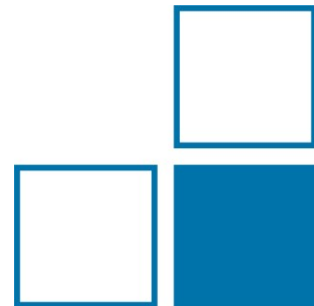


Die künftige Ausrichtung des Kalibrierangebotes mit CCC und ULCA

Dr. B. Schumacher, AG 2.11

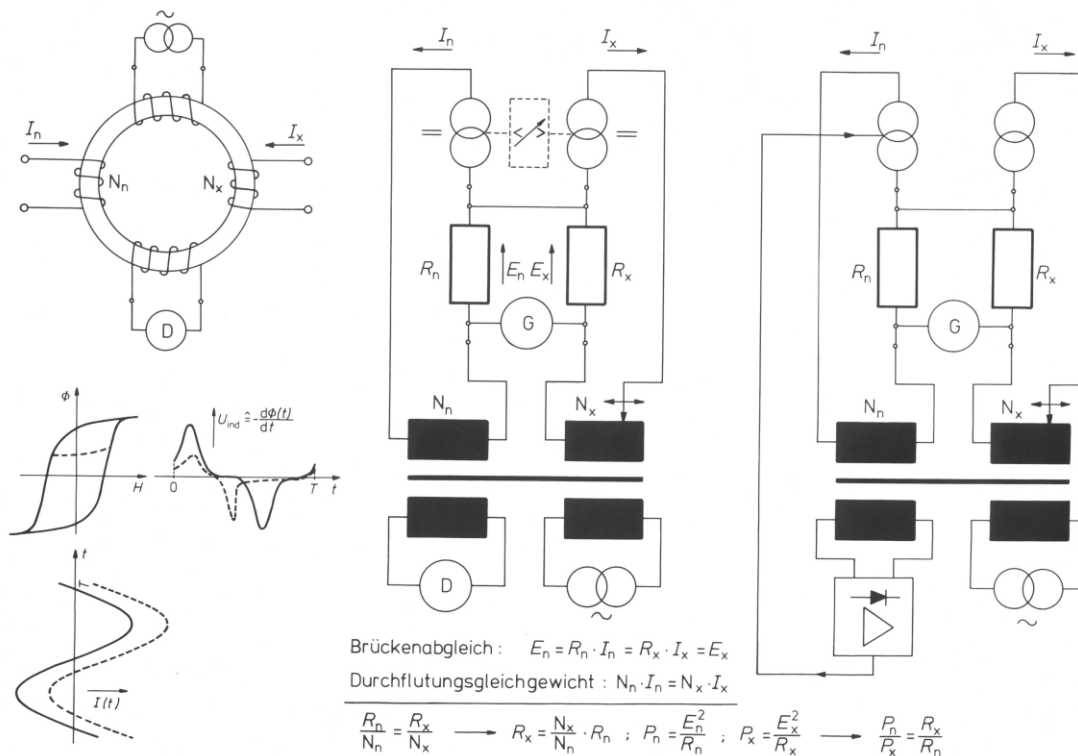


- Was wollen wir erreichen?
- Was ist CCC und ULCA?
- Wie geht es weiter?

- Wie für die Gleichspannung auch quantenbasierte Kalibrierung für Widerstände
- Umsetzung des Subsidiaritätsprinzips
- Es gibt ausreichend Alternativen bei akkreditierten Laboratorien
- Die eingesetzten Messmittel erlauben eine sicherere Beurteilung der Eigenschaften der Kalibriergegenstände
- Weniger Aufwand bei der Bewahrung der Normale

Gleichstromkomparator

Prinzip des Gleichstromkomparators nach Kusters



Durchflutung bestimmt die Unsicherheit !

