

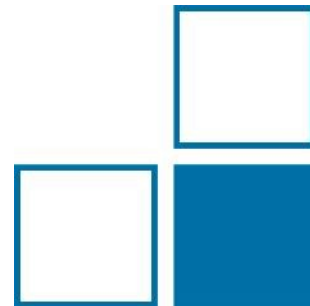
# Zweistufiger Induktivteiler für das Leistungsnormal mit Messabweichungen unter $0.3 \mu\text{V/V}$

A. Dubowik, E. Mohns

***326. PTB-Seminar Abteilung 2***

***- 15. Mai 2024 -***

Alexander Dubowik  
AG 2.32 Zeitsynchronisierte Messsysteme und Sensoren



- Einführung ins Leistungsnorm
- Vergleich des bestehenden Induktivteilers gegenüber dem neuen Induktivteiler
- Aufbau und Messergebnisse des neuen Induktivteilers
- Zusammenfassung und Ausblick



MU: 5  $\mu$ W/VA

➤ AC Active Power, Apparent Power Reactive Power

$U$ : 30 V ... 480 V

$I$ : 0.005 A ... 160 A

$f$ : 16.7 Hz ... 400 Hz

MU: 0.001 % ... 0.014 %

$f$ : 400 Hz ... 150 kHz

MU: 0.01 % ... 0.7 %

➤ DC Power

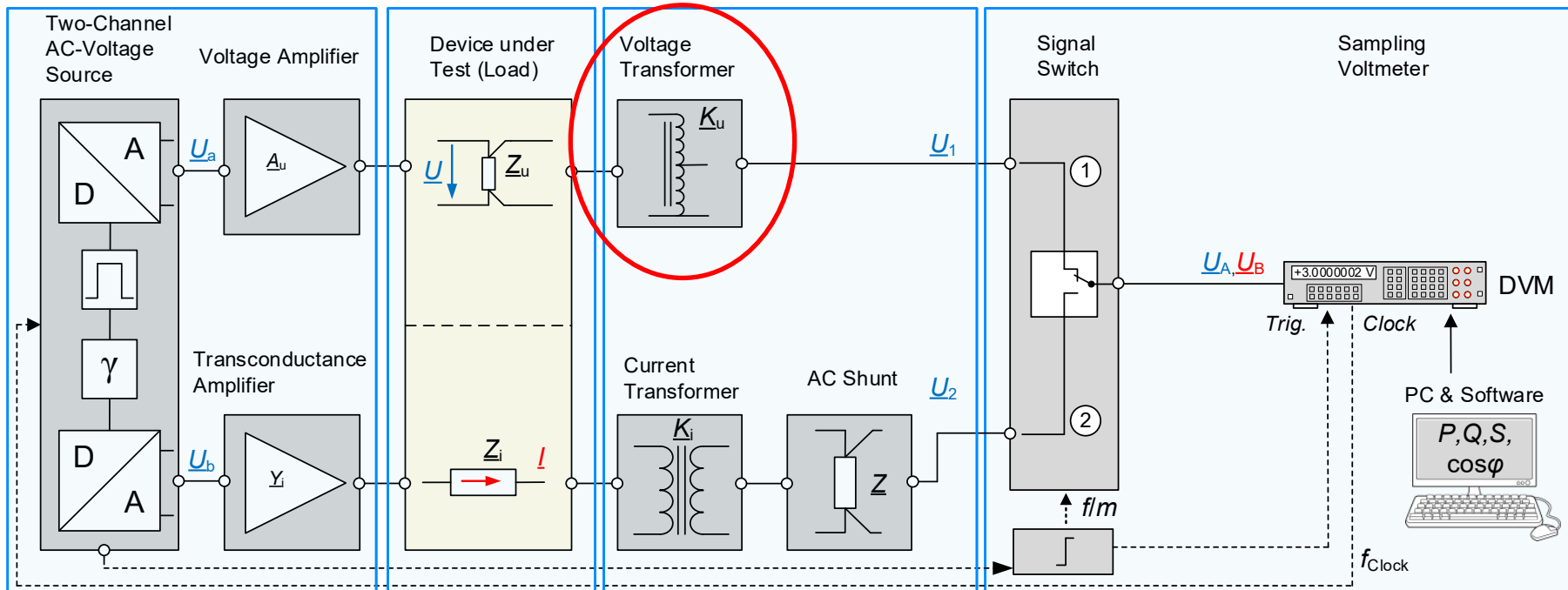
$U$ : 30 V ... 1000 V

$I$ : 0.05 A ... 1200 A

MU: 0.005 % ... 0.02 %



