

Masterarbeit:

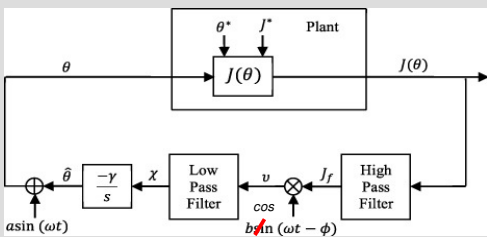
Regelung eines dualen konfokalen Fabry – Perót Interferometers unter Einbindung eines LangpulsLasers für Laserultraschall

Author: Philipp Hollinger
Supervisors: Prof. Dr. Luigi del Re
 Dr. DI Thomas Passenbrunner
 Dr. DI Hannes Trogmann
Finished: Oktober 2014

Kurzbeschreibung:

Die Arbeit fällt in den Bereich Laser-Ultraschallmessung und dient zur zerstörungsfreien Bestimmung von Materialeigenschaften. In ein zu prüfendes Material werden Ultraschallwellen ein-gebracht, welche am Material Oberflächenwellen erzeugen. Richtet man einen Laser auf diese Oberfläche so entsteht im reflektierten Lichtstrahl eine Phasenmodulation. Diese kann mit einem Fabry-Perót Interferometer in eine Amplitudenmodulation umgewandelt und dann weiterverarbeitet. Die nichtlineare Kennlinie wird über den Abstand zweier Spiegel im Nanometerbereich eingestellt. Der zu regelnde Arbeitspunkt ist gleichzeitig der Wendepunkt dieser Kennlinie, weshalb als Regelkonzept eine Adaption der Extremum Seeking Regelung verwendet wurde.

Herleitung & Simulation



Der Arbeitspunkt soll im linearsten Bereich des Peaks liegen, weshalb als Punkt der Wendepunkt gewählt wurde. Daher wurde die Extremum Seeking Methode zu einer Turningpoint Seeking Methode weiterentwickelt. Dabei soll der Schätzfehler so klein wie möglich werden. Die Addition der Schwingung am Eingang liefert die Information über den Gradienten.

Systemeingang im Optimum	θ^*
Systemausgang im Optimum	J^*
Systemeingang	θ
Schätzung des optimalen Eingangs	$\hat{\theta}$
„demoduliertes“ Signal	χ
Schwingungsfrequenz	ω
Schätzfehler	$\tilde{\theta} = \theta^* - \hat{\theta}$

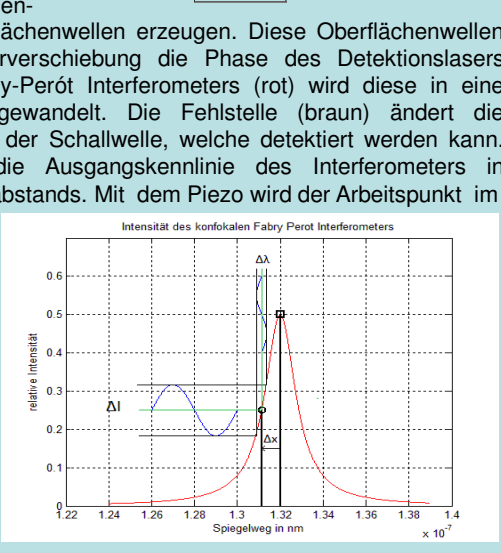
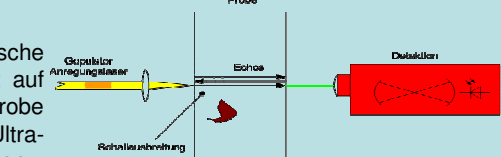
Der Systemausgang ergibt sich nach mathematischer Vereinfachung zu

$$J(\theta) = f^* + f'(\tilde{\theta} - a * \sin(\omega t)) + \frac{f''}{2}(\tilde{\theta} - a * \sin(\omega t))^2 + \frac{f'''}{6}(\tilde{\theta} - a * \sin(\omega t))^3$$

nach Eliminierung von f^* durch den HP und

Prinzip

Der gepulste hochenergetische Anregungslaser (gelb) trifft auf die zu untersuchende Probe und erzeugt in dieser Ultraschallwellen, die an der gegenüberliegenden Seite Oberflächenwellen erzeugen. Diese Oberflächenwellen ändern durch die Dopplerverschiebung die Phase des Detektionslasers (grün). Mit Hilfe des Fabry-Perót Interferometers (rot) wird diese in eine Amplitudenmodulation umgewandelt. Die Fehlstelle (braun) ändert die Ausbreitungseigenschaften der Schallwelle, welche detektiert werden kann. Das untere Bild zeigt die Ausgangskennlinie des Interferometers in Abhängigkeit des Spiegelabstands. Mit dem Piezo wird der Arbeitspunkt im