Empfindlichkeit des Detektors $1 \text{ V} / (1 \text{ mA} \cdot \text{t})$

Rauschgrenze des Detektors $0,2 \text{ mV}$

Beispiel: 1Ω , 50 mA , $N = 1000 \cdot \text{t} \Rightarrow 50\,000 \text{ mA} \cdot \text{t}$

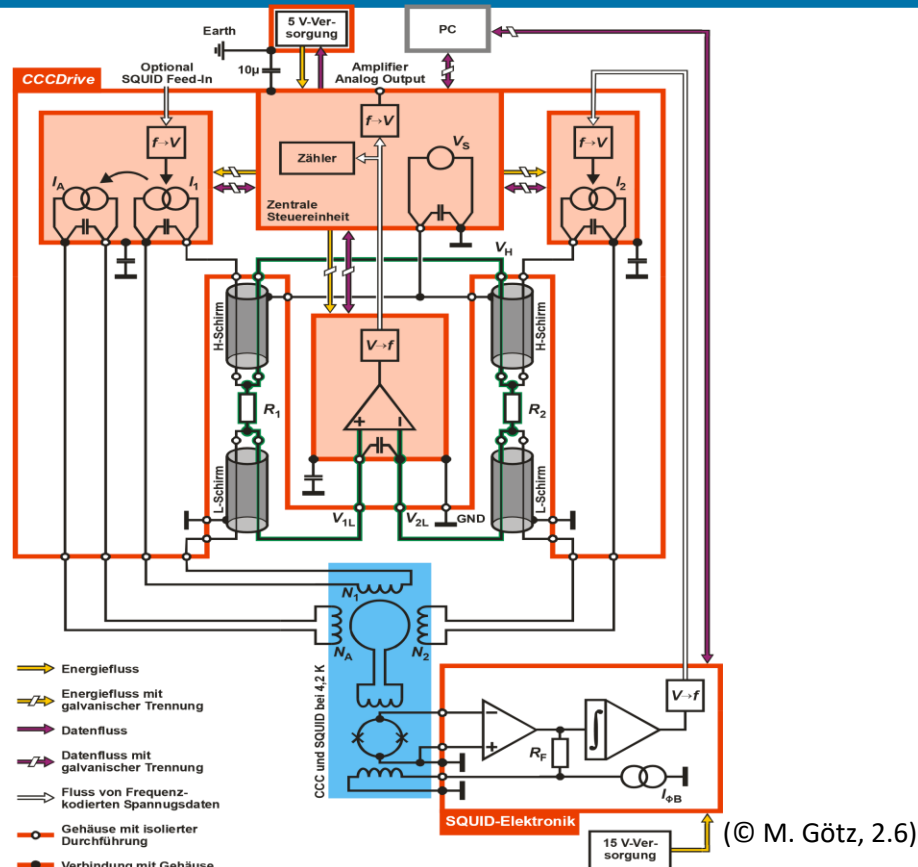
$\Rightarrow 0,2 \text{ mV} / 50\,000 \text{ V}$ entspricht $4 \cdot 10^{-9}$

CCC = cryogenic current comparator

Kryo-Stromkomparator-
Messbrücke

PTB Entwicklung, Vertrieb Fa. Magnicon

Empfindlichkeit 100 mal höher,
als klassischer Komparator



- Seit 10 Jahren ist ein 12-bit Komparator im Einsatz
- Binäre Windungen von 1 bis 2048
- Vorteil: nahezu beliebige Widerstandsverhältnisse lassen sich darstellen
- In 2021 folgt ein 14-bit Komparator
- Binäre Windungen von 1 bis 8192
- Liefert Verhältnisse bis 1000:1 mit sehr geringer Unsicherheit