# Das Leistungsnormal



Signalerzeugung

Prüfling

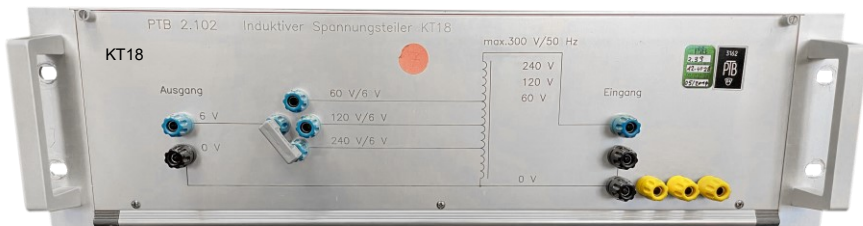
Messsensorik

Abtastsystem

# Optimierter Induktivteiler für das Leistungsnorm

## Existierender induktiver Spannungsteiler

- **Einkern-Sparteiler**
- Bereiche: 60 V, 120 V, **240 V**
- Übersetzungen: 1/10; 1/20; **1/40**
- Ausgangsspannung : 6 V
- Unsicherheit 1/40 ( $k = 2$ ):
  - $U(\varepsilon_u) = 2.4 \text{ ppm}$       $U(\delta_u) = 2.4 \text{ } \mu\text{rad}$

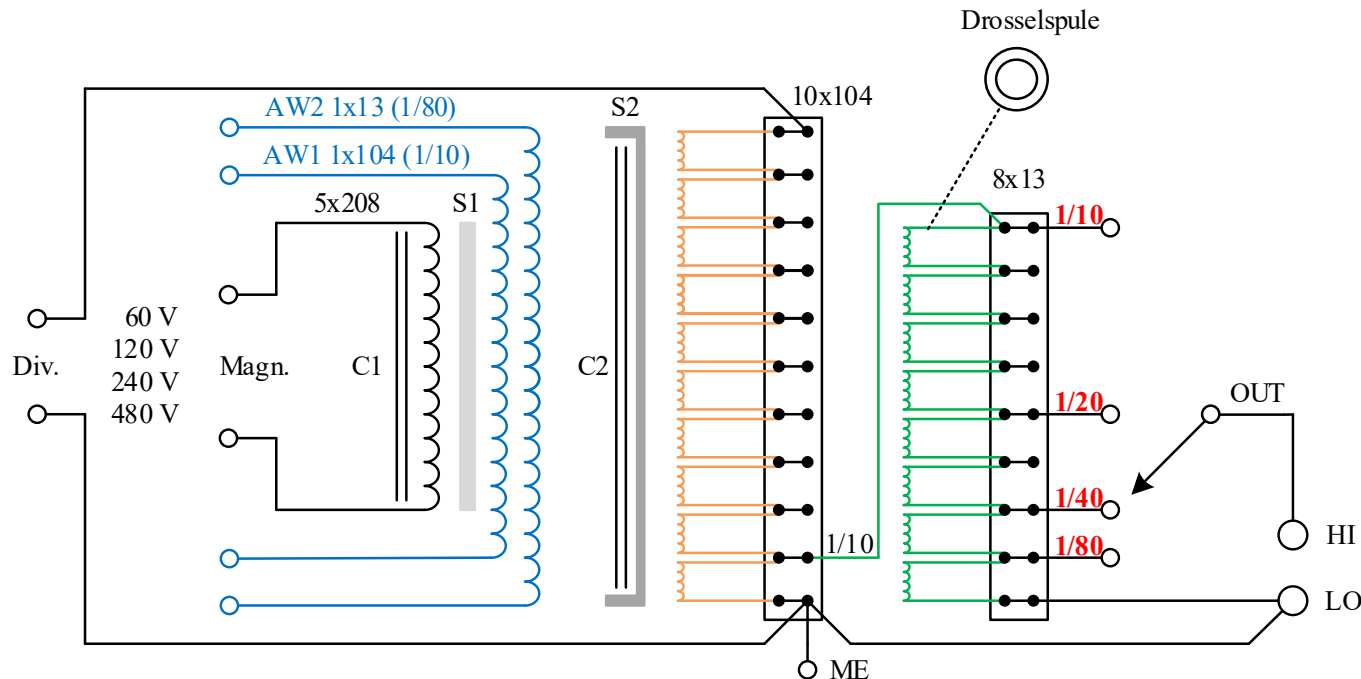


## Neuer induktiver Spannungsteiler (HPVD 5)

- **Zweikern-Sparteiler**
- Bereiche: 60 V, 120 V, 240 V, **480 V**
- Übersetzungen: 1/10; 1/20; 1/40; **1/80**
- Ausgangsspannung: 6 V
- Angestrebte Unsicherheit ( $k = 2$ ):
  - **$U(\varepsilon_u) = 0.3 \text{ ppm}$**       **$U(\delta_u) = 0.4 \text{ } \mu\text{rad}$**

