

Entwicklung und Verifikation eines breitbandigen Referenzstromwandlersatzes für Ströme von 10 A bis 2000 A und 9 kHz



Physikalisch-Technische Bundesanstalt

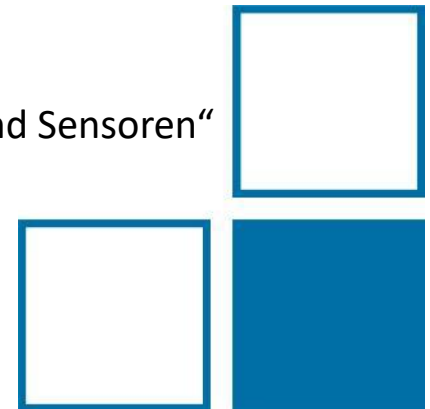
Yeying Chen

Beschäftigte der Arbeitsgruppe 2.31 „Messwandler und Sensoren“

Programm 316. PTB-Seminar

**Aktuelle Fortschritte von Kalibrierverfahren
im Nieder- und Hochfrequenzbereich 2020**

Donnerstag, 3. September 2020



1. Einführung/Motivation
2. Aufbau der Strom-Spannungswandler
 - Anordnung der Windungen
 - Messwiderstände
 - Aufbaumessung (Step-up calibration process)
3. Charakterisierung der Strom-Spannungswandlern
 - Charakterisierung von Stromwandlern
 - Charakterisierung von Messwiderständen
4. Fazit und Ausblick

1. Einführung/Motivation
2. Aufbau der Strom-Spannungswandler
 - Anordnung der Windungen
 - Messwiderstände
 - Aufbaumessung (Step-up calibration process)
3. Charakterisierung der Strom-Spannungswandlern
 - Charakterisierung von Stromwandlern
 - Charakterisierung von Messwiderständen
4. Fazit und Ausblick

1. Einführung: FutureGrid II

- „Metrology for the next-generation digital substation instrumentation”
 - 2018 – 2021 (3 Jahren)
 - WP1: Traceable test systems for digital instrument transformers (ITs)
 - Task 1.2: Systems for Power Quality (PQ) / Phasor Measurement Units (PMU) testing of digital ITs up to **2 kA**