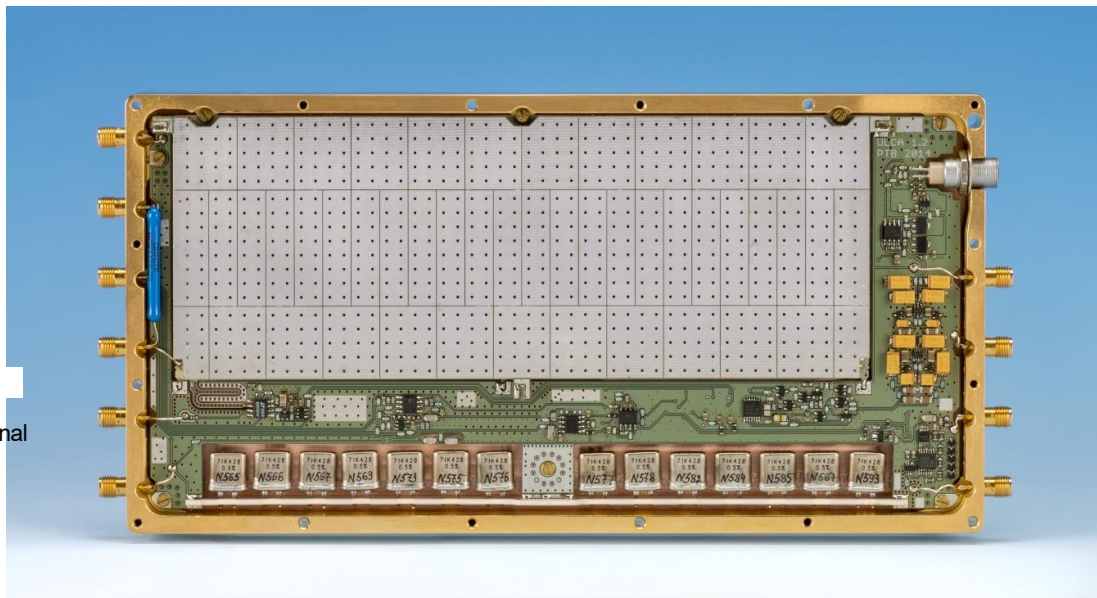
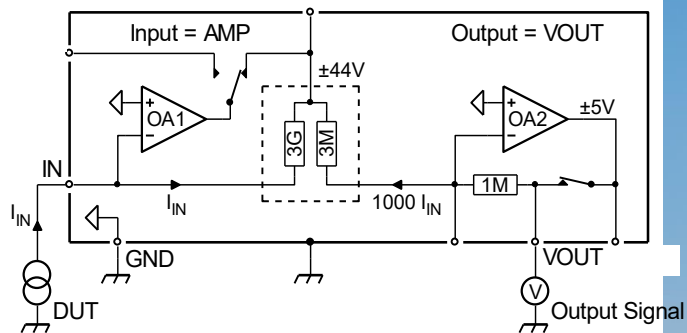
ULCA = ultra-stable low current amplifier



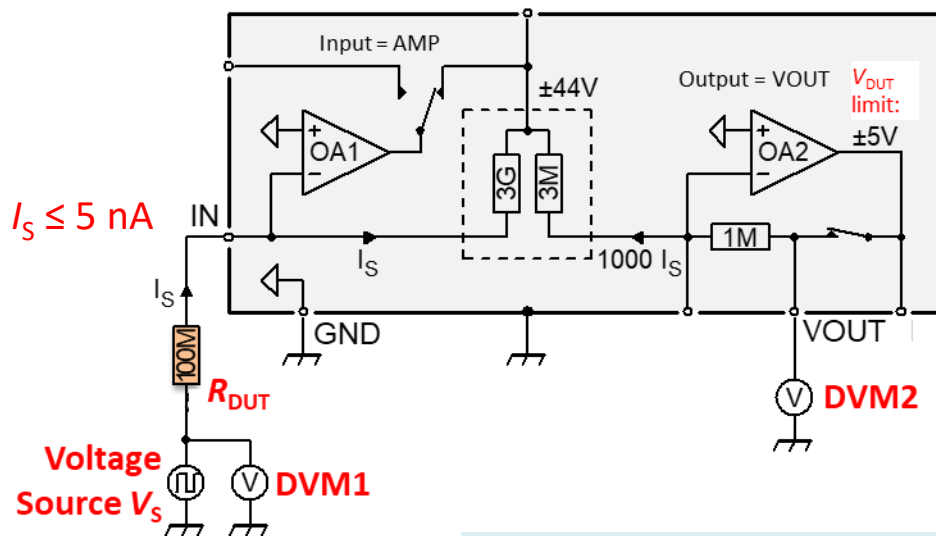
- hochstabile und rauscharme Transimpedanz, $A_{Tr} = 1000 \cdot 1 \text{ M}\Omega$
- basiert auf speziell entwickelten Operationsverstärkern und Widerstandsnetzwerken
- sowohl als Messgerät als auch als Stromquelle einsetzbar