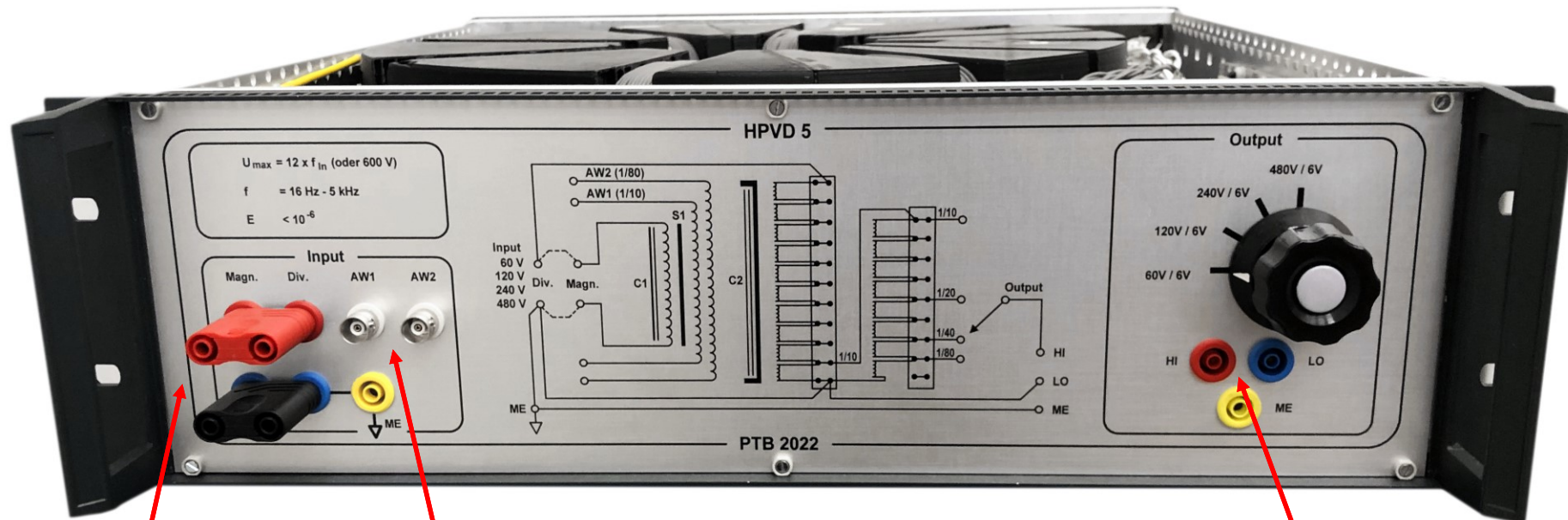


# Ersatzschaltbild Induktivteiler



- Zweikern-Sparteteiler mit Hilfswicklung zur Vereinfachung der Kalibrierung
- Interne Schirmung zur Streufeldreduzierung
- Drosselspule zur Minimierung des Belastungseffektes

# Induktivteiler



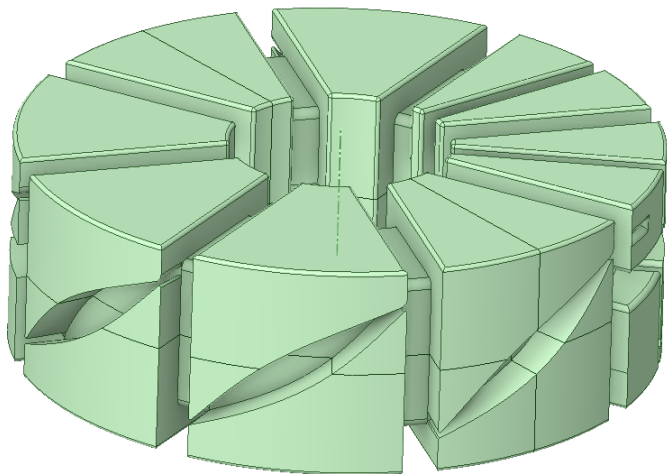
Eingang

Hilfswicklungen

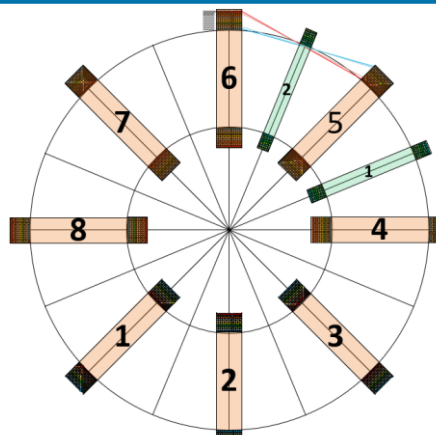
Ausgang  
Übersetzung einstellbar  
über drehschalter



3D-Modell

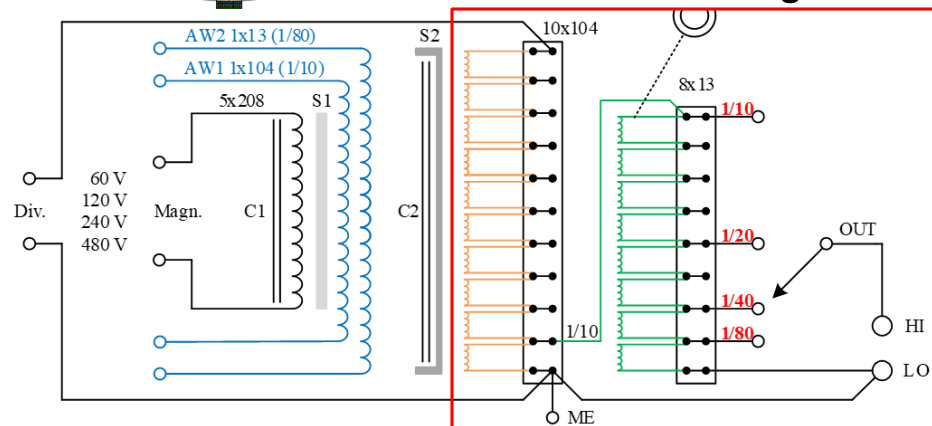


- **Vorteile des 3D-Drucks:**
  - Symmetrische Leitungsverteilung
  - Segmente stabilisieren die Leitungen



