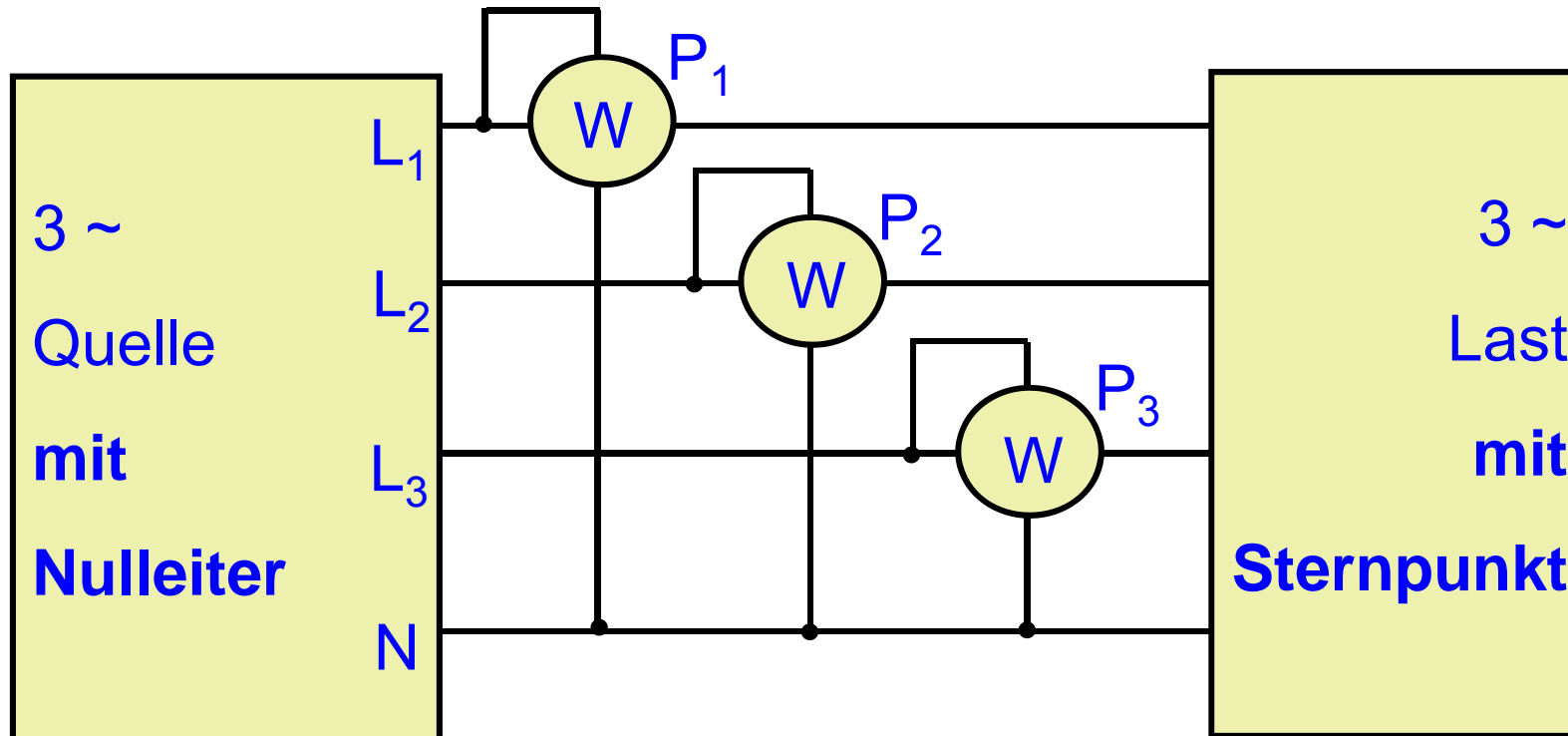
3-Phasensysteme

Messfunktionen und Berechnungen

		Aronschal- tung	Aronschtaltung mit zusätzlichem Wattmeter	
Verdrahtungs- system	1 Phase, 2 Leiter 1P3W	3 Phasen, 3 Leiter 3P3W	3 Phasen, 3 Leiter (3 Spannungen, 3 Ströme) 3P3W (3V3A)	3 Phasen, 4 Leiter 3P4W
U_{Σ} [V]		$(U1 + U2) / 2$	$(U1 + U2 + U3) / 3$	
I_{Σ} [A]		$(I1 + I2) / 2$	$(I1 + I2 + I3) / 3$	
P_{Σ} [W]		$P1 + P2$		$P1 + P2 + P3$

3-Phasensysteme

3-Wattmeter-Methode (3P4W)



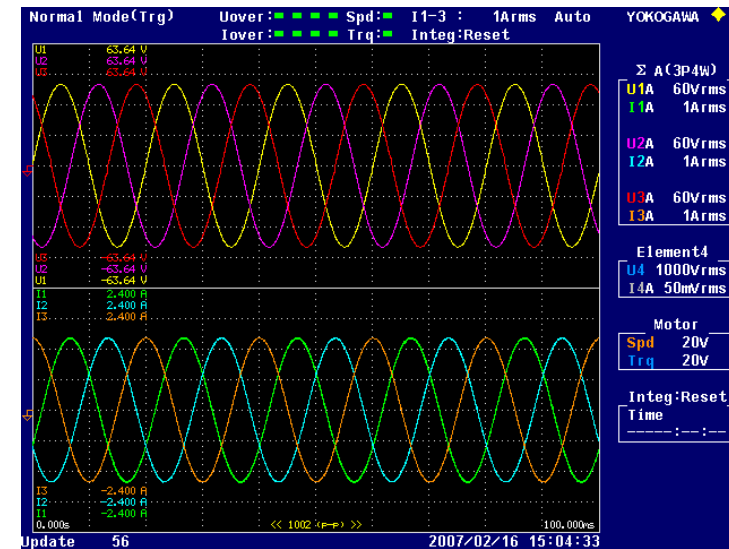
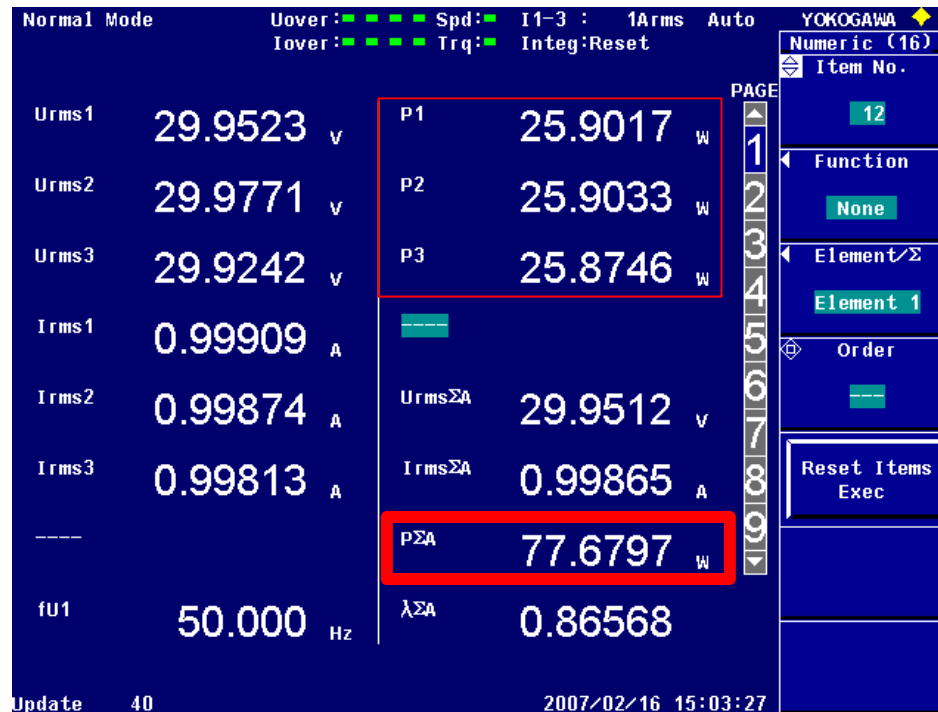
$$U_{\Sigma_{rms}} = (U_{1rms} + U_{2rms} + U_{3rms}) / 3$$

