

**Grundpraktikum Maschinenlabor**

# **Frequenzgangangalyse**

**Praktikumsbericht**

**Mittwoch, 04. Dezember 2014**

**Gruppe 6**

Version *7ea09c5* vom 5. Dezember 2014

Ole Brinkmann 406572 obr11@tu-clausthal.de

Lasse Fröhner 420013 lf12@tu-clausthal.de

Sebastian Löhr 341792 swl@tu-clausthal.de

Anna Stillfried 421777 apmsr12@tu-clausthal.de

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Aufbau</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>2</b>
4.1	Rekonstruktion des Eingangssignal aus den Messungen	2
<b>5</b>	<b>Fehlerbetrachtung</b>	<b>3</b>
<b>6</b>	<b>Fazit</b>	<b>4</b>

# 1 Einleitung

Der sechste Versuch im Grundpraktikum Maschinenlabor WS 2014/15 vom 03.12.2014 am Institut für elektrische Informationstechnik befasst sich mit der Auswertung des Übertragungsverhalten eines dynamisch ermittelten Systems (Identifikation).

Die Übertragungsglieder lassen sich sowohl im Zeitbereich, wie auch im Frequenzbereich analysieren [BW13]. Auf das dynamische System wird eine Eingangsgröße (Sinusfunktion) aufgegeben und eine Ausgangsgröße (Sinusantwort) mithilfe des Übertragungsverhalten des Übertragungsgliedes (LZI-Glied) ausgegeben. Hierdurch werden Phasenverschiebung und Winkelauslenkung für beide Frequenzspektren aufgenommen und miteinander verglichen. Das Oszilloskop zeigt die Sprungfunktion, sowie die Sinusfunktion. Aus diesem Vergleich wird der Frequenzgang bei Aufschaltung eines harmonischen, sinusförmigen Eingangssignales für alle Frequenzen beschrieben. Der Frequenzgang wird in Phasen und Amplitudengang aufgeteilt und in Form eines Bodediagramms graphisch dargestellt. Die Analysen hierfür können zur Erstellung neuer schwingfähiger System wie auch zur Verbesserung bestehender Systeme dienlich sein. Ziel dieser Frequenzganganalyse ist es den mathematischen Zusammenhang zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen herzustellen, die Übertragungsfunktion.

# 2 Aufbau

Eine Frequenzganganalyse wird an einem Federpendel durchgeführt, bestehend aus einer Torsionsfeder und einer Schwungmasse. Eine Wirbelstrombremse dient als Systemdämpfung. Die Wirbelstrombremse ist stufenlos einstellbar. Eine Spule erzeugt ein elektromagnetisches Feld in der Aluminiumschwungscheibe. Es entsteht ein kreisförmiger Stromfluss bzw. ein Wirbelstrom aufgrund der Lorentzkraft. Der Wirbelstrom hat ein Magnetfeld zur Folge welches dem elektromagnetischen Feld und somit der Bewegung der Scheibe entgegen wirkt.

Das Federpendel wird über einen stufenlos einstellbaren Gleichstrommotor angetrieben. Die rotierende Bewegung des Motors muss jedoch in eine Sinusbewegung transformiert werden. Dies geschieht mit Hilfe eines Kurbeltriebs. Die Antriebsscheibe des Motors bewegt eine Pleuelstange, welche wiederum den Antriebshebel antreibt. Dieser führt nun vereinfacht eine horizontale Bewegung aus. Der Antriebshebel tordiert auf diese Weise die Feder in einer sinusförmigen Bewegung.

Das erzeugte Eingangs- und Ausgangssignal wird über ein Oszilloskop sichtbar gemacht, wobei das Eingangssignal als Impuls und das Ausgangssignal als Sinusschwingung angegeben wird. Dies liegt an den verschiedenen Messaufbauten für das Eingangs- und Ausgangssignal. Ein Impulsgeber zeichnet die Bewegung des Antriebshebels auf, sobald dieser seinen maximalen Ausschlag erreicht hat. Daraus kann im Nachhinein jedoch die Sinusschwingung rekonstruiert werden. Das Ausgangssignal wird durch einen inkrementalen optoelektronischen Drehgeber aufgezeichnet.

### 3 Durchführung

Zu Beginn des Versuchs werden zusätzlich zu der Resonanz und der Kennkreisfrequenz noch acht weitere Messpunkte festgelegt und die Einschwingzeit ermittelt. Dazu wird die Schwungmasse mit der Hand ausgelenkt und die Zeit bis zum Stillstand dieser auf dem Oszilloskop abgelesen. Wichtig ist nun, dass während des Versuchs, erst nach dieser, ermittelten Einschwingzeit, die Werte auf dem Oszilloskop abgelesen werden, also das System sich im eingeschwungenen Zustand befindet. Nun wird das Einstellrad für die Drehzahl des Gleichstrommotors auf null gedreht und der Gleichstrommotor eingeschaltet. Anschließend wird zur Ermittlung der Resonanzfrequenz, das Einstellrädchen langsam in Richtung steigender Drehzahl gedreht, bis die maximale Amplitude erreicht wird, welche auf dem Oszilloskop abgelesen werden kann. Zur Ermittlung der Kennkreisfrequenz wird ähnlich vorgegangen, nur dass hier ein Phasenverschub von  $90^\circ$  gesucht wird. Wurden diese beiden Winkelgeschwindigkeiten ermittelt, so werden nun nacheinander die unterschiedliche, vorher festgelegten, Frequenzen eingestellt und anschließend die die Amplitude und Frequenz genau ermittelt sowie eine Momentaufnahme zur späteren Auswertung gespeichert.

