

# Inverses Pendel als Demonstrator

**Mechatronik / Betreuer: Prof. Dr. Josef Götte**

**Projektpartner: Zumbach Electronic AG, Orpund / Experte: Prof. Bruno Käser**

In den letzten Jahren ist der Gebrauch von optischen Sensoren zur Online-Messung von Kabeln, Rohren und Profilen ständig angestiegen. Diese Leistungssteigerung soll mit Hilfe eines Spieldemonstrators gezeigt werden. Das inverse Pendel, ein klassisches Beispiel in der Regelungstechnik, wird als Benchmark eingesetzt. Ein Bleistift soll mit Hilfe eines XY-Tischsystems im Gleichgewicht gehalten werden. Ein Zumbach ODAC-Gerät misst die Regelgrösse «Neigung des Stifts» und demonstriert somit seine Leistungsfähigkeit.

## Ausgangslage

Bereits als Kind hat jeder von uns schon einmal versucht, einen Stift auf der Hand zu balancieren. Die Hand muss ständig in Bewegung bleiben um den Stift im Gleichgewicht zu halten. Das gleiche Verhalten ist beim inversen Pendel vorzufinden.

Zwei Linearmotoren bewegen in unserem Modell einen mit Blattfedern gelagerten Tisch in X und Y-Richtung. Die Positionen der X und Y-Achsen werden mit Linearsensoren gemessen. Ein optischer Sensor (ODAC) von der Firma Zumbach Elektronik AG misst die Position des Pendels. Dieses soll im Gleichgewicht gehalten werden. Das System soll von einem üblichen PC mit einem handelsüblichen Realtime-Controller und dem Linux-RTAI-Betriebssystem (RTAI: Real-Time-Application-Interface) geregelt werden. Das Regelprogramm wird mit Simulink simuliert und der in Echtzeit ausführbare Code wird mit dem Real-Time-Workshop (RTW) von Matlab automatisch erzeugt.

## XY Tisch

Das notwendige mathematische Modell des XY-Tisches wurde erstellt. Bei der Berechnung des Systems mit 2 Antrieben (X- und Y-Achse) zeigt das Pendel nichtlineare Koppelungen für die beiden Auslenkwinkel. Nach einer Linearisierung der Gleichungen wird ein entkoppeltes Modell für die beiden Antriebe erhalten. Die beiden Achsen können somit

unabhängig voneinander geregelt werden. Die genauen Parameter für den XY-Tisch werden messtechnisch validiert. Der XY-Tisch wird im ersten Schritt ohne Pendel geregelt. Die Regelung des XY-Tisches wird mit drei verschiedenen Reglern realisiert. Diese werden ins diskrete Modell umgerechnet, auf dem realen System überprüft und mit der Simulation verglichen. Einer der drei erstellten Regler, ein PID Tracking Regler mit Trajektorien Generator, ist in der Lage, den Tisch ohne Schwingungen zu regeln. Als Demonstrationsobjekt werden eine Kreis- und eine Herz-Bahn berechnet und abgefahren.

## Pendelsystem

Für die Regelung des gesamten Pendelsystems wird ein Zustandsregler verwendet. Ergänzend zum Zustandsregler wird ein Observer realisiert. So können neben den gemessenen Parametern wie Weg und Winkel, die restlichen Grössen wie

Geschwindigkeit und Winkelgeschwindigkeit geschätzt werden. Für die Pol-kompensation wird ein Bessel-filter verwendet. Im inneren Regelkreis des Zustandsregler wird der Winkel des Pendels geregelt, im äusseren Regelkreis die Position des Wagens.

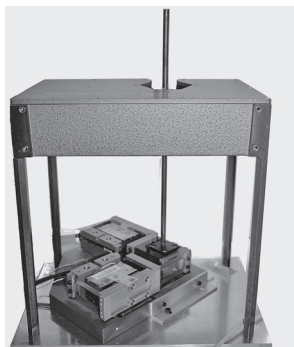
Die Daten des ODAC Sensor müssen ins Simulink eingebunden werden. Der benötigte Empfängercode für die Regelgrösse «Neigung des Pendels» wurde noch nicht bereitgestellt. Als Alternative wurde die Regelung des Pendelsystems mit einer 3D-Animation veranschaulicht.

Sobald der Empfängercode für den ODAC Sensor bereitgestellt ist, kann der entworfene Regler im realen System getestet werden. Der zur Verfügung stehende Weg, den der XY-Tisch fahren kann, beträgt nur wenige Millimeter, was die Regelaufgabe erschwert. Es wird sich zeigen, ob die Regelung in Realität genauso gut funktioniert wie in der Simulation.

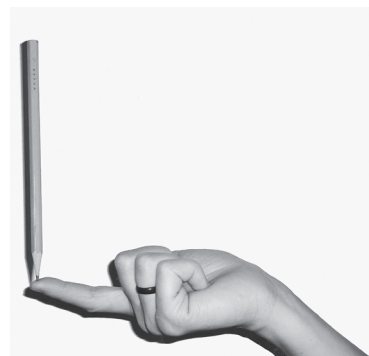


**Christina Stöck**

[christina.stoeck@sunrise.ch](mailto:christina.stoeck@sunrise.ch)



**Aufbau des Pendelsystems: der XY-Tisch wird durch Linearmotoren bewegt, der ODAC-Sensor misst die Regelgrösse**



**Ein Bleistift wird im Gleichgewicht gehalten**