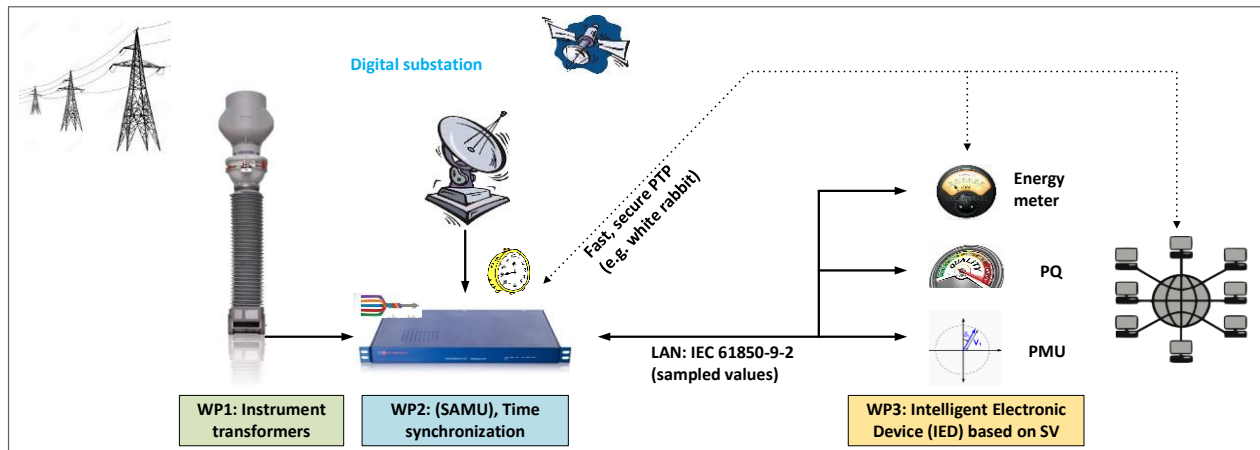


Figure I : Overview of FutureGrid II



1. Einführung: Kalibriersysteme

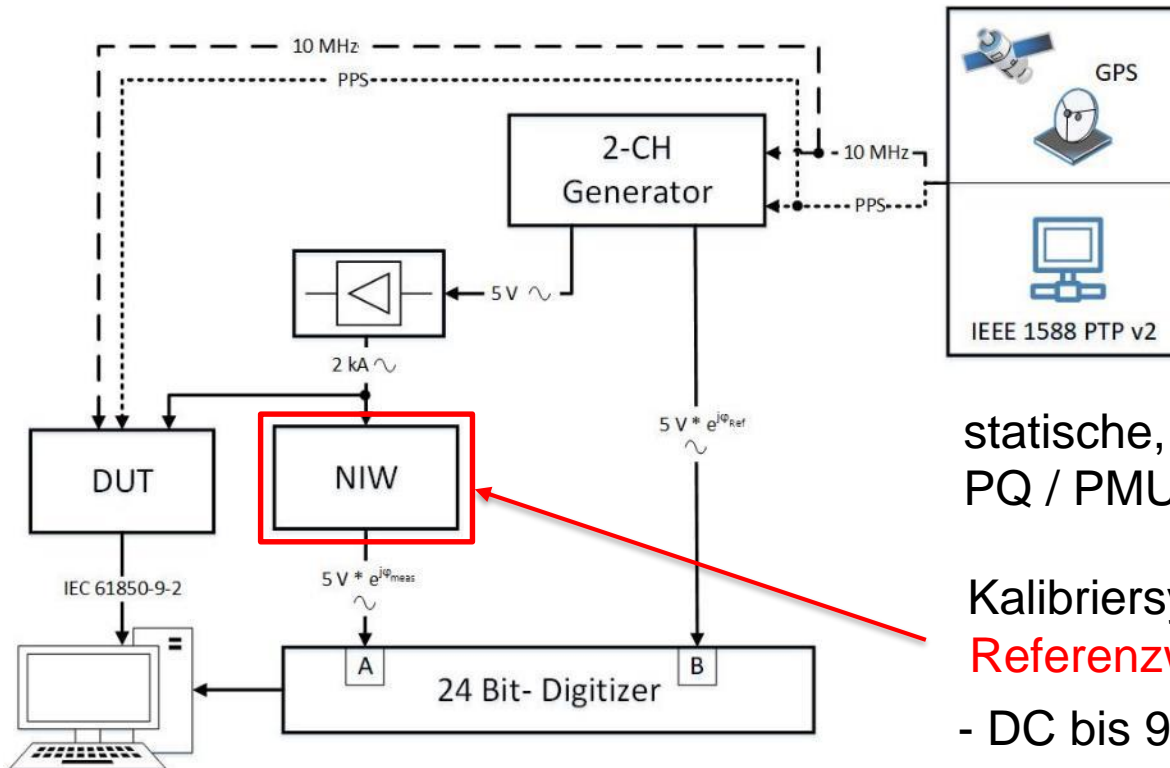


Figure II : Calibration system for the digital ITs

DUT: Device Under Test (Prüflingen)

NIW: Referenzwandler

statische, dynamische und transiente
PQ / PMU-Testmessungen

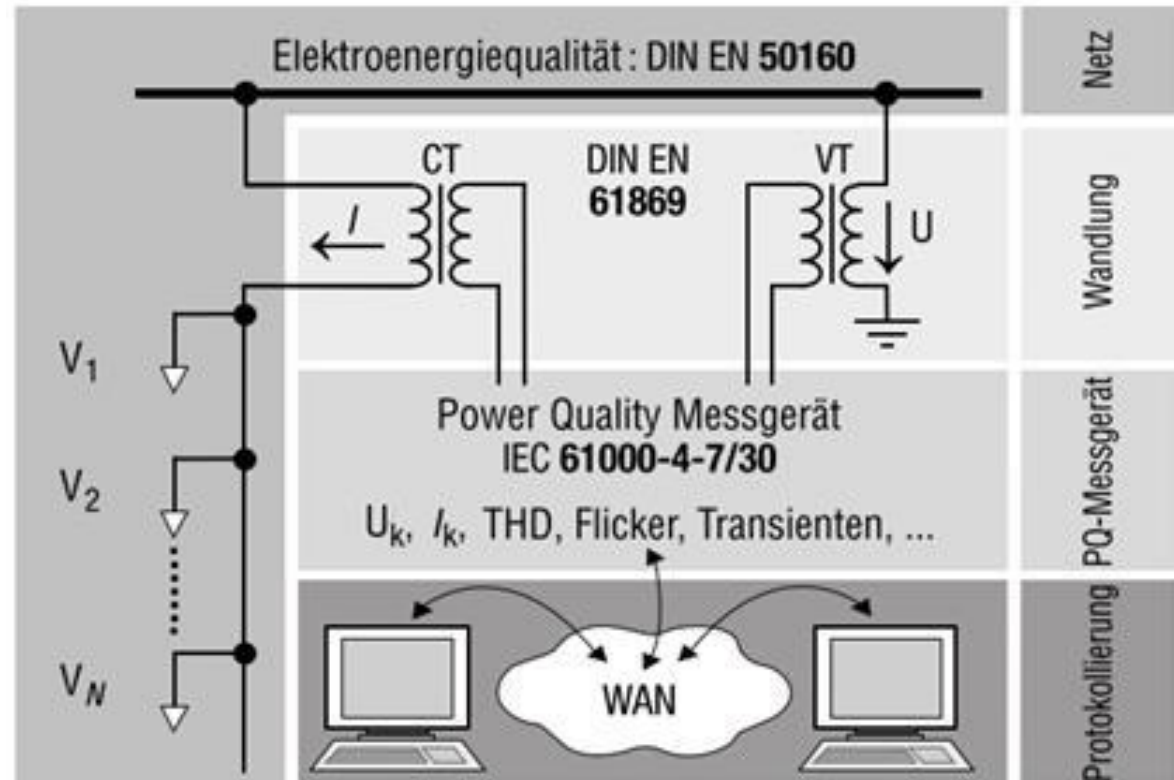
Kalibriersysteme erfordern

Referenzwandler:

- DC bis 9 kHz
- Genauigkeitsklasse:
 - **0,005 % and 0,005 crad bei 50 Hz**
 - **stabile Messabweichungen für Frequenzgang**

1. Weitere Motivation: Kalibrierservice

- Technical Connection Rules High Voltage (VDE-AR-N 4120) definiert auch Anforderungen für PQ Messgeräte (bis 40. Harmonische in U oder I)
- Jedoch praktisch keine normative Festlegung der Messwandler-eigenschaften (daher IT4PQ Project)
- Derzeit fehlender Kalibrierservice in den Deutsche Akkreditierungsstelle (DaKKS) Laboren für breitbandige Bewertung der Messwandler