Aufbau des ULCA:



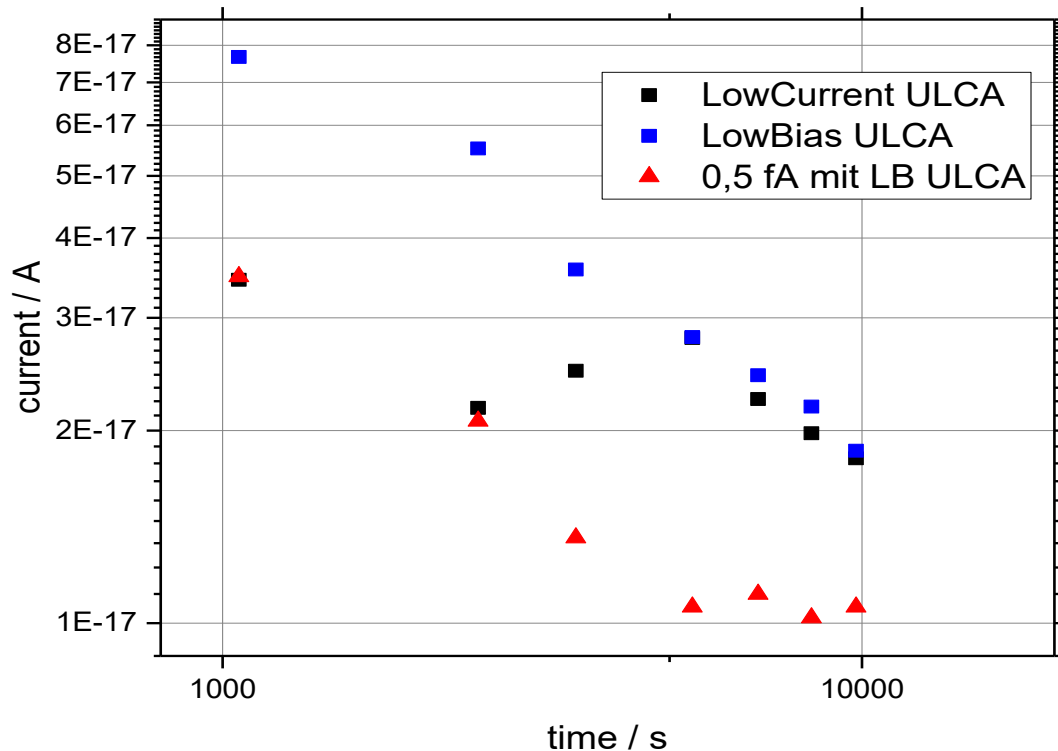
ULCA zur Kalibrierung von Hochohmwiderständen