$$I_{\Sigma_{rms}} = (I_{1rms} + I_{2rms} + I_{3rms}) / 3$$

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3$$

3-Phasensysteme

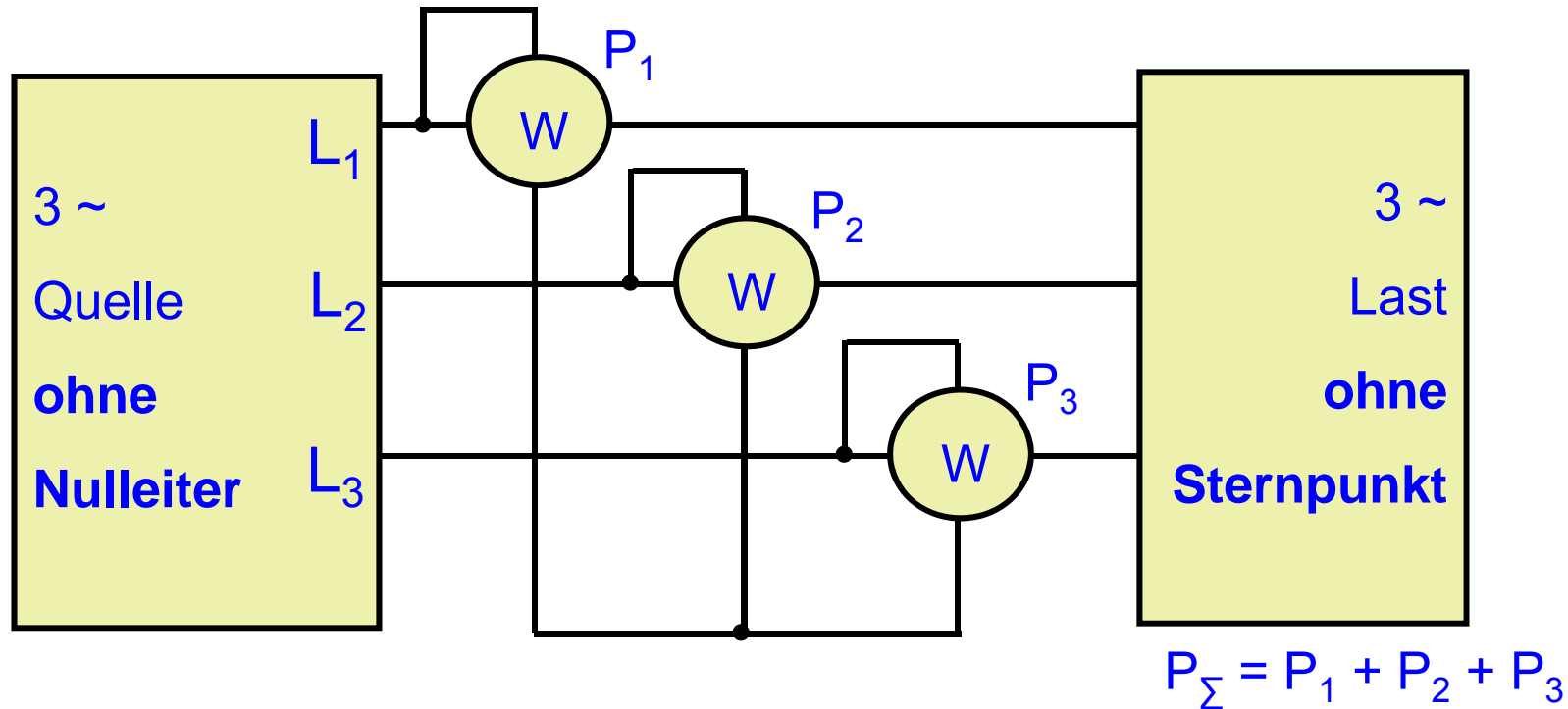
3-Wattmeter-Methode (3P4W)



- Gesamtleistung ist die Summe der drei Einzelleistungen. $P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3$
- Symmetriebetrachtung möglich.
- **Aber:** In der Antriebstechnik kaum einsetzbar, weil der Motorsternpunkt selten herausgeführt ist.

3-Phasensysteme

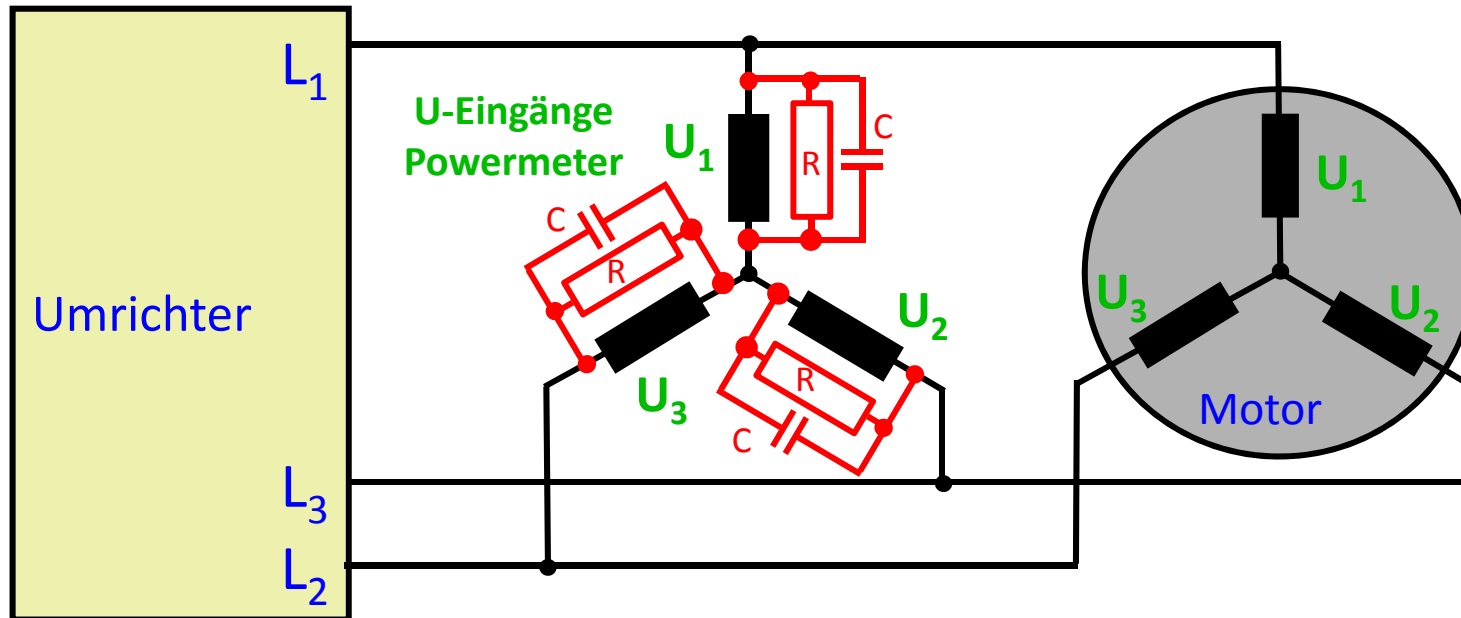
3-Wattmeter-Methode (3P4W) mit künstlichem Sternpunkt



- Künstliche Sternpunktbildung über die drei Low-Buchsen des Leistungsmessgeräts theoretisch möglich.
- **Problem:** Springender Sternpunkt am Umrichterausgang → Impedanzanpassung notwendig.

3-Phasensysteme

3-Wattmeter-Methode (3P4W) mit künstlichem Sternpunktadapter



Sehr unterschiedliche Impedanzen von Spannungseingängen und Motorwicklung führt zu unterschiedlichen Sternpunktpotentialen

Mit $R =$ einige $k\Omega$ und $C =$ einige nF wird ein virtueller Sternpunkt gebildet.

Es ist nicht der Motor-Sternpunkt. Es ein künstlich herausgezogener Mittelpunkt.

Ist die beste Alternative wenn es der Motor-Sternpunkt nicht herausgeführt ist.

3-Phasensysteme

3-Wattmeter-Methode (3P4W) mit künstlichem Sternpunktadapter KSTP

WT Leistungsmessgerät



Einfache Verkabelung

U1, U2, U3 sind ohne Verkettung direkt in die drei Leistungselemente einzustecken.



Mit $R =$ einigen $k\Omega$ und $C =$ einigen nF wird die Impedanz der Eingänge angepasst.



Einfache Verkabelung

U1, U2, U3 sind die drei Phasenspannungen der Last

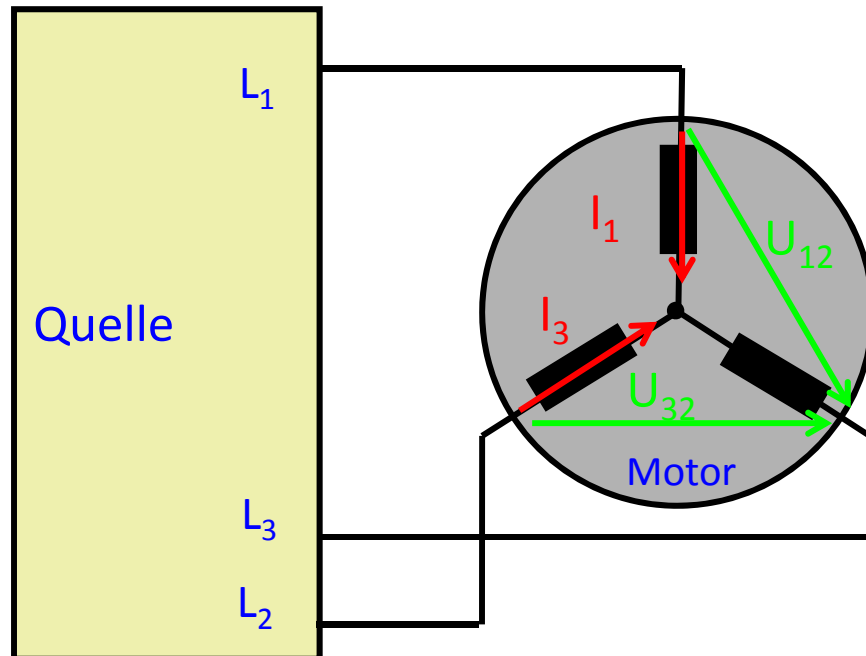
3-Phasensysteme

Messfunktionen und Berechnungen

		Aronschal- tung	Aronschtaltung mit zusätzlichem Wattmeter	
Verdrahtungs- system	1 Phase, 2 Leiter 1P3W	3 Phasen, 3 Leiter 3P3W	3 Phasen, 3 Leiter (3 Spannungen, 3 Ströme) 3P3W (3V3A)	3 Phasen, 4 Leiter 3P4W
U_{Σ} [V]		$(U_1 + U_2) / 2$	$(U_1 + U_2 + U_3) / 3$	
I_{Σ} [A]		$(I_1 + I_2) / 2$	$(I_1 + I_2 + I_3) / 3$	
P_{Σ} [W]		$P_1 + P_2$		$P_1 + P_2 + P_3$