1. Einführung/Motivation
2. Aufbau der Strom-Spannungswandler
 - Anordnung der Windungen
 - Messwiderstände
 - Aufbaumessung (Step-up calibration process)
3. Charakterisierung der Strom-Spannungswandlern
 - Charakterisierung von Stromwandlern
 - Charakterisierung von Messwiderständen
4. Fazit und Ausblick

2. Aufbau der Strom-Spannungswandler

Verhältnis der Strom-Spannungswandlern:

$$\frac{F_{iu}}{I_p} = \frac{U_s}{I_p} = \frac{R_m}{K_n} (1 + \varepsilon_m + \varepsilon_i) \cdot e^{j(\delta_m + \delta_i)}$$

C-to-V: Strom-
Spannungswandlern
CT : Stromwandlern

- Primäreingangsstrom bis **2 kA**
- Sekundärausgangsspannung von **1 V**
- ein kommerzieller Durchsteckwandler (Window type zero-flux CT): K_n , ε_i , δ_i
- ein Präzisionsmesswiderstand: R_m , ε_m , δ_m

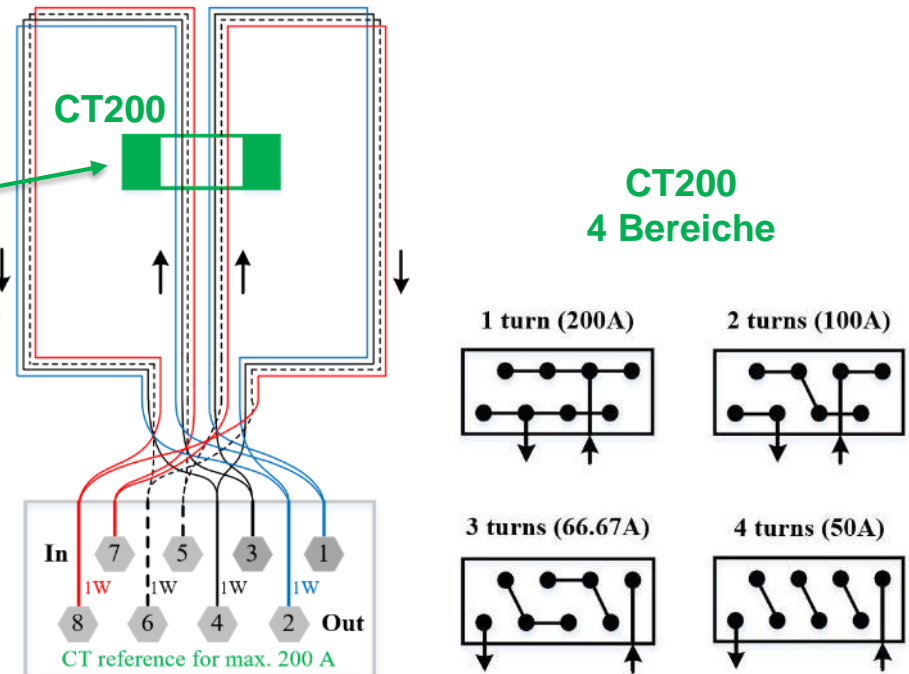
Table I : Parameters des Strom-Spannungswandlersatzes

Type	N_p	$I_{P,r}$ in A	$I_{S,r}$	R_m (1V)
CT50	1; ...; 6	8,3; ...; 50	100 mA	10 Ω
CT200	1; ...; 4	50; ...; 200	400 mA	2,5 Ω
CT600	1; ...; 4	150; ...; 600	400 mA	2,5 Ω
CT1500	1; ...; 3	500; ...; 1500	1 A	1 Ω

2. Aufbau der Strom-Spannungswandler

2.1 Anordnung der Windungen

- auf der Primärseite
- Durchsteckwandler (Window type zero-flux CT)
- symmetrische Windungsanordnung
- verschiedene Strombereiche I_p
- variable Übersetzungsverhältnisse K_n
- geometrisch festgelegte Messumgebung, um nahezu gleiche und wiederholbare Stromwandler-Messabweichungen ε_i und δ_i für alle Strombereiche zu erhalten



CT200

No. of turns	I_p in A	K_n	I_s	R_m
1	200	500	400 mA	2,5 Ω
2	100	250		
3	66,67	166,67		
4	50	125		

Symmetrie:

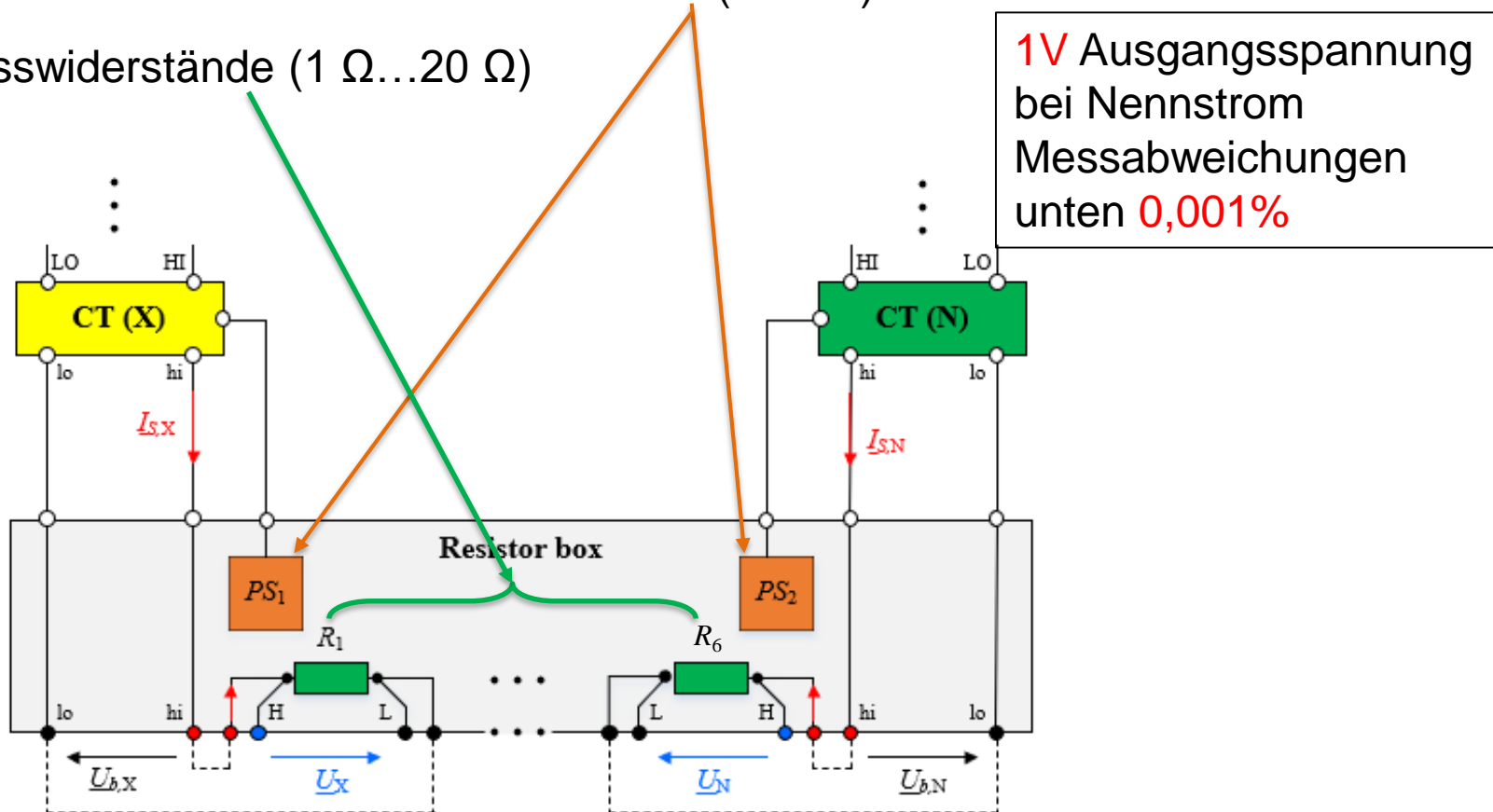
- die Anzahl der Drähte pro Windung
- die Anzahl der Windungen für jeden Port
- die Drahtanordnungen
- Länge, Breite und Höhe der Drähte

2. Aufbau der Strom-Spannungswandler

2.2 Messwiderstände → eine Widerstandsbox

- 2 Netzteile für Stromwandler ($\pm 15\text{ V}$)

- 6 Messwiderstände ($1\ \Omega \dots 20\ \Omega$)