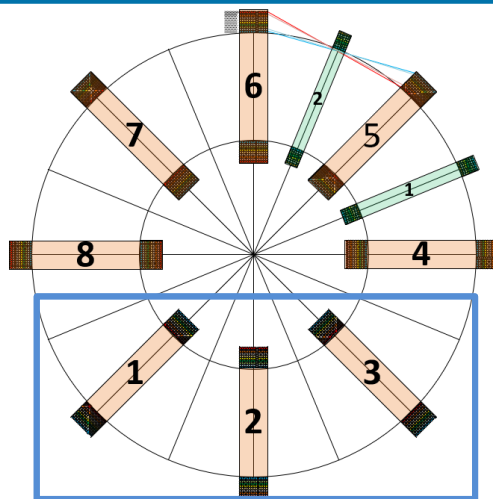
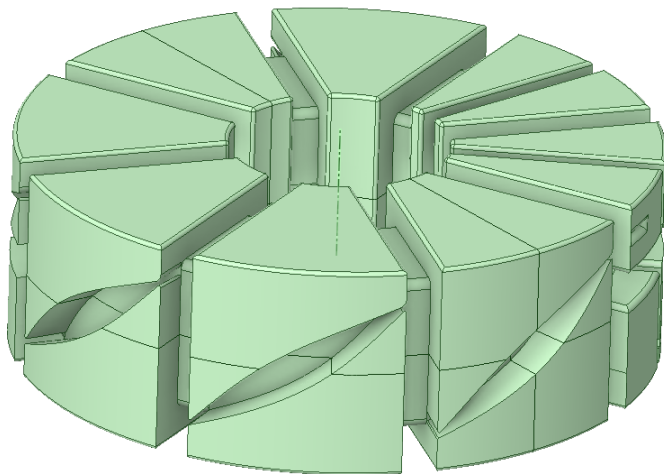
Darstellung der Segmente

auf dem 3D-Druck gewickelt

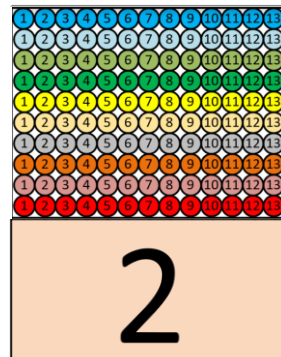
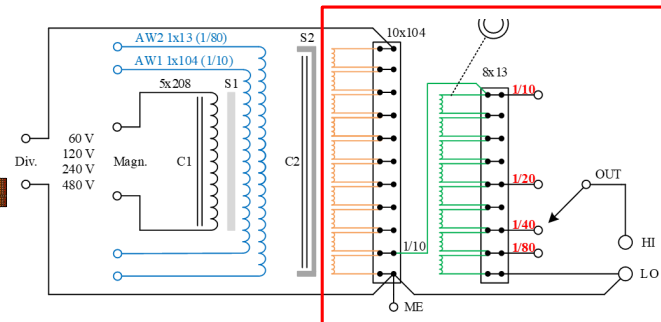
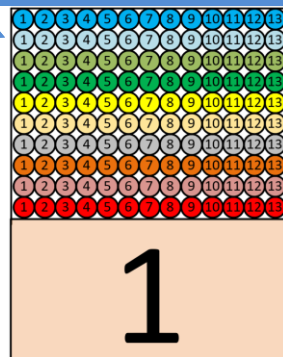