3-Phasensysteme

2-Wattmeter-Methode (3P3W)



Die Aronschaltung

Dahinter steckt eine einfache Rechnung. Aus den Einzelleistungen, bezogen auf einen virtuellen Mittelpunkt, errechnet sich die Gesamtleistung zu

$$p = p_a + p_b + p_c = u_a \cdot i_a + u_b \cdot i_b + u_c \cdot i_c$$

Unter der Annahme, dass keine Leckströme auftreten, gilt

$$i_a + i_b + i_c = 0 \text{ oder } i_b = -i_a - i_c$$

Oben eingesetzt, ergibt sich

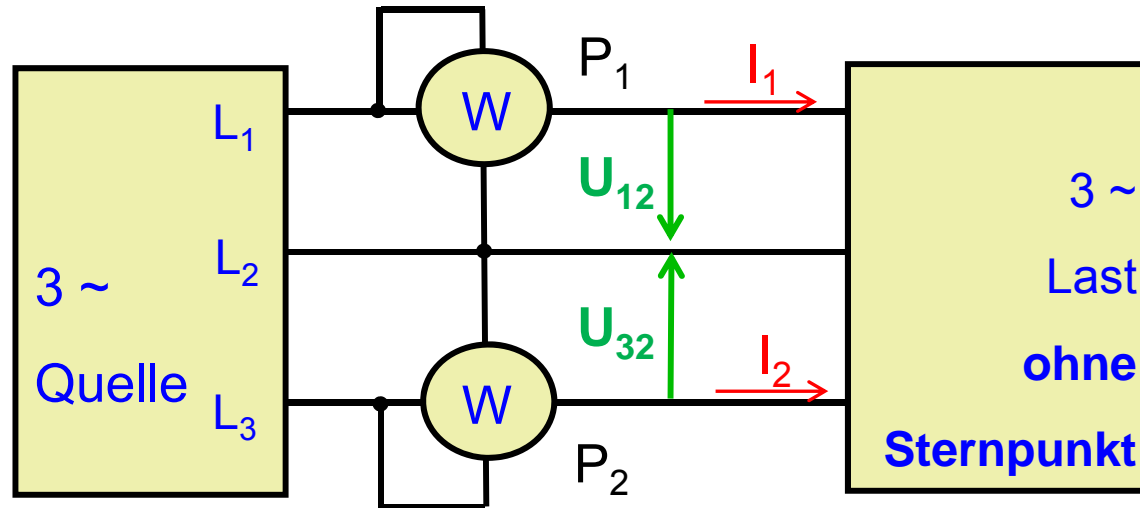
$$\begin{aligned} p &= u_a \cdot i_a - u_b \cdot (i_a + i_c) + u_c \cdot i_c \\ &= (u_a - u_b) \cdot i_a + (u_c - u_b) \cdot i_c \\ &= u_{ab} \cdot i_a + u_{cb} \cdot i_c \end{aligned}$$

Es reicht also, die Leistung zweier Phasen gegeneinander zu messen – vorausgesetzt, dass die Annahme gilt!

- Vollkommen **ohne** Sternpunktbildung kommt die Zwei-Wattmeter-Methode (Aronschaltung) aus.
- Zwei-Wattmeter reichen für die **Gesamtleistung** aus, aber ein Rückschluss auf die Leistungen der einzelnen Phasen ist nicht möglich.

3-Phasensysteme

2-Wattmeter-Methode (3P3W)



$$P_1 = U_{12} \cdot I_1 \cdot \cos\phi_1$$

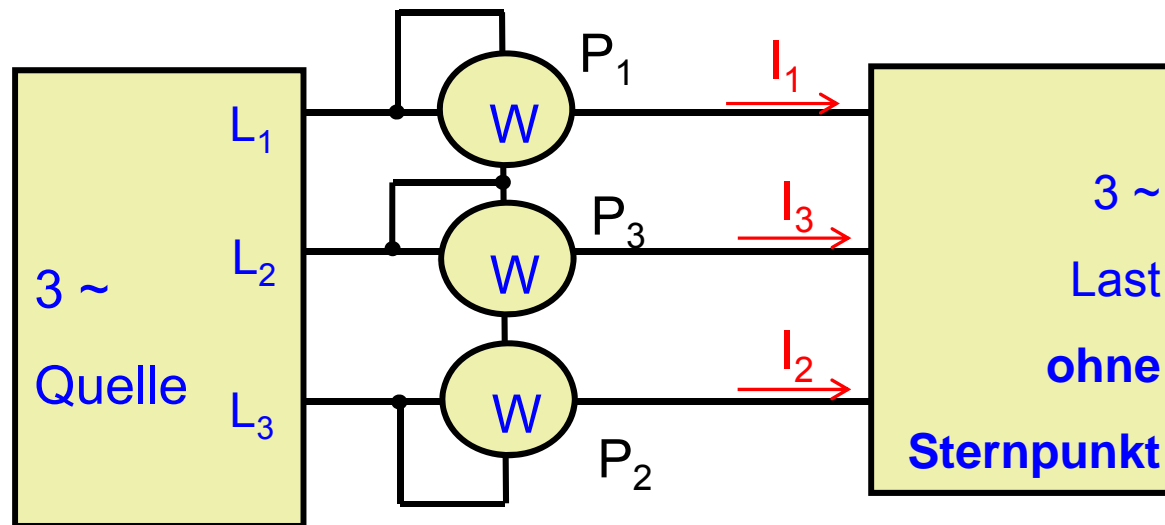
$$P_2 = U_{32} \cdot I_3 \cdot \cos\phi_3$$

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2$$

- Anstatt des Sternpunktes ist hier eine Phase die Referenz.
- Es werden Aussenleiterspannungen gemessen.
- Da nicht die Strangspannungen zum Mittelpunkt gemessen werden, machen auch die Einzelleistungen keinen Sinn! Die Summenleistung stimmt.
- **Voraussetzung: keine Leckströme: $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ (Kirchhoffsches Gesetz)**
- → ist für Messungen am Umrichter nicht empfehlenswert

3-Phasensysteme

2-Wattmeter-Methode (3V3A) mit zusätzlichem Wattmeter



$$P_1 = U_{12} \cdot I_1 \cdot \cos\phi_1$$

$$P_2 = U_{32} \cdot I_3 \cdot \cos\phi_3$$

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2$$

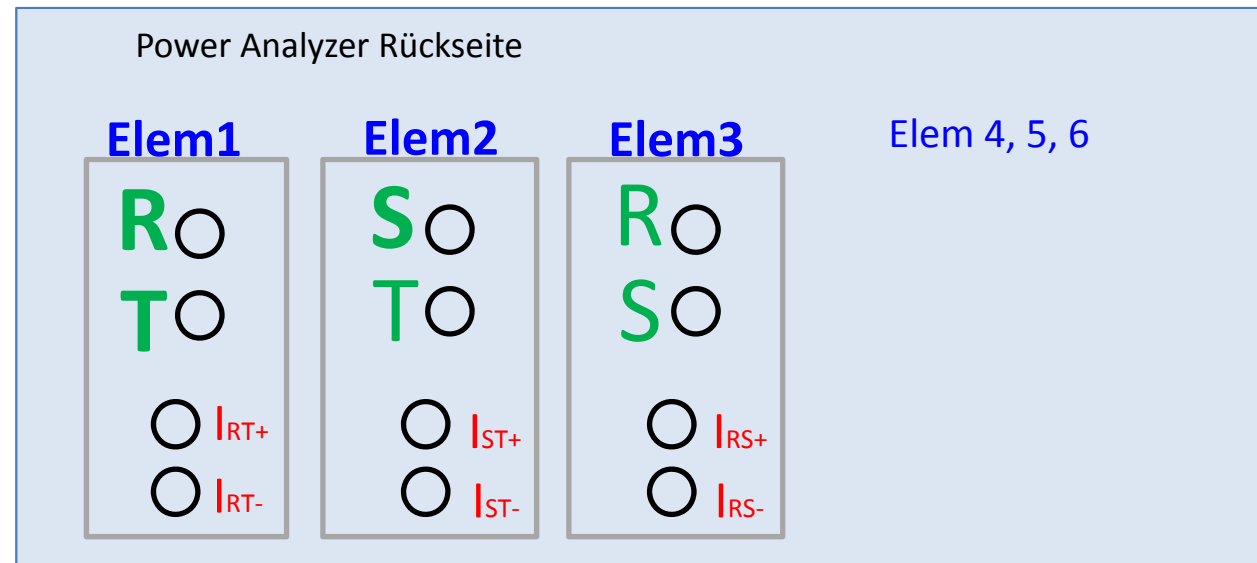
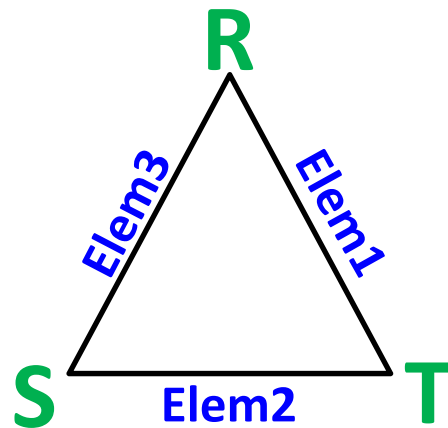
- **Keine 3-Wattmeter-Methode! Aronschaltung mit zusätzlichem Wattmeter.**
- Es werden Aussenleiterspannungen gemessen (Dreieck).
- **Man erhält die Gesamtwirkleistung auch aus der Summe von zwei Wattmetern!**
- **Man beachte, dass keines der Wattmeter die korrekte Einzelleistung je Phase anzeigt!**
- Statt Mittelpunkt dient auch bei 3V3A eine Phase als Referenz (vertauschbar.)