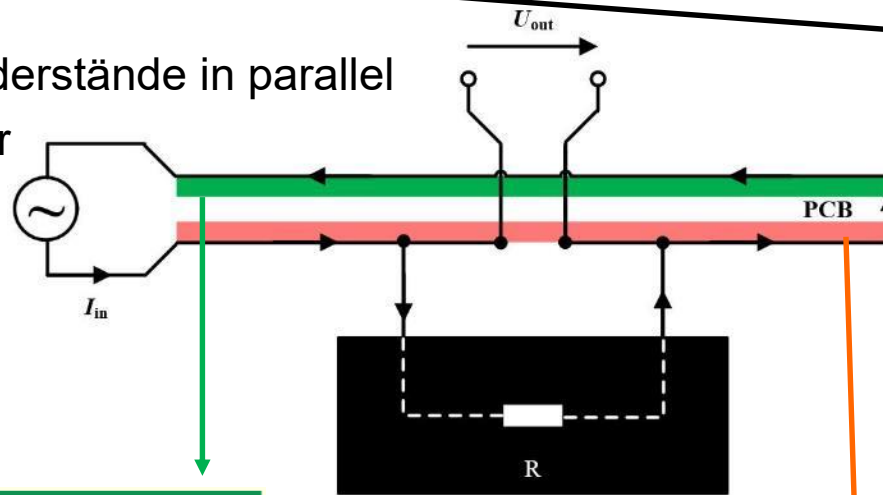
2. Aufbau der Strom-Spannungswandler

2.2 Messwiderstände → eine Widerstandsbox

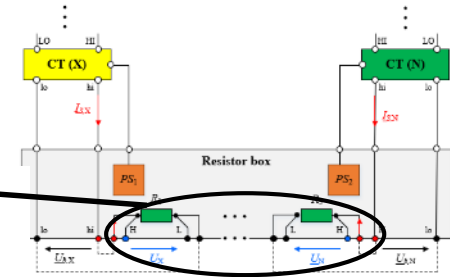
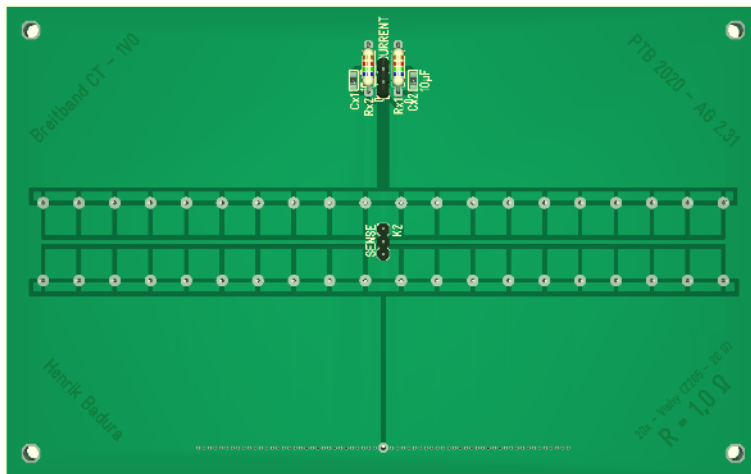
1 A shunt (1 Ω):

- zwanzig 20 Ω Widerstände in parallel
- großer Kühlkörper

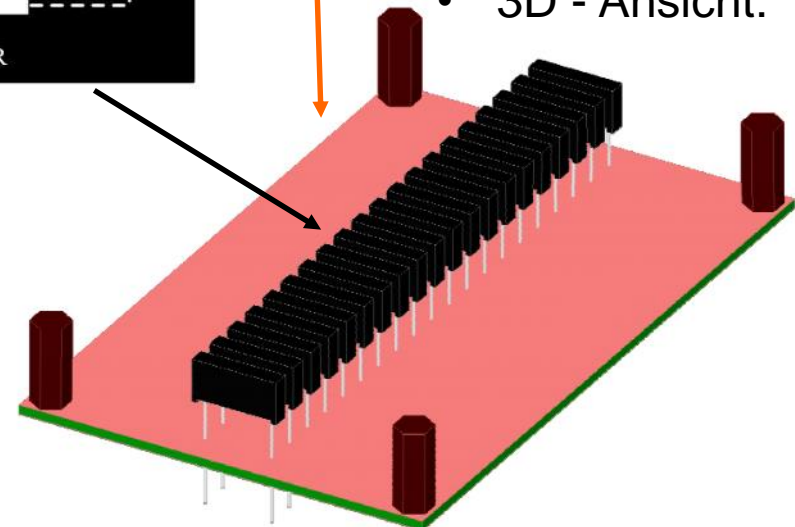
- Seitenansicht:



- Draufansicht:

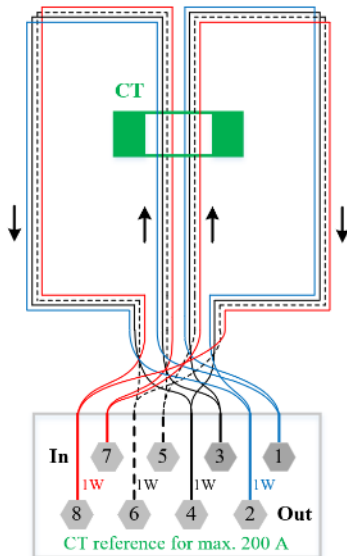


- 3D - Ansicht:

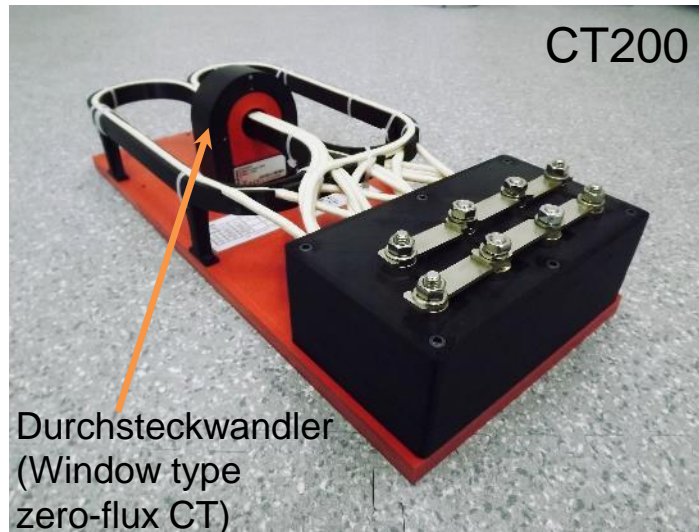


2. Aufbau der Strom-Spannungswandler

■ Implementierung:

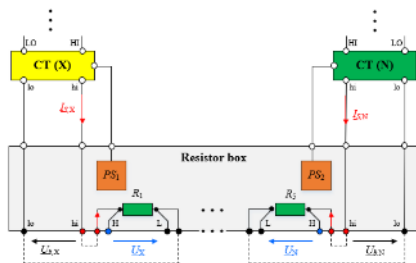


2.1



Symmetrischer Stromwandler

Strom-Spannungswandler



2.2



Widerstandsbox

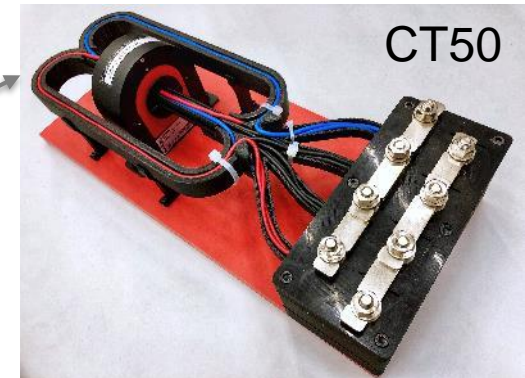
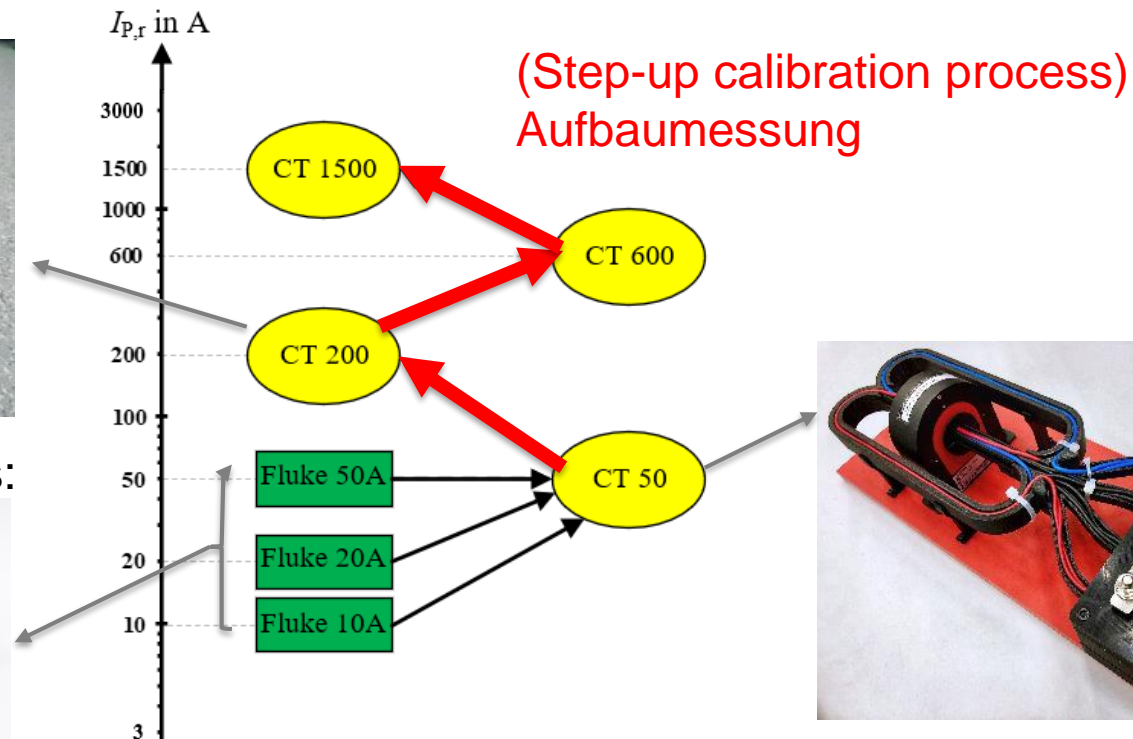
2. Aufbau der Strom-Spannungswandler

2.3 Aufbaumessung (Step-up calibration process)

- besonders für den Frequenzgang
- Bereiche des Primärstroms: **8,33 A ... 1500 A**
- Bandbreite: **16 Hz ... 12 kHz**



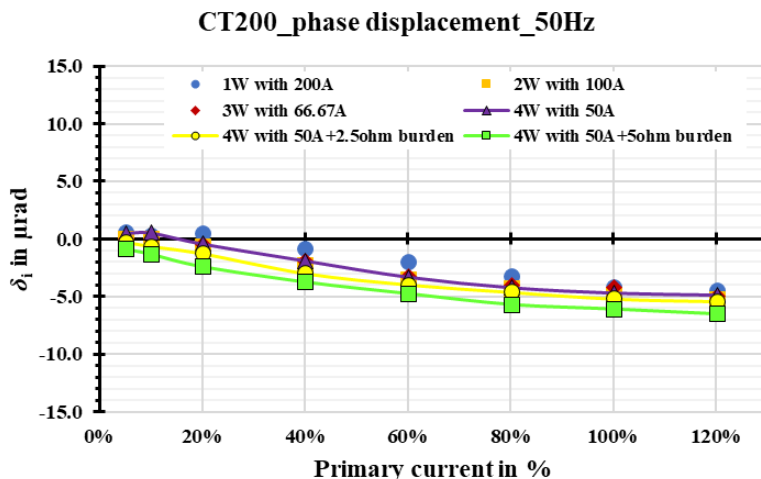
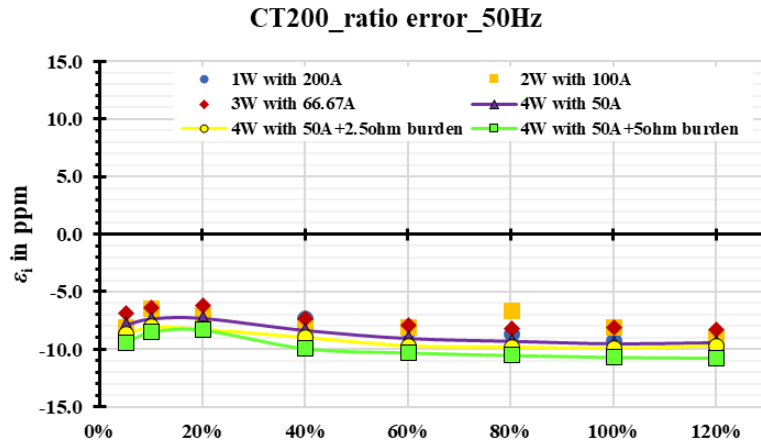
Fluke Shunts:



1. Einführung/Motivation
2. Aufbau der Strom-Spannungswandler
 - Anordnung der Windungen
 - Messwiderstände
 - Aufbaumessung (Step-up calibration process)
3. Charakterisierung der Strom-Spannungswandlern
 - Charakterisierung von Stromwandlern
 - Charakterisierung von Messwiderständen
4. Fazit und Ausblick

3. Charakterisierung der Strom-Spannungswandlern

3.1 Charakterisierung von Stromwandlern - beim Netzfrequenz



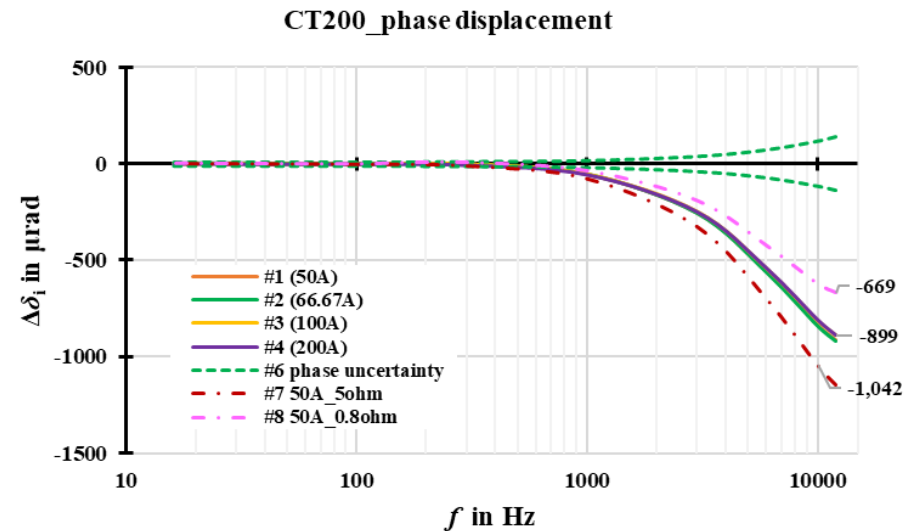
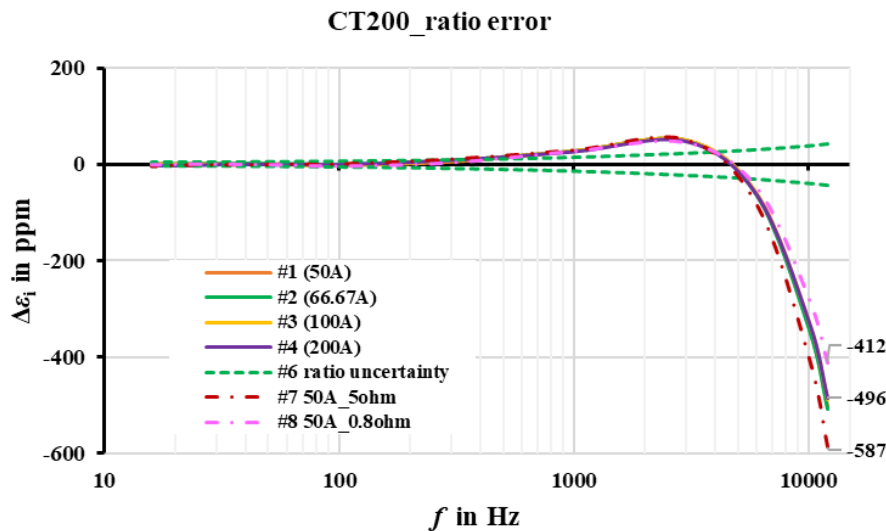
No. of turns N_p	ε_i in $\mu\text{A/A}$	δ_i in μrad
1	-9,2	-4,2
2	-8,1	-4,9
3	-8,1	-4,2
4	-9,5	-4,7
average	-8,7	-4,5

CT200 bei 50 Hz

- Fast identische Messabweichungen in allen Bereichen. (1W – 4W)
- Fast identische Messabweichungen von 5% bis 120% beim Nennstrom.
- Die Belastungsempfindlichkeit ist sehr gering. ($< 0,3 \text{ ppm}/\Omega$)