3D-Modell



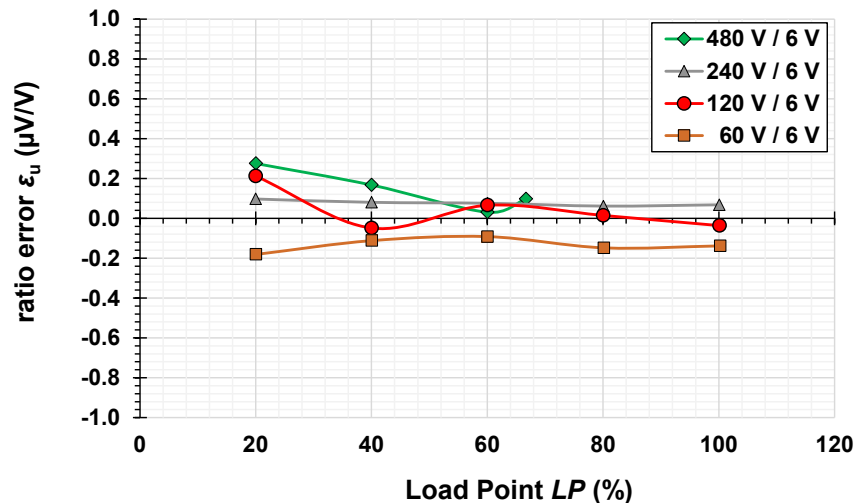
Zoom



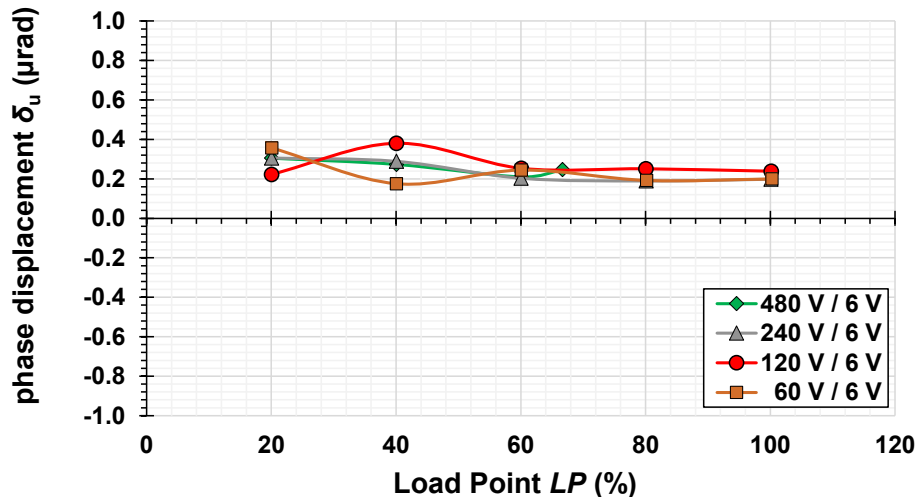
## ■ Vorteile des 3D-Drucks:

- Kreuzwicklung von Leitungen möglich zur Erreichung gleicher Leitungslängen
- gleichmäßige Spannungsverteilung innerhalb der Dekade (orangene Wicklungen)