3-Phasensysteme

2-Wattmeter-Methode (3V3A) mit zusätzlichem Wattmeter

ACHTUNG:

Bei der Aronschaltung werden die Spannungen in verketteter Form angeschlossen (im Dreieck).



3-Phasensysteme

Zusammenfassung 1/4

VORTEILE 3P4W (Stern)

- Die drei Wattmeter benutzen den neutralen Leiter (MP) als gemeinsame Spannungsreferenz
- Jedes Wattmeter zeigt die Leistung pro Phase an
- Die Gesamtleistung aller 3 Phasen ist die algebraische Summe der 3 einzelnen Phasen.

VORTEILE 3V3A (Dreieck)

Warum sollte man bei einer Aronschaltung doch die 3V3A Methode verwenden?

- Direkte Messung aller 3 Phasenströme zur Beobachtung der Lastsymmetrie und Leckströme $\Delta i = i_1 + i_2 + i_3$
- Direkte Messung aller 3 Phasenspannungen zur Beobachtung der Generatorsymmetrie

3-Phasensysteme

DELTA Transformation

- Gegenseitige Umrechnung von Stern- und Dreieckskonfigurationen.
- Auch bei 3-phasigen Systemen ohne Mittelpunktleiter werden Strang- und Leiter-spannungen plus die einzelnen Phasenleistungen angezeigt.
- Somit werden alle elektrischen Werte und die Symmetrie eines 3-Phasensystems in einer Messung analysiert.
- **WT3000, WT1800 und WT500 unterstützen die DELTA Transformation**
- WT1800 bietet die umfangreichste DELTA Berechnung

3-Phasensysteme

DELTA Transformation



Line Voltage and Phase Current (3P3W > 3V3A)



Die nicht mitgemessene Aussenleiterspannung und Phasenstrom werden rechnerisch ermittelt

3-Phasensysteme

DELTA Transformation

Messung

Element4	Element5	$\Sigma B(3P3W)$	Element6
A 300V	A 300V		1000V
A 2A	A 2A		50A
248.50	248.54	248.52	
0.6632	0.6441	0.6537	
134.05	7.99	142.04	

U_{rms}
 I_{rms}
P

**Aron-Schaltung
3P3W
(Außenleiter-
spannungen
 U_{L1-L2})**

Berechnung

$\Sigma B(3P3W)$	$\Sigma C(None)$
Ur sB 248.59	

I tB 0.6583	

**Berechnung der
fehlenden
Strangspannung und
des Phasenstroms
aus 3P3W**

U_{rms}
 I_{rms}
P

U1	I1	Sync
U2	I2	Sync
U3	I3	Sync
U4	I4	Sync
U5	I5	Sync
U6	I6	Sync

3-Phasensysteme

DELTA Transformation



Delta-Star transformation (Delta > Star)



→ Simultane Berechnung der einzelnen Phasenspannungen, Phasenleistungen und Neutralleiterstrom

Star-Delta transformation (Star > Delta)



→ Simultane Berechnung der Außenleiter-spannungen und Neutralleiterstrom

3-Phasensysteme

DELTA Transformation

Messung

	Element1 Element2 Element3 $\Sigma A(3V3A)$				Element4 Element5 Element6 $\Sigma B(3P4W)$			
	300V 1A	300V 1A	300V 1A		150V 2A	150V 2A	150V 2A	
Urms [V]	249.65	249.62	249.70	249.66	144.47	144.12	143.88	144.16
Irms [A]	0.6727	0.6530	0.6675	0.6644	0.6724	0.6526	0.6670	0.6640
P [W]	135.30	5.54	127.49	140.84	46.53	45.79	48.51	140.84
S [VA]								
Q [var]								
λ [-]								
ϕ [°]								
fU [Hz]								
fI [Hz]								

3V3A Aronschaltung
mit zusätzlichem
Wattmeter
(Außenleiterspannung zu
Außenleiterspannung U_{L1-L2}
werden gemessen)

3P4W mit KSTP
Drei-Wattmeter Methode
(Phasenspannungen U_{L1-N}
werden gemessen)

Berechnung

		$\Sigma A(3V3A)$	$\Sigma B(3P4W)$
UrA		144.16	Ur sB 249.69
UsA		144.15	UstB 249.65
UtA		144.11	UtrB 249.62
U Σ A		144.14	U Σ B 249.66
InA		0.0143	InB 0.0141
PrA		46.58	
PsA		45.81	
PtA		48.46	
P Σ A		140.84	

DELTA Measure:
Gerechneter
Sternpunkt und
Phasenspan-
nungen
aus 3V3A

Leckstrom

DELTA Measure:
Berechnung der
Außenleiterspan-
nungen
aus 3P3W

3-Phasensysteme

Zusammenfassung 2/4

- Nahezu bei keinem modernen Motor wird der Mittelpunktleiter herausgeführt.
- Wir bieten für eine umfangreiche Analyse zwei messtechnische Lösungen an:

→KSTP künstlicher Sternpunktadapter

Verwendung eines künstlichen Sternpunktes (virtuelle Masse), um den Mittelpunkt zu simulieren und mit der gewohnten 3P4W Methode in Stern zu messen.



→DELTA Berechnung

Die DELTA Funktion gestattet die gegenseitige Transformation von Stern- und Dreieckskonfigurationen.

DELTA Berechnung ist sowohl bei 3P4W als auch bei 3V3A sinnvoll!

3-Phasensysteme

Zusammenfassung 3/4

- Am Besten: Zugang zum Mittelpunktsteiter vom Motor!
 - Phasenspannungen und –leistungen (in 3P4W) können direkt gemessen werden

- Motor ohne Sternpunkt
 - Künstlicher Sternpunktadapter (KSTP) ist die beste Alternative für die Analyse der Strangspannungen
 - Somit können U, P und weitere Parameter (in 3P4W) auf die jeweilige Phase bezogen gemessen und gerechnet werden
 - Jedes Wattmeter zeigt die **Leistung pro Phase** an

3-Phasensysteme

Zusammenfassung 4/4

- **3V3A Messung in Dreieckverdrahtung** (*Aronschaltung mit drei Wattmetern*)
 - Es werden Aussenleiterspannungen gemessen
 - Keine Aussage über die Phasenspannungen, und –leistungen möglich
 - Gesamtwirkleistung wird aus der Summe von **zwei Wattmetern** gebildet
 - **Keines** der drei Wattmeter die zeigt korrekte Einzelleistung je Phase anzeigt
 - Statt Mittelpunkt ist einer der drei Phasen die Referenz (vertauschbar)

- **DELTA Berechnung**
 - **Ist sowohl bei 3P4W als auch bei 3V3A sinnvoll!**
 - Bei der Messung in 3P4W werden die Aussenleiterspannungen berechnet
 - Bei der Messung in 3V3A werden die einzelnen Phasenspannungen und Phasenleistungen berechnet
 - Der Neutraleiterstrom (Ableitstrom) wird berechnet
 - **Somit können alle elektrischen Werte und die Symmetrie eines 3-Phasen Systems mit einer Messung auf einem Blick analysiert werden. Es muss nicht neuverkabelt werden.**

