

---

# Aufbau von faserbasierten Interferometern für die Quantenkryptografie

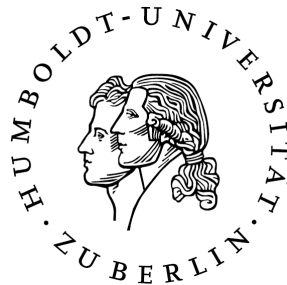
**- Gehäuse, Phasenstabilisierung, Fasereinbau -**

Masterarbeit  
im Studiengang Elektrotechnik und  
Informationstechnik  
Vertiefungsrichtung Photonik

an der



in Kooperation mit der



vorgelegt von

**Björnstjerne Zindler**

geboren am 13. November 1966 in Görlitz

eingereicht am 21. November 2011

Erstgutachter: Herr Professor Dr. A. Richter  
Zweitgutachter: Herr Professor Dr. O. Benson

---

**Meiner Mutter gewidmet**

\*03. Juli 1940

+22. September 2010

## Entwurf eines Messverstärkers für die Verwendung in einem Regelkreis zur Grobabstimmung des geplanten piezoelektrischen Stabilisators.

- **Basierend auf:**

Messwertabnahme der piezoelektrischen Verformung mittels Dehnungsmessstreifen am Piezorohr 74x20x4.

- **Vorbetrachtungen:**

Für die Grobabstimmung der Phasentreue des piezoelektrischen Stabilisators ist ein Regelkreis vorgesehen. Inhalt dieses Regelkreises ist die Abnahme und Verstärkung der Messwerte der Dehnungsmessstreifen. Am Ausgang liegt ein Spannungshub von 0 bis +2V bei einer Piezospannung von 0V bis +1000V an.

- **Abschätzen des „ $\Delta R$ “:**

Gegeben ist die Berechnungsgrundlage zur Abschätzung der Widerstandsänderung „ $\Delta R$ “ in einer Diagonalbrücke:

$$\Delta R = 2 \cdot \frac{U_M}{U_E - U_M} \cdot R$$

Mit:  $U_M$  = Messspannung am Ausgang der Brücke  
 $U_E$  = Eingangsspannung der Brücke  
 $R$  = Dehnungsmessstreifenwiderstand ohne Dehnung

Die Dehnung „ $\varepsilon$ “ ist definiert durch:

$$\varepsilon = \frac{2}{k} \cdot \frac{U_M}{U_E - U_M}$$

Mit:  $k$  = Sensitivität der Dehnungsmessstreifen

Der rechte Term von „ $\varepsilon$ “ wird in „ $\Delta R$ “ eingesetzt, was ergibt:

$$\Delta R = \varepsilon \cdot k \cdot R$$

Als letztes wird die Dehnung substituiert, diese ist definiert als:

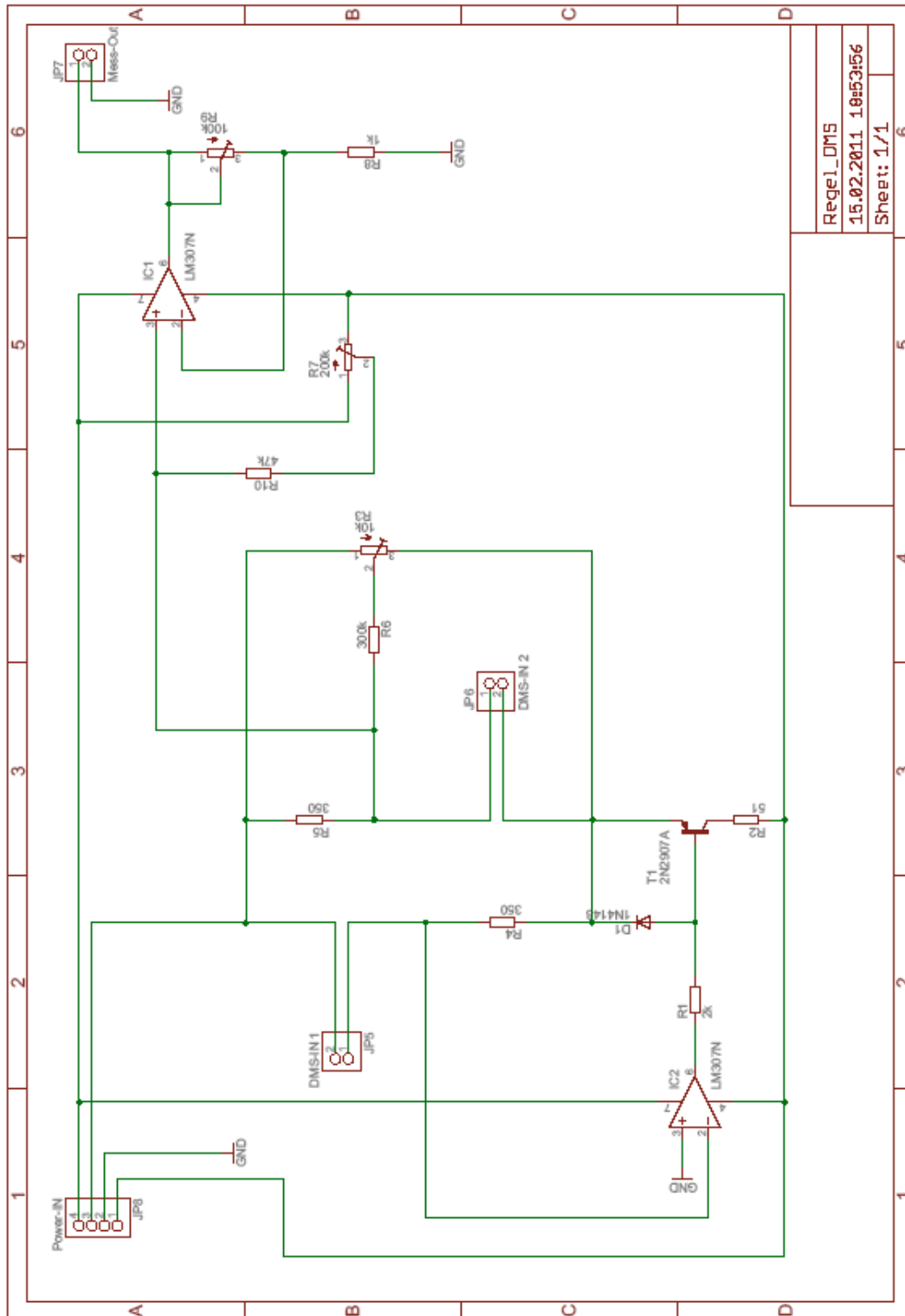
$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d_0}$$

⇒



Die Leiterplattengröße beträgt 45x45mm, wobei in den Ecken ein Bereich von 10x10mm ausgespart bleibt für die Aufnahme der Befestigungen. In der Mitte ist ein 3,2mm- Loch, Platz für die geplante Befestigung des Piezoringes z. B. mittels einer M3- Gewindestange. Die bebaubare Höhe der Leiterplatte beträgt 18,5mm.

• **Schaltplan:**



Abbild 2: Der Schaltplan für den Messwertaufnehmer. Genutzt wird hier noch der pinkompatible Standard- OPV LM307N für erste Simulationen.

Die genutzte Schaltung ist ein etwas modifizierter Applikationsvorschlag für den OPV LTC1050, welcher speziell für 350Ω- Dehnungsmessstreifen geeignet ist. Neben den aktiven und passiven Bauelementen sind hier nur die drei Trimmer R3, R7 und R9 von Interesse. Sie bestimmen die Sensitivität und den Spannungswertebereich des Messwertaufnehmers

### R3 - 10k

Der einstellbare Widerstand „R<sub>3</sub>“ dient der Feineinstellung der Wheatstonschen Brücke um ihren Nullpunkt herum zwecks Ausgleich von Unsymmetrien der DMS- Streifen. Die Simulation der elektronischen Schaltung ergab eine Abhängigkeit der abgegebenen Brückenspannung „U<sub>M</sub>“ vom Widerstand der beiden „führenden“ DMS- Streifen „DMS-IN 1“ und „DMS- IN 2“ und der Größe des Trimmerwiderstandes „R<sub>3</sub>“ zwischen den Klemmen „1“ und „2“.