## Betrag

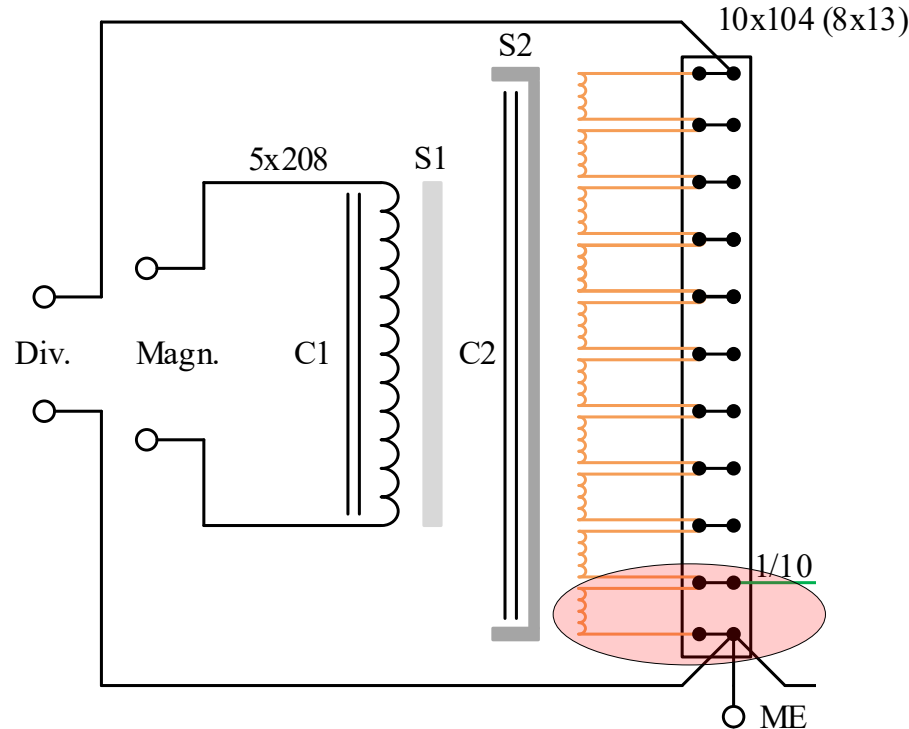


## Phase

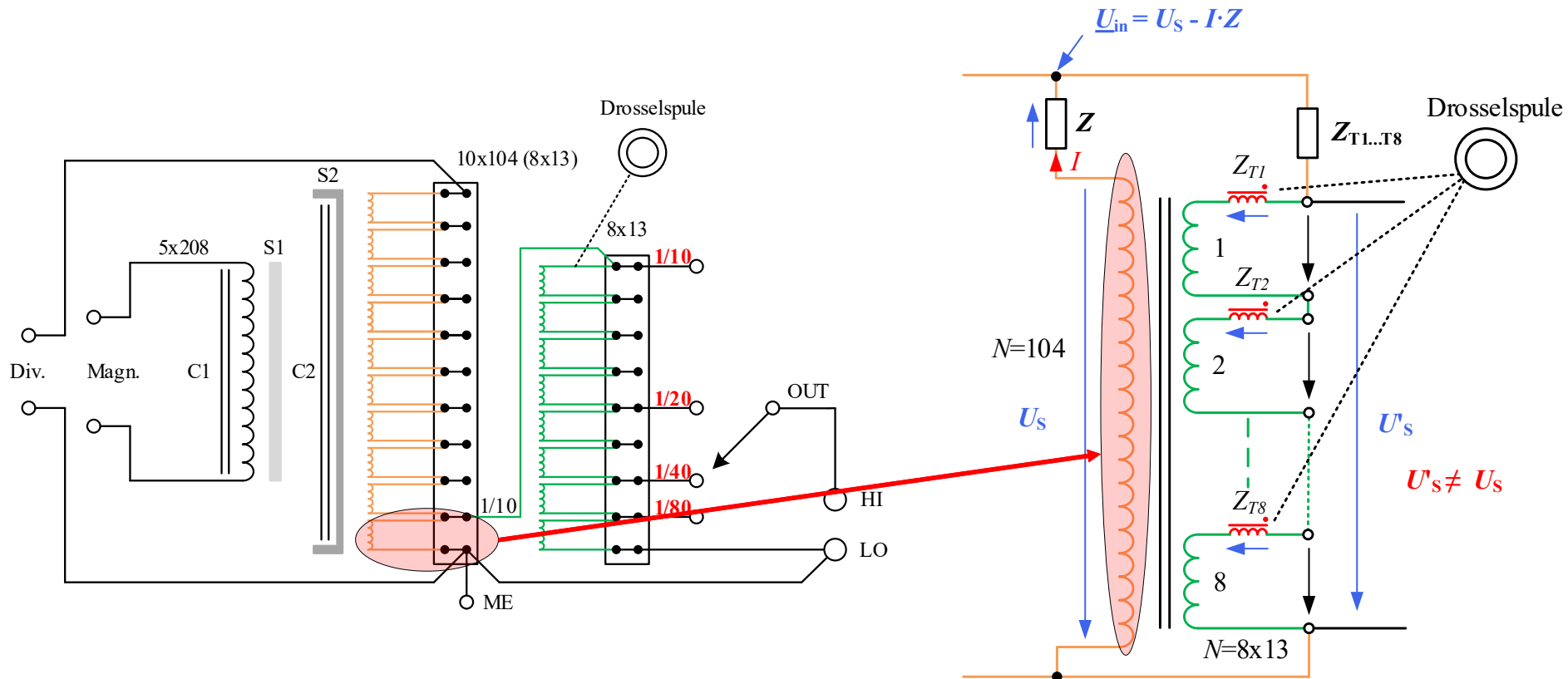


- Streuung über die Aussteuerung  $< \pm 0.2$  ppm
- Grundfehler in der Phase von ca.  $0.3 \mu\text{rad}$

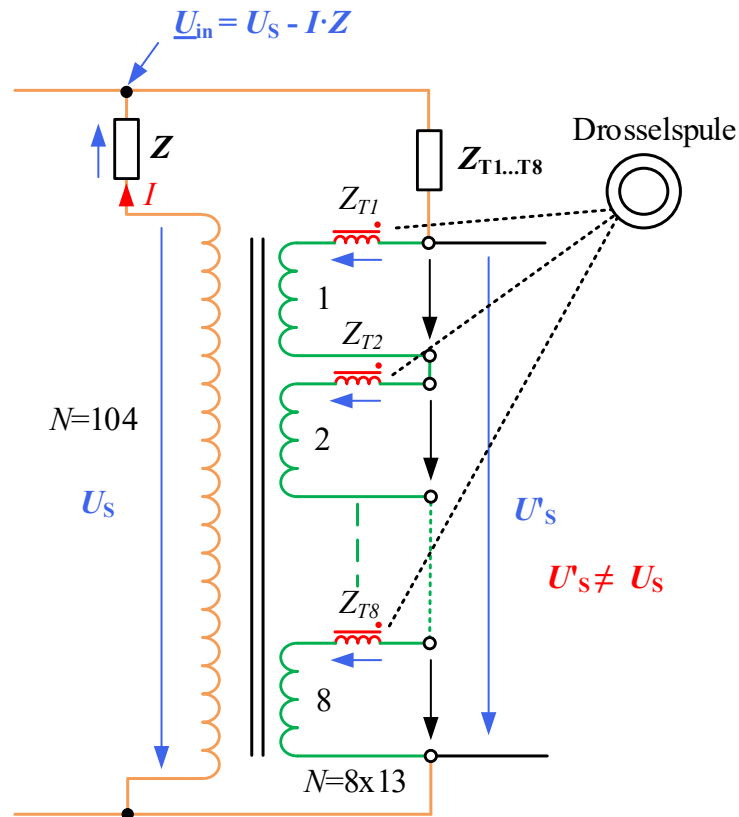
# Konzept der Drosselspule (Choke)