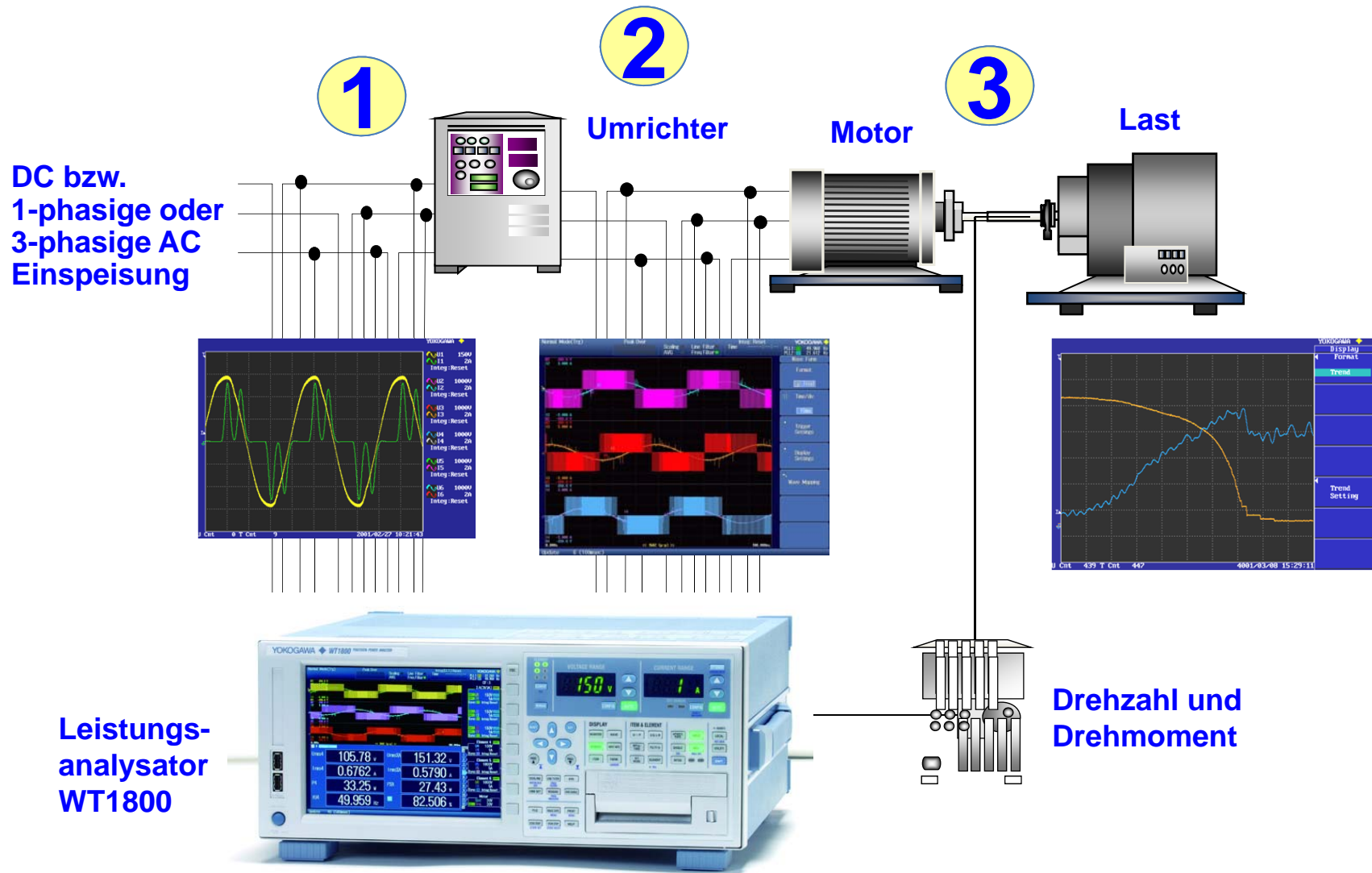
Umrichter Kurvenformen, Wirkungsgrad- und Verlustleistungsmessung

YOKOGAWA 
TEST & MEASUREMENT



3-Phasensysteme

Kompletter Testaufbau an drehzahlvariablen E-Motoren



Leistungsmessung an el. Antrieben

Was kann alles mit einem Leistungsanalysator gemessen werden?

1 Präzise Leistungsmessung am Eingang & Ausgang des Frequenzumrichters

- Präzise Verlustleistungs- und Wirkungsgradberechnung
- Messung anderer Parameter und Funktionen des elektrischen Antriebs

2 Präzise Messung der Motoreingangsleistung

- Messung und Analyse des umrichterbetriebenen E-Motors
- Wirk-, Blind-, und Scheinleistungen, Leistungsfaktor, u.v.a. Parameter im dreiphasigen System

3 Präzise Messung der mechanischen Leistung

- Drehmoment- und Drehzahlmessung für die Berechnung der mech. Leistung
- Drehmoment- und Drehzahlkurven

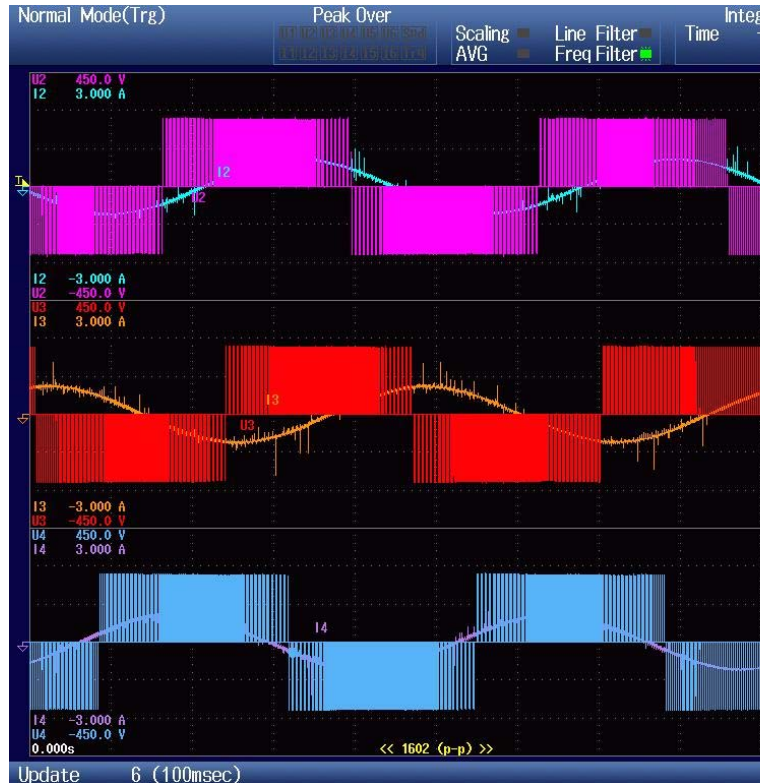
Leistungsanalysatoren werden zur Messung elektrischer und mechanischer Leistung eingesetzt

- Alle Messungen werden **synchron** ausgeführt – ohne Zeitversatz zwischen elektrischer und mechanischer Messung
- Präzise Wirkungsgradbestimmung des Gesamtsystems

Leistungsmessung an el. Antrieben

Messungen am Umrichter

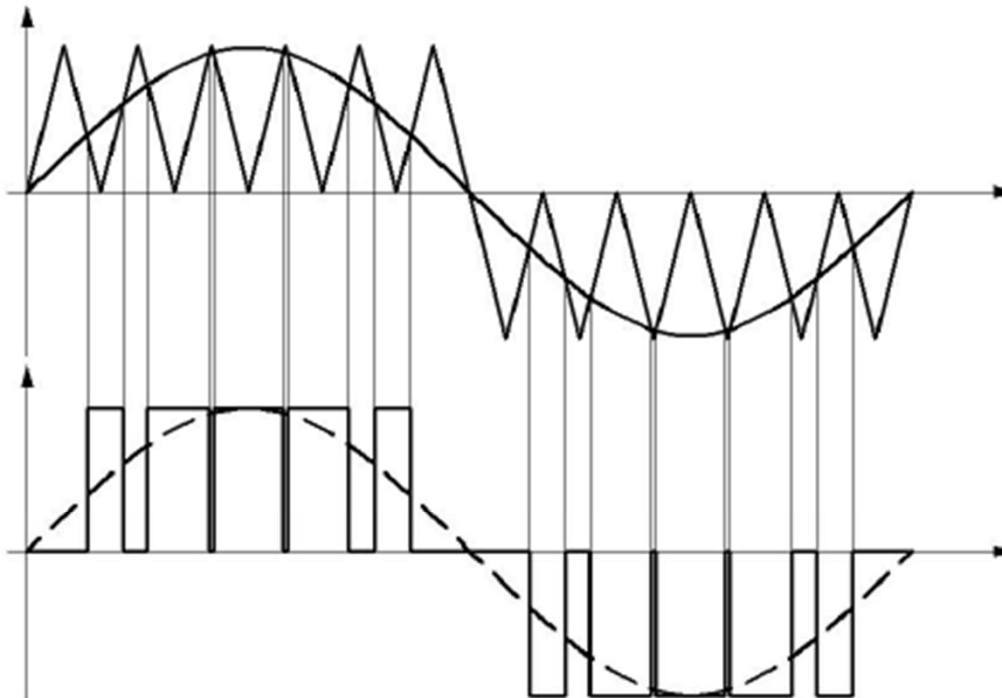
Beispielhaft:
Kurvenformen von
Umrichtersignalen



Beispielhaft:
Graphische Harmonischen-
Analyse von Umrichtersignalen

Leistungsmessung an el. Antrieben

Messungen am Umrichter



Bei der PWM (Pulsweitenmodulation, oder PBM, Pulsbreitenmodulation) wird die Amplitude der Signalspannung konstant gehalten, dafür variiert die Breite der Impulse und es entstehen gepulste Spannungsblöcke mit unterschiedlichen Breiten. Die Breite der Pulse wird erzeugt indem man über das Grundsignal eine Dreiecksspannung legt. Die Schnittpunkte der sinusförmigen Grundspannung und der Dreiecksspannung ergeben die Breite der Rechtecksimpulse. Gibt man diese Impulsfolge auf einen Motor wird sich ein annähernd sinusförmiger Strom einstellen.

Leistungsmessung an el. Antrieben

Messungen am Umrichter

- Spannungsmessung am Frequenzumrichter
 - Breitbandige Effektivwertmessung und **simultane** Harmonischen-Analyse. Somit werden die Amplituden aller Harmonischen berechnet.
 - Präzise Messung der Grundwelle, welches i.d.R. den E-Motor antreibt.

- Strommessung am Frequenzumrichter
 - Strom ist aufgrund der Induktivität des Motors weitgehend sinusförmig
 - Breitbandige Effektivwertmessung und **simultane** Harmonischen-Analyse. Die Harmonischen-Anteile des Stromes sind für die Erwärmung des Motors verantwortlich.

Leistungsmessgeräte müssen in der Lage sein simultan breitbandige Effektivwerte und Harmonischen-Analyse durchzuführen.