### 4 Auswertung

#### 4.1 Rekonstruktion des Eingangssignal aus den Messungen

Zunächst wird der Zusammenhang zwischen den tatsächlichen Zeitverläufen des Auslenkungswinkels  $\alpha(t)$  und dem gemessenen Eingangssignal hergestellt.

Der Auslenkungswinkel  $\alpha(t)$  des Antriebshebels verändert nicht sein Maximum  $\gamma$

während des Versuchs, jedoch wird die Drehzahl verringert bzw. vergrößert. Demzufolge ändert sich die Winkelgeschwindigkeit bzw. die Zeit die benötigt wird um den Winkel  $\gamma$  zu überstreichen. Das Eingangssignal kann als ideale Sinusschwingung angenommen werden. Es wird folglich die Periodendauer verändert. Die daraus entstehenden veränderlichen Zeitverläufe des Auslenkungswinkels  $\alpha(t)$  sollen gemessen werden. Dies geschieht über einen Impulsgeber, welcher immer dann einen Impuls abgibt, wenn der Antriebshebel die maximale Auslenkung erreicht hat. Das gemessene Eingangssignal gibt also nur Aussage über die Periodendauer der Sinusschwingung nicht über dessen Amplitude.

Nun wird der maximale Auslenkungswinkel  $\gamma$  berechnet. Es wird angenommen, dass die Bewegung des Antriebshebels linear verläuft und nicht als Kreisbogen. Die gesamte Strecke, die vom Antriebshebel abgefahren wird, ergibt sich zu  $2 \cdot r_1$ . Nun kann der Winkel  $\gamma$  errechnet werden.

$$\frac{\gamma}{2} = \arcsin \frac{r_1}{r_2} = \arcsin \frac{0,043}{0,235} = 10.54^\circ \quad (1)$$

Der insgesamt vom Antriebshebel überstrichene Winkel  $\gamma$  ergibt sich somit zu  $21.086^\circ$

## 5 Fehlerbetrachtung

Hinsichtlich der Erfassung und Protokollierung der Messwerte der Frequenzganganalyse können verschiedene Fehler auftreten. Die verschiedenen Fehler sind in systematische, stochastische und methodische Fehler zu unterscheiden. Systematische Fehler sind bei identischer Anwendung reproduzierbar und sofern diese bekannt sind, auch korrigierbar. Ein systematischer Fehler wäre bei diesem Versuch zum Beispiel, dass die Eingangsschwingung keine ideale Sinusschwingung aufgrund des Kurbelbetriebs aufweist. Ferner ist die Federkonstante von der Temperatur abhängig, was eine weitere Fehlerquelle aufzeigt. Die Temperatur wird nicht gemessen und somit können auch die Reibungsverluste die in den Lager auftreten nicht berücksichtigt werden. Der Elektromotor läuft bei niedrigen Drehzahlen unruhig und es sind Toleranzabweichungen in den Messgeräten vorhanden. Stochastische Fehler können bei diesem Versuch in verschiedenen Arten vorkommen. Einerseits kann ein Messrauschen, wie es aus der Messtechnik und Signalübertragung bekannt ist, die angezeigten Ergebnisse verfälschen, andererseits können auch menschliche Fehler entstehen. Hier ist vor allen der Ablesefehler zu

nennen. Auch Rundungsfehler in den Messwerten sind zu berücksichtigen. Diese Fehler lassen sich in der Regel nur schwer korrigieren und auch vermeiden. Ein methodischer Fehler liegt in dem Versuch durch die geringe Anzahl der Versuchspunkte vor, dadurch lässt sich ein vollständiges Bodediagramm nicht abbilden.

## 6 Fazit

Dieser Versuch hat gezeigt, dass es möglich ist den Frequenzgang von Systemen experimentell zu bestimmen und so Aufschluss über das Verhalten bei bestimmten Frequenzen zu bekommen. Dies ist für viele schwingende Bauteile relevant, da die Amplitude stark variieren kann und somit auch der Verschleiß. Es ist also zum Beispiel interessant das Verhalten eines Bauteils so anzupassen, dass die Resonanzfrequenz und somit auch die überhöhte Amplitude im Betrieb vermieden wird. Dazu wurden hier im Versuch verschiedene, auf den Frequenzgang Einfluss nehmende Größen bestimmt. Wenn man den genauen Zusammenhang dieser Größen im Bauteil versteht, so kann man einzelne von ihnen ändern und so durch relativ leichte eingriffe starken Einfluss auf das Schwingverhalten und somit auch die Betriebsfestigkeit nehmen.

## Literatur

- [BW13] Thomas Beier und Petra Wurl. *Regelungstechnik*. Hanser Verlag, 2013.
- [Ger13] Hendrik Gerth. *Messtechnik 1 - Skript zur Vorlesung*. Clausthal-Zellerfeld, 2013.
- [Hei14] Dipl. Math. Wiebke Heins. „Grundpraktikum Frequenzganganalyse“. In: *TU Clausthal, Grundpraktikum Maschinenlabor* (2014).
- [Joh14] Connor Johnson. *Smoothing with Exponentially Weighted Moving Averages*. 1. Feb. 2014. URL: <http://connor-johnson.com/2014/02/01/smoothing-with-exponentially-weighted-moving-averages/> (besucht am 05.12.2014).