# Konzept der Drosselspule (Choke)



# Drosselspule

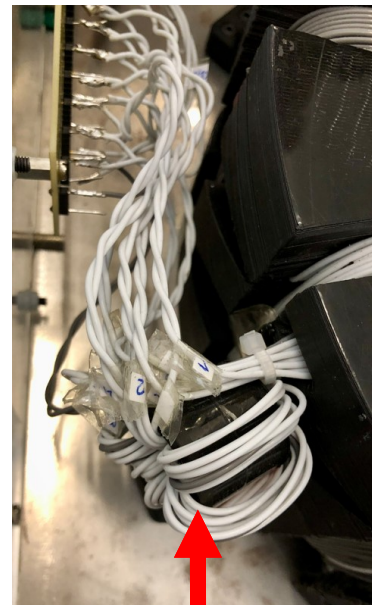


- $U'_s \neq U_s \rightarrow$  die Belastung mit der Ausgangsoktade (grün) führt zu einem Stromfluss „ $I$ “
- Ausgleichsstrom „ $I$ “ verursacht einen Fehler
- Ziel: Reduzierung des Fehlerstroms „ $I$ “ als Folge der Belastung
- Abhilfe ist eine 1:1 Drosselspule an der nachgeschalteten Oktade
- Die Drosselspule erhöht die Gesamtimpedanz der Oktave
- Eine hohe magnetische Permeabilität „ $\mu$ “ führt zu einer besseren Aussteuerungsunabhängigkeit

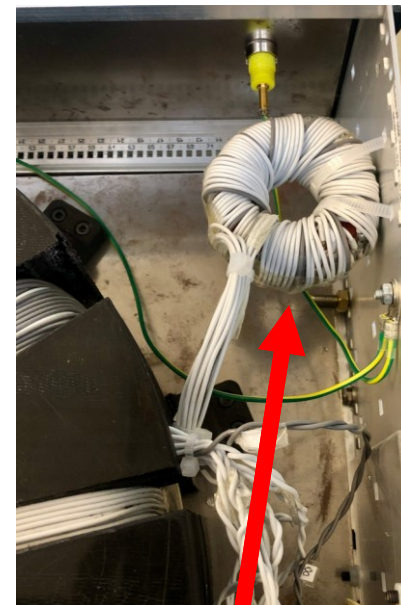
# Optimierung der Drosselspule

## Neuauslegung der Drosselspule:

- Austausch des Kerns durch einen größeren mit besseren Eigenschaften
- Größerer Kern ermöglicht mehr Windungen → höhere Induktivität
- Erhöhung von 8 auf 18 Windungen (30 mH → 10  $\Omega$ ), wobei die Oktade mit 8 Wicklungen zusätzlich quadratisch eingeht ( $10 \cdot 8^2$ )
- Choke wirkt wie ein  $\approx 600 \Omega$  Drosselwiderstand
- Durch die neue Drosselspule wird der Belastungsfehler weiter reduziert



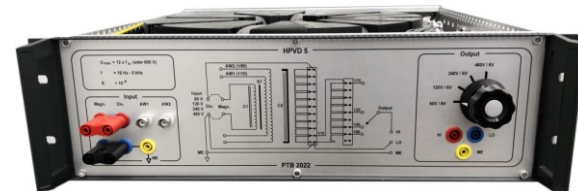
Drosselspule V1



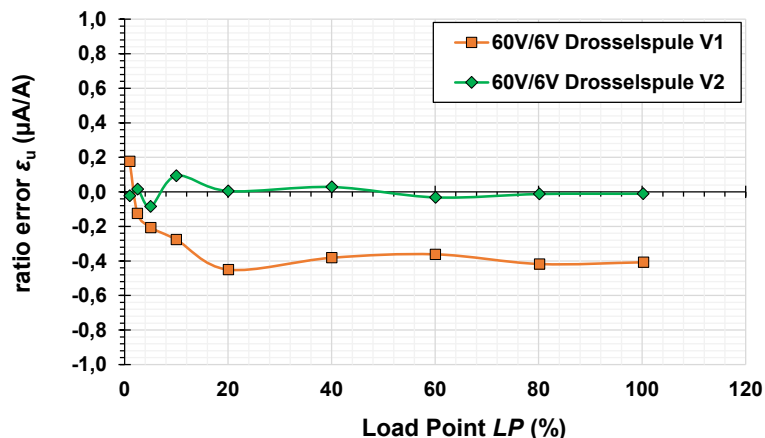
Drosselspule V2

# Ergebnis der optimierten Drosselspule

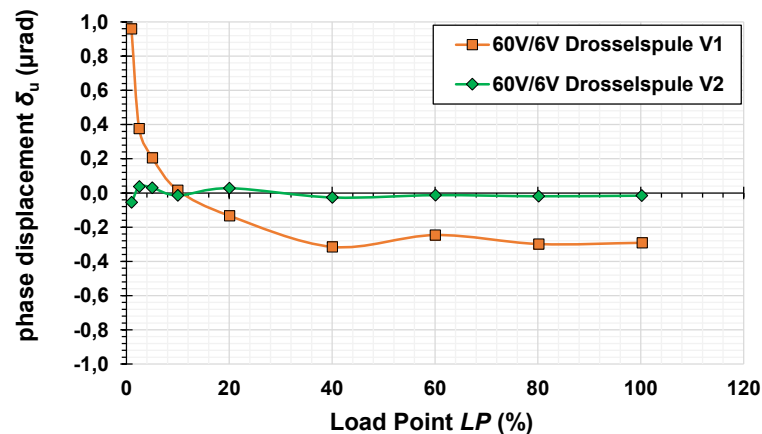
Vergleichsmessung gegen einen  
Normalteiler bis 100 V „KT13“



