

Aufgabe

Es soll ein kapazitiver Beschleunigungs-Sensor entwickelt werden. Bevor das System realisiert wird, sollen seine dynamischen Eigenschaften numerisch simuliert werden. Dazu soll das System schrittweise als Blockschaltbild in Simulink modelliert und analysiert werden.

Hinweis: Bitte bereiten Sie die vorbereitenden Aufgaben zum Übungstermin vor, so dass Sie genug Zeit haben, das Modell in Simulink zu implementieren und zu testen!

Beschreibung des Sensors¹:

Um eine von außen wirkende Trägheitskraft F messen zu können, ist eine Probenmasse m durch zwei Federn so aufgehängt, dass sie sich entlang einer Achse verschieben kann (siehe nebenstehendes Bild). Diese Auslenkung y ist ein Maß für die zu messende Beschleunigung. Um die Auslenkung zu messen, werden insgesamt 42 differentielle Kondensatorsysteme verwendet, von denen im Bild der Übersicht halber nur 10 dargestellt sind.

Die Probenmasse beträgt $m = 2.2 \cdot 10^{-10}$ kg. Die rückstellende Federkraft F_c ist proportional zur Auslenkung y :

$$F_c(t) = c \cdot y(t)$$

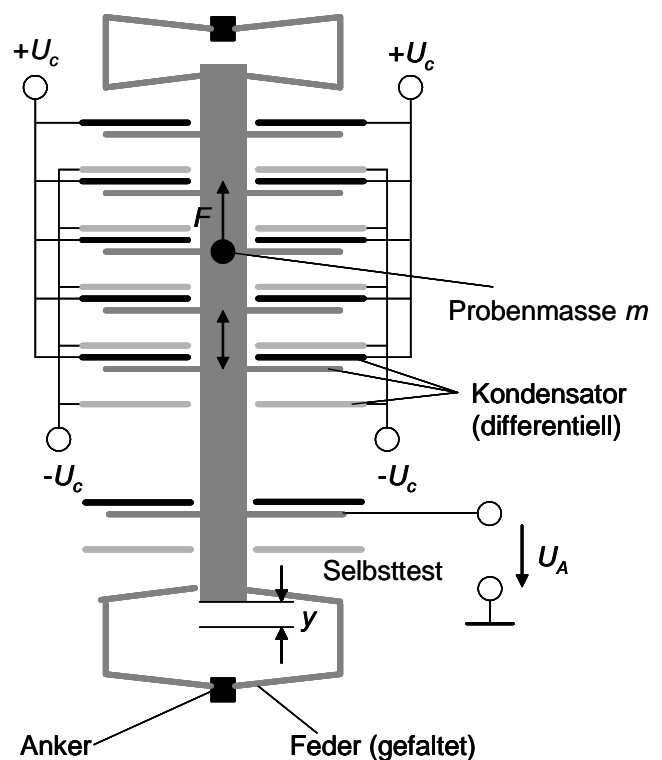
Im unbeschleunigten System gilt $y = 0$. Die effektive Federsteifigkeit beider Federn wird mit $c = 5.4$ N/m angegeben.

Die Dämpfung des Systems resultiert hauptsächlich aus dem Gasfluss an der Oberfläche der bewegten Probenmasse und führt zur Dämpfungskraft F_d , die proportional zur Geschwindigkeit der Probenmasse ist:

$$F_d(t) = d \cdot \dot{y}(t)$$

Die Dämpfungskonstante beträgt $d = 6.8 \cdot 10^{-6}$ Ns/m.

Jedes der Kondensatorsysteme besteht aus einer ruhenden unteren und einer ruhenden oberen Elektrode, die an eine symmetrische Spannungsversorgung angeschlossen sind. Die dazwischenliegende Elektrode bewegt sich mit der Probenmasse mit und bildet mit der oberen Elektrode die Kapazität C_1 und mit der unteren Elektrode die Kapazität C_2 (siehe Bild). Der in



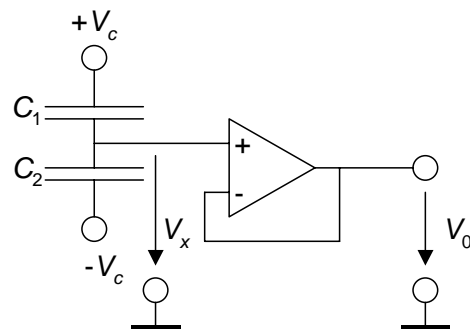
¹ nach: St. D. Senturia: Microsystem Design, Kluwer, 2002, Kapitel 19

Bild 2 dargestellte Operationsverstärker dient nur der Verstärkung des Ausgangssignals, es gilt $V_x = V_0$.

Der Zusammenhang zwischen der Auslenkung und der gemessenen Spannung ist: $U_M = K_M \cdot y$.

Es ist $K_M = 7,69 \cdot 10^6$ V/m.

Der Sensor besitzt außerdem noch eine Selbsttesteinrichtung, die als Aktor arbeitet. Über Anlegen einer Spannung kann man eine elektrostatische Kraft auf die Probenmasse einwirken. Es gilt (lineare Näherung): $F = K_A \cdot U_A$ mit $K_A = 4,0 \cdot 10^{-7}$ N/V



Modellierung des mechanischen Teilsystems

Vorbereitende Aufgabe:

- Zeichnen Sie das Blockschaltbild für die Beziehung zwischen Kraft $F(t)$ als Eingangsgröße, der Beschleunigung $\ddot{y}(t)$, der Geschwindigkeit $\dot{y}(t)$ und der Auslenkung $y(t)$ als Ausgangsgröße.
- Ergänzen Sie die Kräfte F_c und F_d im Blockschaltbild.

Übungsaufgabe:

- Implementieren Sie das mechanische Teilsystem in Simulink. Achten Sie dabei insbesondere auf eine konsequente Wahl der Einheiten (Normierung der Signale).
- Schalten Sie eine Sprungfunktion an den Eingang (Bibliothek: Simulink\Sources\Step) und ein Scope zur Darstellung an den Ausgang (Bibliothek: Simulink\Sinks\Scope).
- Simulieren Sie das System. (Stellen Sie dazu im Menü „Simulation\Simulation Parameters ...“ als „Stop time“ 0.001 und als „Absolute tolerance“ $1e-10$ ein.)
- Beurteilen Sie das Systemverhalten:
- Wie lang ist eine Schwingungsperiode während des Einschwingvorgangs, welche Resonanzfrequenz lässt sich daraus abschätzen?
- Nach welcher Zeit ist das System eingeschwungen?
- Was passiert, wenn man die Sprunghöhe des Eingangssignals verdoppelt oder halbiert?
- Wie groß darf die Sprunghöhe der Kraft am Eingang maximal sein, ohne dass die Probenmasse anschlägt, d. h. dass $y(t)$ im Bereich $\pm d/2 = \pm 0.65 \mu\text{m}$ liegt? Der wie vielfachen Beschleunigung von $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ der Probenmasse entspricht das?
- Ergänzen Sie das Blockschaltbild um das elektrische Teilsystem des Sensors und Aktors.
- Führen Sie wiederum die Simulation der Sprungantwort durch.
- Führen sie einen Selbsttest (bei verschwindender äußerer Beschleunigung) durch.