$$U_M [mV] = 7,8607 \cdot R_{DMS} - 264 \cdot 10^{-6} \cdot R_3^{(12)} - 2498,6486$$

⇒

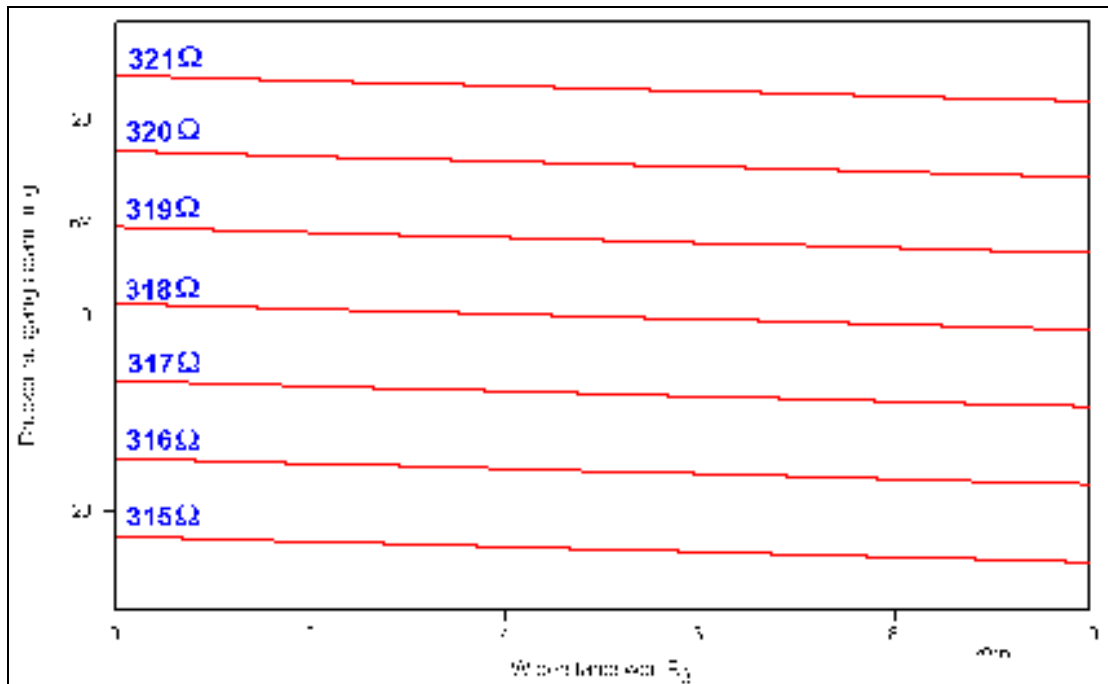


Abbildung 3: Die Brückenausgangsspannung in [mV] in Abhängigkeit vom Widerstand „R<sub>3</sub>“ und verschiedenen DMS- Widerstandswerten.

Die Symmetrie der idealen Brücke ist erreicht, wenn „U<sub>M</sub>“ den Wert „0“ annimmt. Das gilt für ein „R<sub>3</sub>“ von:

$$0 = 7,8607 \cdot 318 - 264 \cdot 10^{-6} \cdot R_3^{(12)} - 2498,6486$$

⇒

$$R_3^{(12)} = 4029\Omega$$

⇒

$$R_3 = 2 \cdot R_3^{(12)} = 2 \cdot 4029 = 8058\Omega$$

⇒

$$R_3 \approx 10k\Omega$$

**R7 - 200k**

Der Trimmer „R<sub>7</sub>“ dient der Verschiebung des Arbeitspunktes des nachfolgenden OPVs vom Typ LTC1050. Dadurch ist es möglich verschiedene Messmodi zu generieren. Die Simulation der Schaltung ergab eine Spannung am nichtinvertierenden Eingang des OPVs in Abhängigkeit der beiden „führenden“ DMS-Streifen „DMS-IN 1“ und „DMS- IN 2“ und der Größe des Trimmerwiderstandes „R<sub>7</sub>“ zwischen den Klemmen „1“ und „2“ bei ideal eingestellten Trimmer „R<sub>3</sub>“ von:

$$U_+ [mV] = 7,8667 \cdot R_{DMS} - 257,92 \cdot 10^{-6} \cdot R_7^{(12)} - 2475,82$$