Leistungsmessung an el. Antrieben

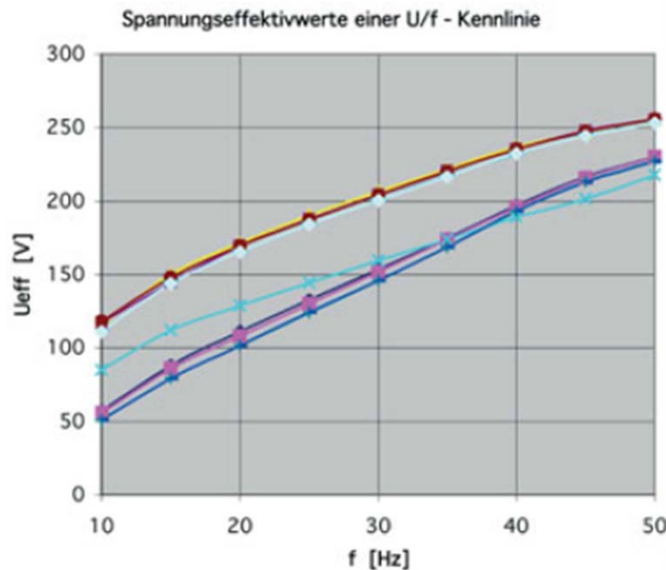
Messproblematik bei Umrichtersignalen

- Das (ungefilterte) Spannungssignal enthält hohe Amplituden des Taktsignales
 - Komplexes Frequenzgemisch von DC bis einige kHz
 - Überlagerte Taktimpulse mit hoher Flankensteilheit
 - Variable Frequenz der Grundschiwingung von DC bis einige Hundert Hz.
- Das (ungefilterte) Strom-Signal enthält hohe Amplituden eines Gleichtaktsignales
 - Der Leistungsmesser benötigt eine hohe Gleichtaktunterdrückung auch bei hohen Frequenzen
 - Geeignete Stromsensoren verbessern die Gleichtaktunterdrückung erheblich.
- Eine variable, wohlbedachte Filterung (Line-Filter) der Signale ist sinnvoll.

Leistungsmessung an el. Antrieben

Messungen am Umrichter (U/f)

- Umrichter sollen ein konstantes Verhältnis von Spannung zu Frequenz aufrechterhalten.
- Die Größe U/f (V/Hz) kann für die Spannung den gesamten Effektivwert oder die Amplitude der Grundschiwingung verwenden.
- Die **“Benutzerspezifischen Mathematikfunktionen”** erlauben die direkte Berechnung von U/f.



User Defined Function Settings

Function	ON/OFF	Name	Unit
Function 1	<input type="checkbox"/> OFF <input checked="" type="checkbox"/> ON	U1ges/f	V/Hz
Expression	UK(E1,ORT)/FU(E1)		
Function 2	<input type="checkbox"/> OFF <input checked="" type="checkbox"/> ON	U1(1)/f	V/Hz
Expression	UK(E1,OR1)/FU(E1)		
Function 3	<input type="checkbox"/> OFF <input checked="" type="checkbox"/> ON	U/f(I)	V/Hz
Expression	UK(E1,ORT)/FI(E1)		
Function 4	<input type="checkbox"/> OFF <input checked="" type="checkbox"/> ON	I-ripple	%
Expression	(IPPK(E1)-IMPK(E1))/2/IDC(E1)*100		
Function 5	<input type="checkbox"/> OFF <input checked="" type="checkbox"/> ON	D-UrmsR	V
Expression	DELTAU1RMS(E7)		

F01-F05 F06-F10 F11-F15 F16-F20

Leistungsmessung an el. Antrieben

Messungen am Umrichter (U/f)



Mechanische Leistungsmessung

Motor Setup Menü WT1800



Normal Mode

Peak Over

Scaling ■ Line Filter ■ Time Integ: Reset

AVG ■ Freq Filter ■

YOKOGAWA

PLL1: U1 Error

PLL2: I2 Error

CF: 3

MOTOR Settings

	Speed	Torque	Pm
Scaling	1.0000	1.0000	1.0000
Unit	rpm	Nm	W
Sense Type	Pulse	Pulse	
Analog Auto Range	OFF	OFF	
Analog Range	20V	20V	
Linear Scale A	1.000	1.000	
Linear Scale B	0.000	0.000	
	Calculation	Calculation	
Line Filter	OFF		
Sync Source	None		
Pulse Range Upper	0.0000	5000.0000	
Pulse Range Lower	5000.0000	5000.0000	
Rated Upper		100.0000	15000Hz
Rated Lower		0.0000	5000Hz
Pulse N	60		
Sync Speed	Pole: 2	Source: U1	
Electrical Angle Measurement	OFF	Electrical Angle Correction	

Update 77 (1sec)

2012/02/28 00:08:58

Einstellungsfenster für Drehzahl- und Drehmomentensensor.

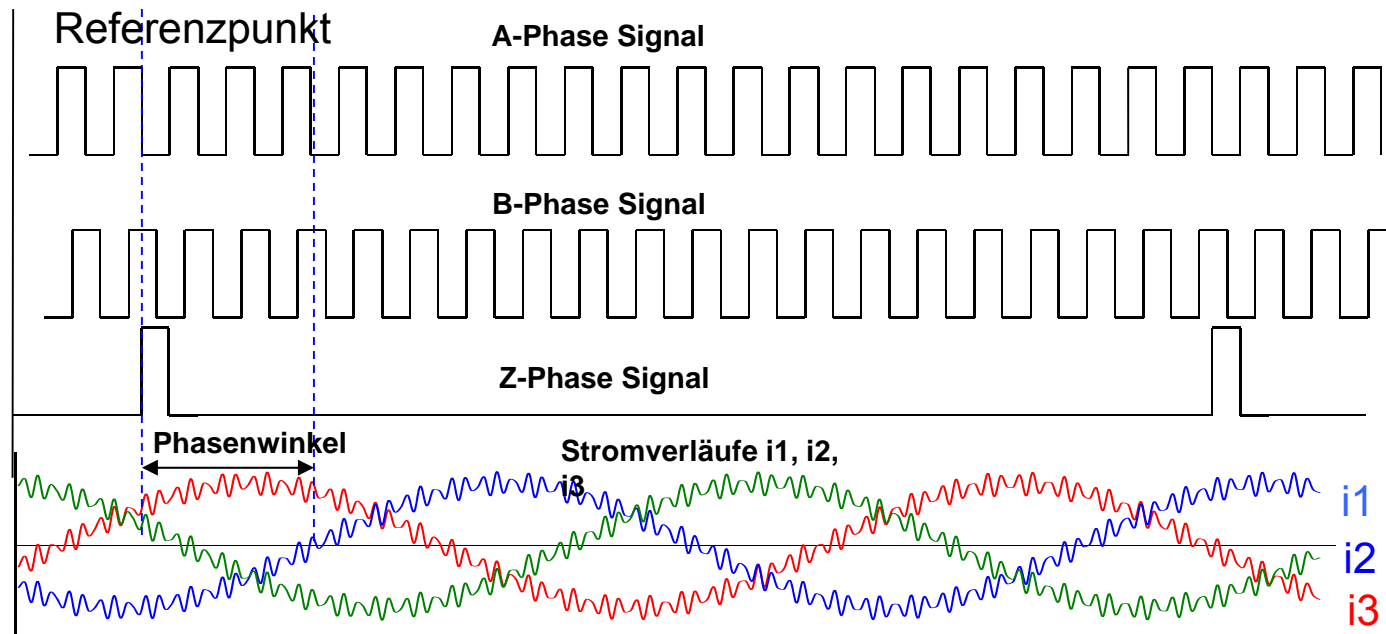
Synchrone Messung der elektrischen und mechanischen Leistung.