3. Charakterisierung der Strom-Spannungswandlern

3.1 Charakterisierung von Stromwandlern - Frequenzgang



CT200 bis 12 kHz

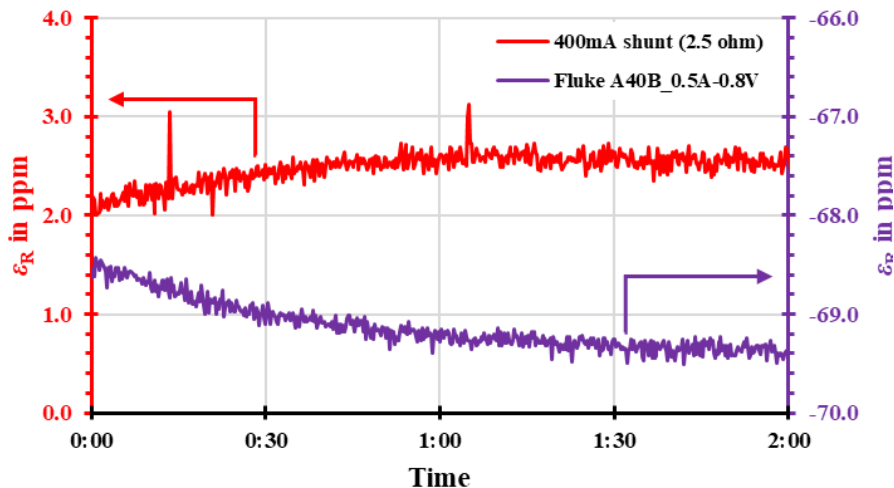
- 2,5 Ω Messwiderstand
- Messabweichungen von verschiedenen Windungen (1W – 4W) sind nahezu gleich, die Differenz liegt unter 30 ppm and 30 μrad -> Strombereiche unabhängig!
 - ✓ Eine Aufbaumessung (Step-up calibration process) ist möglich
- Messabweichungen bis 12 kHz liegen unter $\pm 0,05\%$ und 0,1 crad (2,5 Ω)

3. Charakterisierung der Strom-Spannungswandlern

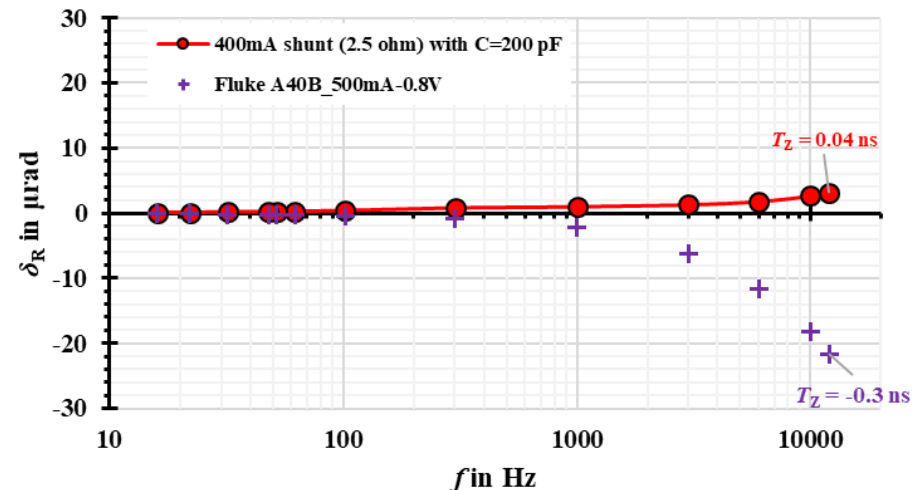
3.2 Charakterisierung von Messwiderständen - 400mA Shunt (2,5 Ω)

- Verhalten beim Netzfrequenz (50 Hz)
- Frequenzgang (bis 12 kHz)

Stability measurements (50 Hz) _ ratio error



Frequency response (DC to 12 kHz) _ phase error



1. Einführung/Motivation
2. Aufbau der Strom-Spannungswandler
 - Anordnung der Windungen
 - Messwiderstände
 - Aufbaumessung (Step-up calibration process)
3. Charakterisierung der Strom-Spannungswandlern
 - Charakterisierung von Stromwandlern
 - Charakterisierung von Messwiderständen
4. Fazit und Ausblick

4. Fazit und Ausblick

■ Fazit

- Charakterisierungen der symmetrischen CTs (CT50 und CT200): $|\underline{\epsilon}| < 10^{-5}$
- Symmetrisches Wicklungsdesign für mehrere Bereiche mit identischen Messabweichungen
- Widerstände mit geringen Messabweichungen ($< 10^{-5}$) und flachem Frequenzgang (< 12 kHz)

■ Ausblick

- Charakterisierungen der CT600 und CT1500



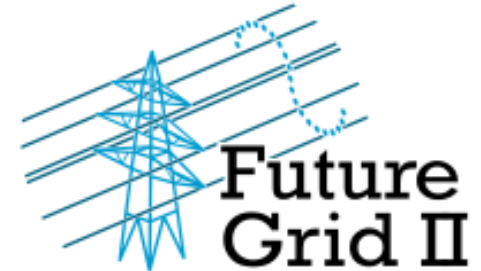
Dr.-Ing. Enrico Mohns

Mr. Henrik Badura

Mr. Räther Peter

Mr. Pauling Florian

Dr.-Ing. Thomas Kleine-Ostmann





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100
38116 Braunschweig



Yeying Chen

Beschäftigte der Arbeitsgruppe 2.31 "Messwandler und Sensoren"



Telefon: 0531 592-2354

E-Mail: yeying.chen@ptb.de

www.ptb.de

Acknowledgement

“This project has received funding from the EMPIR programme co-financed by the Participating States and from the European Union’s Horizon 2020 research and innovation programme”



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100
38116 Braunschweig



Yeying Chen

Beschäftigte der Arbeitsgruppe 2.31 "Messwandler und Sensoren"



Telefon: 0531 592-2354

E-Mail: yeying.chen@ptb.de

www.ptb.de