$$A_{TR} / R_{DUT} = U_{DVM2} / U_{DVM1}$$

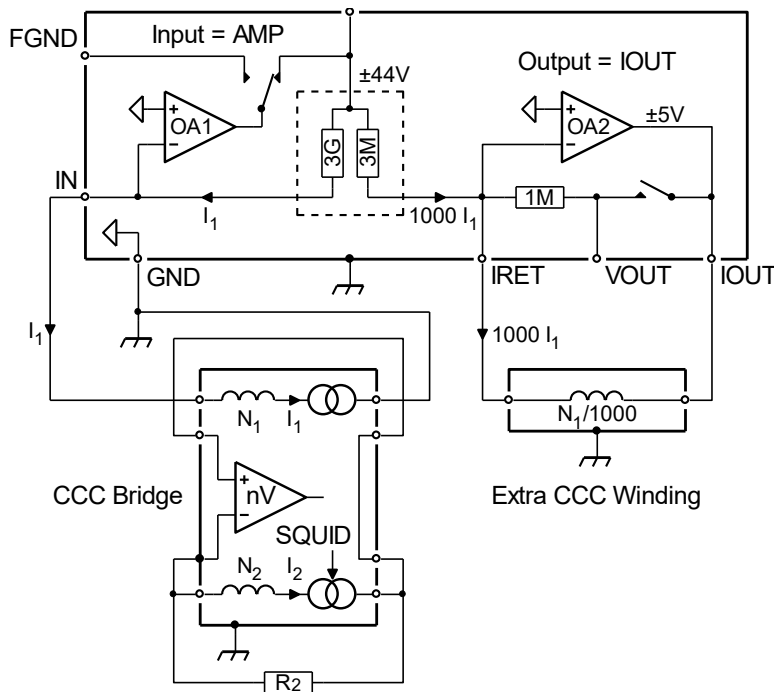
ULCA für Sub-fA-Messungen

Kalibrierung Elektrometer 1 fA



= 60 e/s

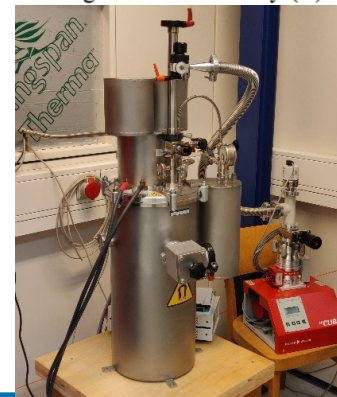
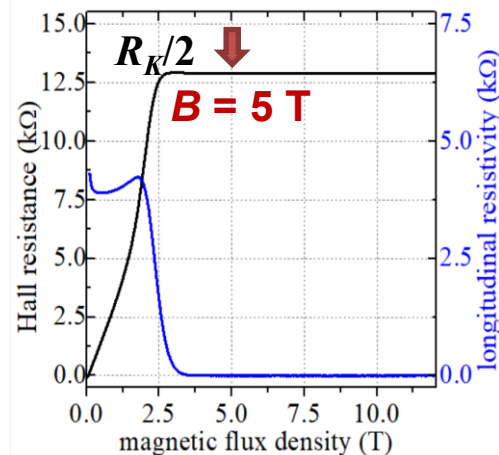
- Einsatz für den 14-bit Komparator
- Kalibrierung des Verhältnisses
- Kalibrierung der Ausgangsstufe
- Initialkalibrierung mit TK



- Künftig werden alle Widerstände zwischen $1\ \Omega$ und $10\ \text{M}\Omega$ mit dem CCC kalibriert
- Vorteil: geringere Messunsicherheit
- Weniger Normale bewahren ($100\ \Omega$ und $10\ \text{k}\Omega$)
- „Nachteil“: maximale Messspannung $3\ \text{V}$

- Werte $100\text{ M}\Omega$ und $1\text{ G}\Omega$ mit ULCA
- Optimale Unsicherheit für $1\text{ G}\Omega$ bei 5 V
- Für Widerstände kleiner $1\text{ }\Omega$ ändert sich (erstmal) nichts
- Neu: ULCA Kalibrierung

- Die PTB arbeitet an stabilen Quanten-Hall-Widerständen aus Graphen
- Diese können in einem supraleitenden Magneten in einem Kleinkühler betrieben werden
- Widerstände von $10\ \Omega$ bis $100\ \text{M}\Omega$ können direkt gegen QHR kalibriert werden



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Danke an die Kollegen des FB 2.6 für die Unterstützung
bei der Umsetzung der neuen Messmöglichkeiten in die Praxis
(...und die schönen Bilder ;))



**Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin**

Bundesallee 100
38116 Braunschweig

Dr. Bernhard Schumacher

Telefon: 0531 592-2110

E-Mail: bernd.schumacher@ptb.de

www.ptb.de