Analoge oder Pulssignale bis 20 Veff möglich

Mechanische Leistungsmessung

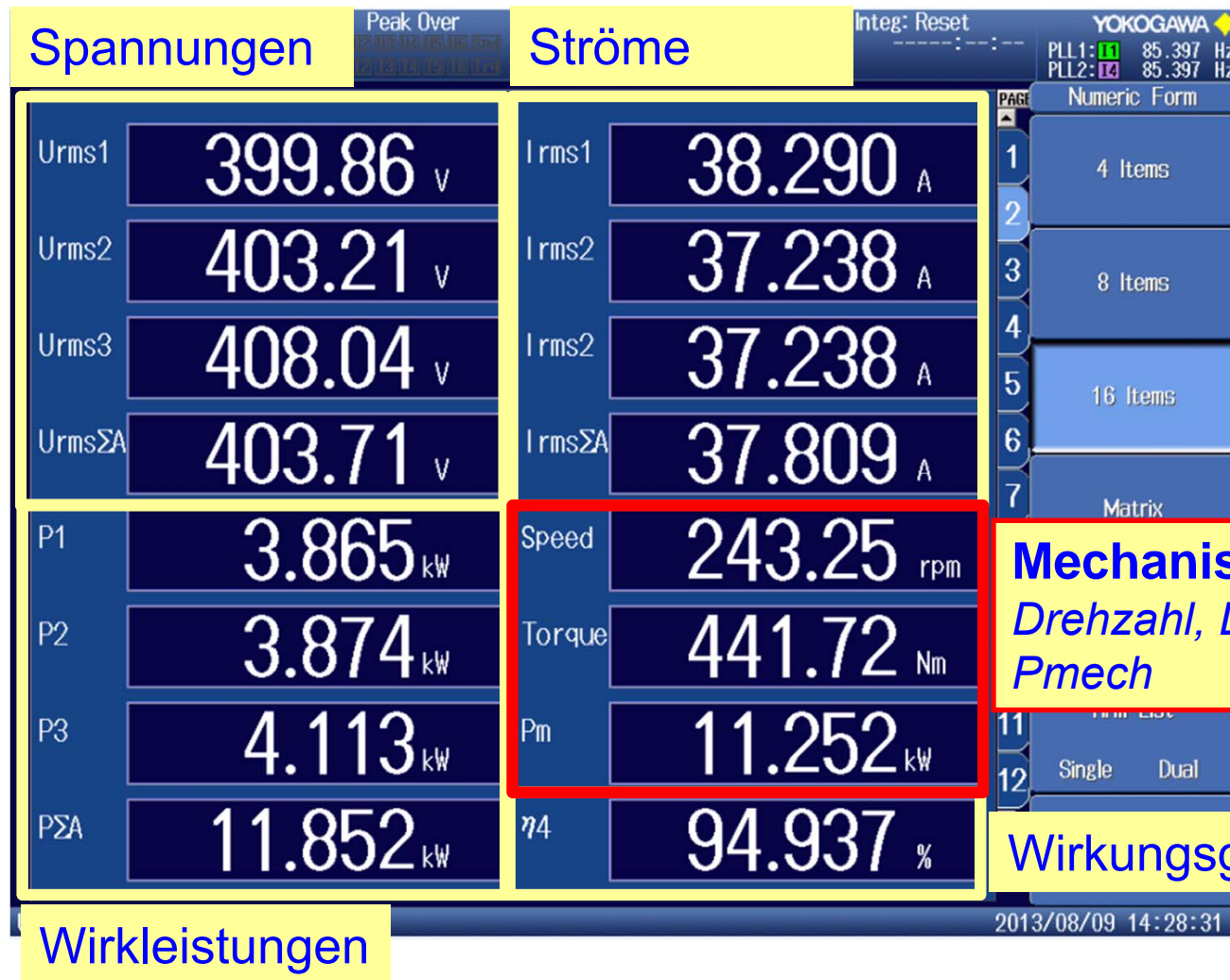
Motor Eingänge WT1800

Die um 90° versetzten Drehzahlimpulse ermöglichen die **Drehrichtungsbestimmung**.



Der Z-Impuls dient als Referenzpunkt und wird pro Umdrehung einmal generiert. Mit diesem Referenzsignal und dem Nulldurchgang des Stromes i_1 kann der WT1800 den **elektrischen Phasenwinkel des Motors messen**.

Mechanische Leistungsmessung



Drehzahl und Drehmoment am **WT1800** in einem individuell zusammengestellten Numeric Fenster

Mechanische Parameter:
Drehzahl, Drehmoment
P_{mech}

Wirkungsgrad

Elektrischer-, mechanischer- und Gesamtwirkungsgrad



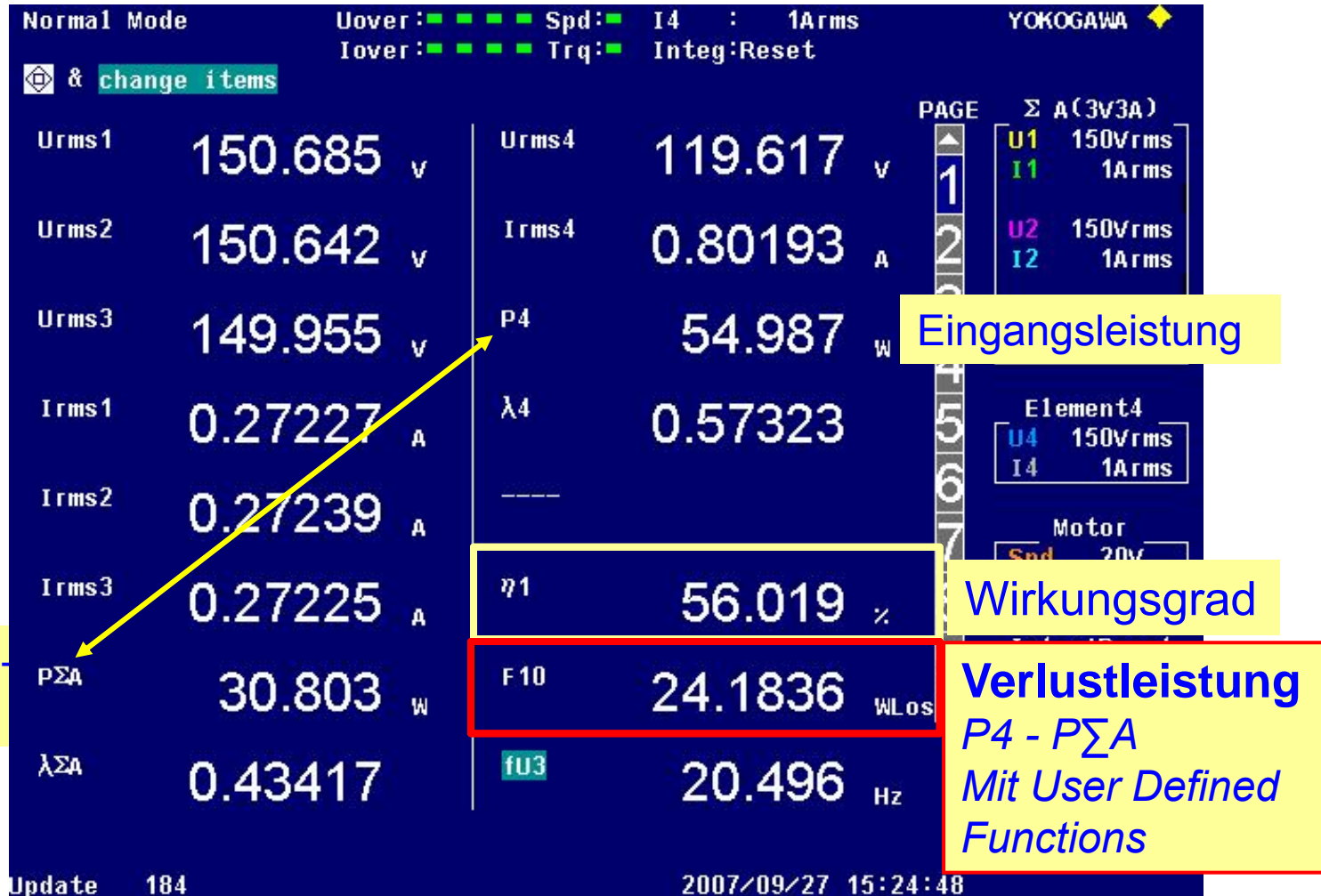
Umrichter
Wirkungsgrad

Gesamt-
wirkungsgrad

Motor-
Wirkungsgrad

Wirkungsgrad Setup Menu **WT1800**

Umrichter Verlustleistung



Individuelles Numeric Fenster im **WT3000**

Spezifikationen breitbandiger Leistungsmessgeräte

YOKOGAWA 
TEST & MEASUREMENT



Spezifikationen breitbandiger Leistungsmessgeräte

■ BASISGENAUIGKEIT

- Es gibt unter den Herstellern **keine** einheitliche Definition der Basisgenauigkeit
Oft wird die Basisgenauigkeit bei AC 50/60 Hz definiert

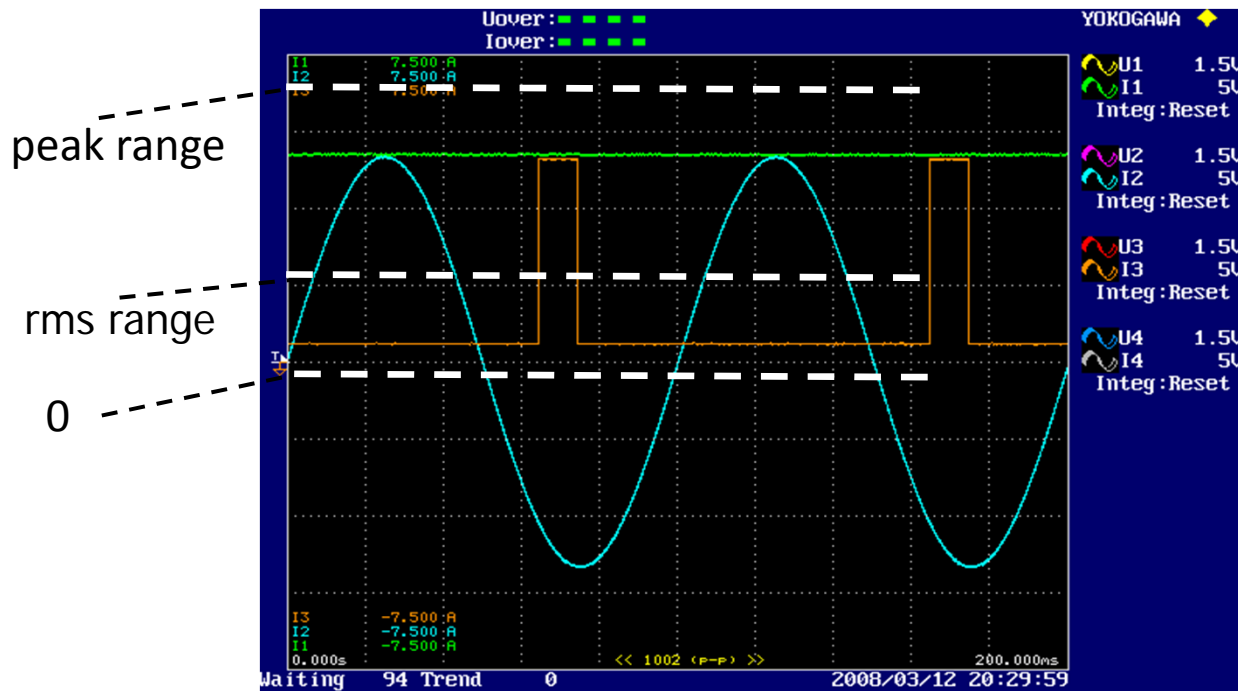
■ AMPLITUDENGENAUIGKEIT

- wird stets in % **vom MW + % vom MB** angegeben
 - % v. MW Messwertfehler (Ablesefehler)
 - % v. MB Messbereichsfehler
- **Je nach Aussteuerung des Messbereichs geht der Messbereichsfehler stärker in den Gesamtfehler ein.**

Je nach Hersteller kann der Messbereich als Spitzenwert oder Effektivwert mit Crest-Faktor (Dynamik der Eingänge) definiert sein.

