

MECHATRONIK – ein neues Forschungs- und Lehrgebiet

Mechatronik ist ein interdisziplinäres Gebiet der Ingenieurwissenschaften, das auf den klassischen Disziplinen Maschinenbau, Elektrotechnik und Informatik aufbaut. Ein typisches mechatronisches System nimmt Signale auf, verarbeitet sie und gibt Signale aus, die es z.B. in Kräfte und Bewegungen umsetzt. Im Vordergrund steht die Erweiterung und Ergänzung ursprünglich rein mechanischer Systeme durch Sensoren, Aktoren und (Prozess-)Rechner zur Schaffung teiltelliger Produkte oder von Produkten, die erst durch das Zusammenspiel aller Komponenten funktionsfähig werden, wie z. B. die schwebende Kugel.

Die Universität Hannover bietet den interdisziplinären Studiengang Mechatronik sowohl für Studierende des Maschinenbaus wie auch der Elektrotechnik an. In beiden Fachbereichen hat sich die Mechatronik zu einem zentralen Schwerpunkt Forschungs- und Lehrgebiet entwickelt. Das Mechatronik-Zentrum Hannover fasst die Aktivitäten der Universität Hannover auf diesem Gebiet unter einem Dach zusammen und ist somit Ansprechpartner sowohl für Studierende als auch für die Industrie.

Die schwebende Kugel

Die schwebende Kugel ist ein typisches Beispiel für ein System, das erst durch das Zusammenwirken von Mechanik, Elektronik und Regelungstechnik funktionsfähig wird.

Funktionsziel

Eine ferromagnetische Kugel soll durch die Kraft eines Elektromagneten in der Schwebe gehalten werden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig, die Schwebehöhe der Kugel durch einen Sensor zu messen und mit Hilfe eines Reglers die Magnetkraft so einzustellen, dass der Abstand zwischen Magnet und Kugel konstant bleibt.

Die Bewegungsgleichung, die das Schweben der Kugel beschreibt, lautet

$$G - F_M = m a.$$

In Worten ausgedrückt: Die Summe aus Gewichtskraft G und Magnetkraft $-F_M$ (negatives Vorzeichen, weil sie der Gewichtskraft entgegengerichtet ist) ist gleich der Masse m der Kugel multipliziert mit deren Beschleunigung a . Das Integral der Beschleunigung ergibt die Geschwindigkeit; diese wiederum integriert ergibt den Weg, der durch den Sensor gemessen wird. Die Aufgabe des Reglers besteht nun darin, die Schwebehöhe der Kugel aufgrund der gemessenen Höhe konstant zu halten.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist ein PD-Regler geeignet, welcher die Regelabweichung und deren Ableitung (d.h. die Geschwindigkeit der Kugel) an den Elektromagneten zurückführt und hier in analoger Schaltungstechnik realisiert wurde. Der proportionale P-Anteil des Reglers wirkt auf die Kugel ähnlich wie eine Feder. Mit größer werdender Regelabweichung wird auch die Kraft des Elektromagneten größer. Der differenzierende D-Anteil ist notwendig, da aufgrund der fehlenden Dämpfung mit einem reinen P-Regler noch keine Stabilisierung möglich ist (die Kugel würde schwingen und instabil werden). Der D-Regler sorgt für eine von außen eingebrachte geschwindigkeitsproportionale Dämpfung.

Zum Aufbau

Die Zeichnungen zur Bauanleitung befinden sich auf der Rückseite des Blattes.

Die Regelstrecke besteht aus einem einfachen Holzgestell. Der Elektromagnet wird aus einer M8-Schraube hergestellt, welche man mit 700 bis 800 Windungen Kupferlackdraht (0,5mm) umwickelt. Der Widerstand der Spule soll bei ca. 4 bis 6 Ω liegen. Den Sensor bildet eine Lichtschranke, die durch die Kugel unterbrochen wird. Je größer die Schwebehöhe der Kugel ist, desto weniger Glühlampenlicht fällt auf die als Fotodiode geschaltete Solarzelle, und desto geringer wird der Fotostrom. Solarzelle und Glühlampe sollen

so justiert werden, dass der Schatten des Elektromagneten gerade eben die Oberkante der Solarzelle trifft. Solarzelle, Lampe und Magnet werden über einen Steckverbinder mit der Platine verbunden.

Die Spannungsversorgung erfolgt über ein Steckernetzteil (9-12V/1,5A). Die Diode $D1$ verhindert eine Beschädigung der Schaltung bei Verpolung der Versorgungsspannung. Über den Spannungsstabilisator $Q2$, $C3$ und $C4$ wird einerseits die Glühlampe versorgt und zu anderen die Bezugsspannung für die Operationsverstärker erzeugt.

Der Sensor besteht, wie oben schon genannt, aus der Lichtschranke mit Solarzelle, deren Fotostrom im Strom-Spannungs-Wandler um $U2C$ in die Messgröße y umgeformt wird. Der Sollwert $-w$ wird mit dem Poti $R12$ eingestellt und durch den Operationsverstärker $U2B$ gepuffert. In dem mit $U1B$ aufgebauten P-Regler werden die Messgröße y und die Führungsgröße $-w$ aufsummiert und die verstärkte Regelabweichung dem Summierverstärker $U2A$ zugeführt. Die Verstärkung des P-Anteiles wird mit dem Potentiometer $R13$ eingestellt. Die Schaltung um $U1A$ realisiert den D-Anteil des Reglers, dessen Verstärkung mit dem Potentiometer $R14$ eingestellt werden kann. Auch der Ausgang von $U1A$ wird dem Summierer $U2A$ zugeführt. Dieser addiert somit die P- und D-Stellgröße auf und leitet die gesamte Stellgröße an den Leistungsverstärker aus $U2D$ und $Q1$ weiter.

Das Platinenlayout ist im Maßstab 1 : 1 auf der Rückseite abgedruckt. Es kann direkt auf Transparentfolie fotokopiert und nach eventuellem Nachschwärzen mit Tusche zum Belichten einer fotobeschichteten Platine verwendet werden. Das Layout ist spiegelverkehrt abgedruckt; d.h. die Schrift muss auf der Platine lesbar sein. Alternativ kann die Schaltung auch frei verdrahtet auf einer Lochrasterplatine aufgebaut werden. Zu beachten ist, dass $Q1$ und $Q2$ auf dem Kühlkörper isoliert montiert werden müssen.

Zur Inbetriebnahme werden die Reglerpotis $R13$ und $R14$ in Mittelstellung gebracht. Der Sollwert ($R12$) wird so eingestellt, dass der Elektromagnet dann „losläßt“, wenn die Kugel in die Nähe des Magneten gehalten wird. Sollte die umgekehrte Reaktion eintreten, ist die Solarzelle falsch gepolt. Mit dem Taster $SW1$ kann ein Sollwertsprung für die Kugelhöhe eingeleitet werden.

Viel Erfolg beim Nachbau wünscht Ihnen Dipl.-Ing. Martin Ruskowski, Mechatronik-Zentrum Hannover, Appelstraße 11, 30167 Hannover, (0511) 762-4169, ruskowski@mzh.uni-hannover.de, <http://www.mzh.uni-hannover.de>