Betrag



Phase



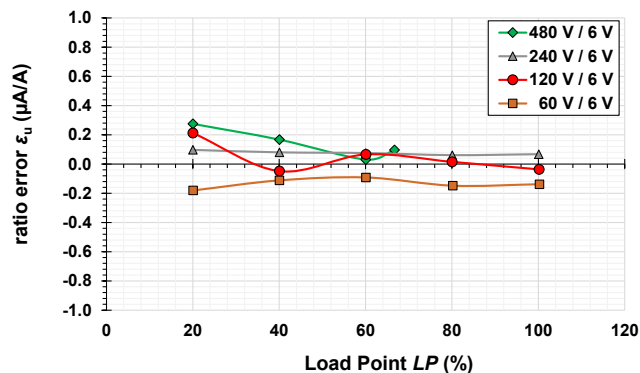
*Danke an*

Herrn Dr. Florian Beug für den Induktivteiler „KT13“

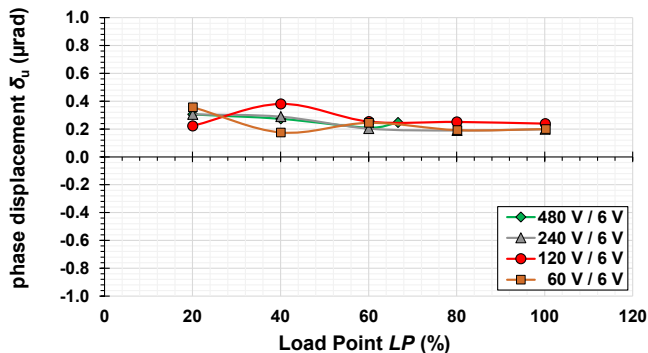
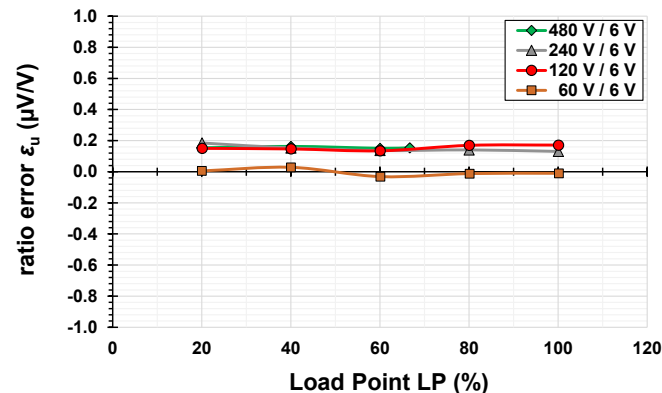
AG 2.12 Verhältnismessungen und Impedanz



# Optimierte Drosselspule

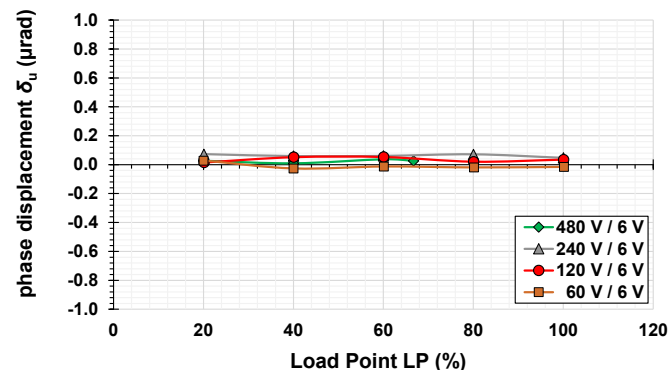


Optimierte Drosselspule



## Optimierte Drosselspule

1. Verringerung der Streuung (bessere MU)
2. Grundfehler gegen 0

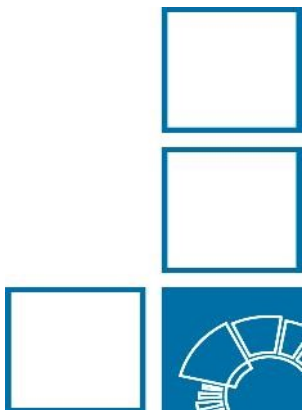


- Kombination aus Abschirmung, 3D-Führung und Wickeltechnik führt zu positiven Testergebnissen
- Auslegung der Drosselspule bewirkt eine Reduzierung des Belastungsfehlers wodurch der Offset (Grundfehler) und die Aussteuerungsabhängigkeit reduziert wird
- **Reduzierung der MU des induktiven Spannungsteilers um etwa Faktor 4 bis 5**

## Ausblick:

- Abschließende Messungen für alle Übersetzungen  $>100$  V inklusive Messunsicherheiten

Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100

38116 Braunschweig

Alexander Dubowik

Telefon: 0531 592-2385

E-Mail: [alexander.dubowik@ptb.de](mailto:alexander.dubowik@ptb.de)

[www.ptb.de](http://www.ptb.de)