- **Messbereiche der Yokogawa Power Analyzer sind immer Effektivwerte mit Crest-Faktor 3 oder 6.**
- Bezogen auf die Definition anderer Hersteller beträgt der Yokogawa Crest-Faktor 300.
- Bei Geräten, die Messbereiche grundsätzlich nur über Spitzenwerte definieren, ist der CF des Einganges nach Yokogawa-Spezifikation 1.

Spezifikationen breitbandiger Leistungsmessgeräte



DC-Signal

Messbereichsgenauigkeit unwichtig. Im Autorange werden alle Bereiche des Signals mit höchster Genauigkeit abgetastet.

SINUS-Signal

Messbereichsgenauigkeit wichtiger. Genauigkeit im Bereich der Nulldurchgänge gering.

VERZERRTE KURVENFORM

Messbereichsgenauigkeit sehr wichtig. Der größte Teil des Signals liegt im wenig ausgesteuerten Bereich.

Spezifikationen breitbandiger Leistungsmessgeräte

■ Weiterhin zu beachten sind folgende Punkte der Spezifikationen:

- Definition der Messbereiche?
- Gültigkeitsbereich der Genauigkeitsangaben? (z.B. **garantierte** Genauigkeit ab 1% Aussteuerung bis 130% Aussteuerung der Messbereiche?)
- Phasenwinkelfehler des Messgerätes?
- Fehlereinfluss des Leistungsfaktors?
- Temperaturbereich der Genauigkeitsangaben? (z.B. $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Messbandbreite oder -3dB Punkt angegeben?
- Aufwärmzeit? (z.B. 30 min)
- Simultane Messung der breitbandigen Werte und Harmonischen-Analyse?
- Wie wird die Harmonischen-Analyse ermittelt? (nur SW oder PLL Phase Locked Loop)
- Ist die Harmonischen-Analyse spezifiziert?
- Hohe Gleichtaktunterdrückung?
- Garantiedauer?
- Vergleichbare Kalibrierprotokolle von unabhängigen Kalibrierlaboren!

■ Beispiel:

- Messbereich: $300 V_{\text{rms}}$ (Effektivwert mit Crest-Faktor 3)
- Ab $3 V_{\text{rms}}$ ($\pm 1\%$) bis $390 V_{\text{rms}}$ ($\pm 130\%$) mit dem selben Messwertfehler
- Bis $900 V_{\text{peak}}$ ($\pm CF=3$) werden gemessen.

Spezifikationen breitbandiger Leistungsmessgeräte

ZUSAMMENFASSUNG

- Es gibt keine einheitliche Spezifikationsvorschrift!
- Jeder Hersteller ist frei in der Wahl der Spezifikationen
- **Prozentangaben ohne Bezug sind nicht vergleichbar!**

- Spezifikationen der Yokogawa Leistungsmessgeräte?
 - Basisgenauigkeit bei AC 50/60Hz
 - Der Messbereichsfehler bezieht sich immer auf die eingestellten RMS-Messbereiche und nicht auf die Spitzenwerte.
 - In der Leistungsmessung sind die Effektivwerte die wichtigsten Messgrößen
 - In allen RMS-Messbereichen mit Crest-Faktor 3 (6) werden Signale mit 3-fachen (6-fachen) Spitzenwerten des Messbereichsendwertes problemlos erfasst
 - Gleicher Crest-Faktor über alle Messbereiche (Strom u. Spannung) spricht für eine exzellente Hardware
 - Yokogawa spezifiziert als einziger die Genauigkeiten der Harmonischen-Analyse.

 - *Hinweis auf das Artikel „Spezifikationen breitbandiger Leistungsmessgeräte“ in der ElektronikPraxis und Ausdrücke*

Anwendungsgebiete

Hersteller von ...

- Motoren & Antrieben
- Frequenzumrichter
- Automotive
- Alternative Energien
- Stromversorgungssysteme
- Beleuchtung
- Netzgeräte/Batterien
- Datenzentren (Server)
- Haushaltsgeräte
- Bürogeräte
- Luftfahrt
- ...

und

- Kalibrierlabore
- Prüfinstitute
- Universitäten, Hochschulen
- Jeder, der präzise und rückführbar Leistung misst.



YOKOGAWA Leistungsmessgeräte

WT3000



WT1800



WT500



WT3000	WT1800	WT500	WT300 Familie
1 bis 4 Phasen	1 bis 6 Phasen	1 bis 3 Phasen	1 bis 3 Phasen
bis 1000 V _{eff} (8 Bereiche)	bis 1000 V _{eff} (12 Bereiche)	bis 1000 V _{eff} (8 Bereiche)	bis 600 V _{eff} (7 Bereiche)
bis 2 A _{eff} (9 Bereiche) bis 30 A _{eff} (7 Bereiche)	bis 5 A _{eff} (9 Bereiche) bis 50 A _{eff} (6 Bereiche)	bis 40 A _{eff} (7 Bereiche)	bis 20 A _{eff} (12 Bereiche) bis 40 A _{eff} (6 Bereiche)
Höchste Genauigkeit Höchste Stabilität	Höchste Funktionalität Höchste Genauigkeit	Flexibel, kompakt, portabel, hochgenau	Kompakt, portabel, günstig, hochgenau
Forschung & Entwicklung Kalibriernormale Messung nach IEC Normen Antriebstechnik Erneuerbare Energien Transformatormessungen Stand-by	Forschung & Entwicklung Antriebstechnik Erneuerbare Energien Beleuchtung Avionik Energy saving, design Stand-by	Forschung & Entwicklung Antriebstechnik Erneuerbare Energien Haushaltsgeräte Energy saving, design	Forschung & Entwicklung Erneuerbare Energien Haushaltsgeräte Energy saving, design Stand-by Produktion, Test

Unsere Vertriebsbüros

<http://tmi.yokogawa.com/de/about/offices/>

Vertriebsbüro Hamburg

Herr Andreas Oelke
Telefon 0451 49982-82
eMail: Andreas.Oelke@de.yokogawa.com

Vertriebsbüro Berlin

Herr Dennis Kreutzer
Telefon 030 841095-13
eMail: Dennis.Kreutzer@de.yokogawa.com

Vertriebsbüro Dresden

Herr Dietmar Gulich
Telefon 0351 28156-68
eMail: Dietmar.Gulich@de.yokogawa.com

Vertriebsbüro Hanau

Herr Michael Müller-Wachter
Telefon 06041 8204-50
eMail: Michael.Mueller-Wachter@de.yokogawa.com

Vertriebsbüro Mönchengladbach

Herr Jürgen Koerver
Telefon 02166 5519-29
eMail: Juergen.Koerver@de.yokogawa.com

Vertriebsbüro Dortmund

Herr Jürgen Hillebrand
Telefon 02306 3709-73
eMail: Juergen.Hillebrand@de.yokogawa.com

Vertriebsbüro Aschaffenburg

Herr Rainer Becker
Telefon 06027 4648-23
eMail: Rainer.Becker@de.yokogawa.com

Vertriebsbüro München

Herr Klaus Thalheimer
Telefon 08191 42848-58
eMail: Klaus.Thalheimer@de.yokogawa.com

Vertriebsbüro Reutlingen

Herr Matthias Schöberle
Telefon 08152 9310-86
eMail: Matthias.Schoeberle@de.yokogawa.com

Vertriebsbüro Nagold

Herr Joachim Hausner
Telefon 07459 4055-01
eMail: Joachim.Hausner@de.yokogawa.com

Herzlichen Dank

**Haben Sie Bedarf an individuellen
Seminaren/Schulungen Vorort oder in Herrsching
am Ammersee?**

Für weitere Informationen/Fragen:

Ugur Gürsoy,

08152/9310-47

ugur.guersoy@de.yokogawa.com

oder:

unsere Vertriebsbüros:

<http://tmi.yokogawa.com/de/about/offices/>

PRAKTISCHE VORFÜHRUNG

WT1800 + Frequenzumrichter

- Verdrahtung mit Sternpunktadapter
- WIRING, UPDATE RATE, SYNC SOURCE
- Leistungen pro Phase und Summenleistung
- FREQFilter, LINEFilter
- NUMERIC, WAVE
- Harm. Analyse, PLL Source, VECTOR

- Fragen?