Der Dehnungsmessstreifen besitzt einen Widerstand von 315Ω bis 321Ω bei maximaler Beanspruchung (siehe „Abschätzen des ΔR“). Der mittlere Wert für „R<sub>7</sub>“ ist dadurch definierbar unter der Annahme:

$$U_M = U_+$$

⇒

$$7,8607 \cdot R_{DMS} - 264 \cdot 10^{-6} \cdot 4029 - 2498,6486 = 7,8667 \cdot R_{DMS} - 257,92 \cdot 10^{-6} \cdot R_7^{(12)} - 2475,82$$

⇒

$$R_7^{(12)} = 23,048 \cdot R_{DMS} + 92625,8$$

Der Wert für „R<sub>7</sub>“ ist (fast) unabhängig von den DMS- Widerständen, so kann festgelegt werden:

$$R_7^{(12)} = 92626\Omega$$

⇒

$$R_7 = 2 \cdot R_7^{(12)} = 2 \cdot 92626 = 185252\Omega$$

⇒

$$R_7 \approx 200k\Omega$$

**R9 - 100k**

Der Widerstand „R<sub>9</sub>“ bestimmt die Verstärkung des Ausgangs- OPVs vom Typ LTC1050. Am Ausgang des Messwertaufnehmers soll so ein spannungsmäßig starkes Signal anliegen. Dies gewährleistet einen großen Signal- Rausch- Abstand und somit eine sehr gute Robustheit gegenüber Störungen. Die Verstärkung „V“ ist definiert durch:

$$V = \frac{R_9^{(23)}}{R_8} + 1$$

⇒

$$U_{OUT} = V \cdot U_+$$

Die Simulation ergab für „U<sub>OUT</sub>“ folgende Berechnungsgrundlage:

$$U_{OUT} [mV] = 666,67 \cdot R_{DMS} - 21,858 \cdot 10^{-3} \cdot R_7^{(12)} - 209816$$

So ergibt sich für die Verstärkung „V“:

$$V = \frac{U_{OUT} [mV]}{U_+ [mV]}$$

⇒

$$V = \frac{666,67 \cdot R_{DMS} - 21,858 \cdot 10^{-3} \cdot R_7^{(12)} - 209816}{7,8667 \cdot R_{DMS} - 257,92 \cdot 10^{-6} \cdot R_7^{(12)} - 2475,82}$$

⇒

$$\lim_{R \rightarrow +\infty} V = 84,747$$

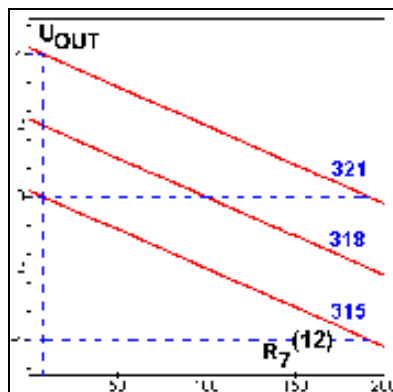
⇒

$$R_9^{(23)} = 83747\Omega$$

⇒

$$R_9 \approx 100k\Omega$$

Durch Festlegung von „R<sub>9</sub>“ und die Einstellbarkeit von „R<sub>7</sub>“ sind drei verschiedene Messmodi definierbar.



Abbild 4: Die Festlegung der drei verschiedenen Messmodi in Abhängigkeit vom Widerstand „R<sub>7</sub>“ bei verschiedenen Widerstandswerten der DMS- Streifen.

Tabellarisch dargestellt die drei Messmodi und der dadurch notwendige Wert von „R<sub>7</sub>“:

U <sub>OUT</sub> [V]	R <sub>DMS</sub>		
+ 4	321	324	327
+ 2	<b>318</b>	321	324
0	315	<b>318</b>	321
- 2	312	315	<b>318</b>
- 4	309	315	315
	8,5kΩ	100kΩ	191,5kΩ
	R <sub>7</sub> <sup>(12)</sup>		