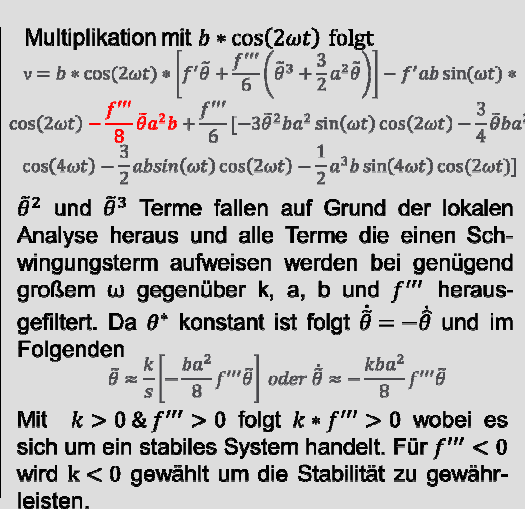
Multiplikation mit $b * \cos(2\omega t)$ folgt

$$v = b * \cos(2\omega t) * \left[f' \tilde{\theta} + \frac{f''}{6} (\tilde{\theta}^3 + \frac{3}{2} a^2 \tilde{\theta}) \right] - f' a b \sin(\omega t) * \cos(2\omega t) - \frac{f''}{8} \tilde{\theta} a^2 b + \frac{f'''}{6} \left[-3 \tilde{\theta}^2 b a^2 \sin(\omega t) \cos(2\omega t) - \frac{3}{4} \tilde{\theta} b a^2 \cos(4\omega t) - \frac{3}{2} a b \sin(\omega t) \cos(2\omega t) - \frac{1}{2} a^3 b \sin(4\omega t) \cos(2\omega t) \right]$$

$\tilde{\theta}^2$ und $\tilde{\theta}^3$ Terme fallen auf Grund der lokalen Analyse heraus und alle Terme die einen Schwingungsterm aufweisen werden bei genügend großem ω gegenüber k , a , b und f'''' herausgefiltert. Da θ^* konstant ist folgt $\dot{\tilde{\theta}} = -\dot{\hat{\theta}}$ und im Folgenden

$$\dot{\tilde{\theta}} \approx \frac{k}{s} \left[-\frac{b a^2}{8} f'''' \tilde{\theta} \right] \text{ oder } \dot{\tilde{\theta}} \approx -\frac{k b a^2}{8} f'''' \tilde{\theta}$$

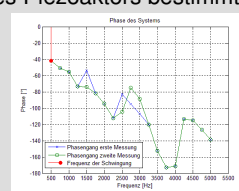
Mit $k > 0$ & $f'''' > 0$ folgt $k * f'''' > 0$ wobei es sich um ein stabiles System handelt. Für $f'''' < 0$ wird $k < 0$ gewählt um die Stabilität zu gewährleisten.



Das Regelergebnis der Simulation zeigt auch die Funktion bei Umschaltung auf einen gepulsten Laser.

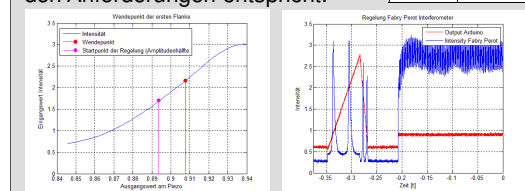
Phasenuntersuchung

Die Resonanzfrequenz des Piezoaktors bestimmt sich aus Kopplung zwischen mechanischen und elektrischen Teil und ist für die Stabilität der Regelung und die Wahl der Anregungsfrequenz ein zentrales Element.



Test an der realen Strecke

Getestet wurde der entwickelte Regelalgorithmus am realen Interferometer mit den angegebenen Parametern. Der Offset zwischen dem aus Messdaten errechneten Wert und dem tatsächlich geregelten, lässt sich durch die Filterung der Daten in Matlab und die große Steilheit der Kurvenform erklären. Dabei handelt es sich um einen Regelfehler von 1.2 nm, was den Anforderungen entspricht.



Hardware

Mikrocontroller: Arduino Due (12 bit ADC und 12bit DAC am Board implementiert)
Piezo: Ringaktuator in Stackausführung

Fazit & Ausblick

Die Forderung nach einer funktionierenden Blackboxregelung unter Verwendung eines Low- Cost Mikrocontrollers wurde erfüllt. Die Messung der Phasenbeziehung im gesamten System hat sich für die Wahl der Anregungsfrequenz der Turningpoint-Seeking Methode und somit für die Stabilität der Regelung als essentiell herausgestellt. Für die Zukunft bleibt die reale Implementierung des gepulsten Lasers und die weiterentwicklung zum symmetrischen Aufbau mit einem zweiten Arm.