

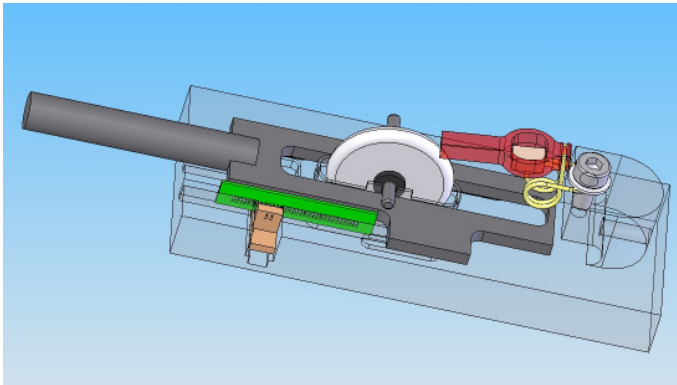
Mit sanfter Kraft bewegen und positionieren

Veröffentlichung: MECHATRONIK F&M 4-5/2006

Präzise Einstellung bringt höhere Positioniergenauigkeit.

Beim Positionieren mit Piezoantrieben hat das Positionierkonzept großen Einfluss auf die Positioniergenauigkeit. Der Verfahrensweg, die Anzahl der Verfahrensschritte und die Last müssen berücksichtigt werden.

Das Funktionsprinzip des Elliptec Motors (Bild 1) beruht auf dem inversen Piezoeffekt. Ein Microcontroller und zwei winzige Transistoren versorgen die Piezokeramik mit elektrischer Spannung. Die Keramik dehnt sich nach dem Einschalten der Spannung um weniger als ein Mikrometer aus und zieht sich nach dem Abschalten wieder zusammen. Dieses Wechselspiel wiederholt sich etwa 100.000 mal/s. Die Bewegung der Piezokeramik regt einen Resonator zum Schwingen an und bringt ihn in Resonanz. Durch die Form des Resonators werden die Schwingungen der Piezokeramik verstärkt und in ellipsenförmige Bewegungen der Resonatorspitze umgewandelt. Mit einer Feder wird die auf einer elliptischen Bahn schwingende Motorspitze gegen das anzutreibende Element gedrückt und mit jeder Schwingung um wenige Mikrometer bewegt. Durch periodische Wiederholungen entsteht eine gleichförmige, kontinuierliche Bewegung.



Die Bewegungsrichtung des Motors hängt von der Frequenz der hochfrequent pulsierenden Spannung ab. Diese Spannung gibt der Microcontroller als digitales Signal vor. Bei der digitalen Ansteuerung liegt im Gegensatz zur analogen Ansteuerung eines DC-Motors die Spannung fest. Da die Frequenz des Motors für eine Bewegungsrichtung ebenfalls fest vorgegeben ist, errechnet sich die Motorgeschwindigkeit aus dem Verhältnis der Zeit innerhalb einer Periode, in der die Spannung eingeschaltet ist, zu der Zeit in der die Spannung ausgeschaltet ist. Ist innerhalb einer Signalperiode die Dauer, in der Spannung am Motor anliegt, genauso lang wie die, in der keine Spannung anliegt (Duty-Cycle = 50 Prozent), bewegt sich der Motor mit maximaler Geschwindigkeit.

Das Vergrößern oder Verkleinern des Duty-Cycles dieses Pulsweiten-Modulations-Signals bewirkt eine kleinere Amplitude der Motorschwingung und damit eine kleinere Schrittweite, also eine langsamere Geschwindigkeit. Ein Duty-Cycle von null Prozent würde einem ausgeschalteten Motor entsprechen, ein Duty-Cycle von 100 Prozent entspricht einer angelegten Gleichspannung, wodurch ebenfalls keine Motorschwingung erzeugt wird. Die mittlere Schrittweite eines Motorschritts mit maximalem Duty-Cycle liegt bei zirka 3 µm. Daraus ergibt sich bei 100.000 Schritten/s eine mittlere Fahrgeschwindigkeit von etwa 300 mm/s. Wird die Bewegung des Motors gestoppt, so wirkt der Motor durch die Reibung zwischen Motor und angetriebenem Element als Bremse. Die Reibkraft ist materialabhängig und beträgt etwa 0,5 N. Bei maximaler Verfahrensgeschwindigkeit liegt der Bremsweg abhängig vom Gewicht des bewegten Elements zwischen mehreren 10 und einigen 100 µm.

Gezieltes Positionieren

Ein gezieltes Ansteuern der Position kann auf verschiedene Arten erfolgen. Für präzises Positionieren wird im Allgemeinen eine Positionserfassung benötigt. Unabhängig von der Art der Positionserfassung sollte das Regelkonzept an die Anforderungen für die Positioniergenauigkeit, Positioniergeschwindigkeit, den Aufwand und den Programmspeicherplatz angepasst werden.

Beim Linearpositionieren kann eine einfache Positionsbestimmung durch Kalibrieren an den Endpunkten des Verfahrenswegs erreicht werden. Bei genau definierter Länge des Verfahrenswegs lässt sich der Motor durch Ansteuern der Endpositionen und Messen der Verfahrensdauer kalibrieren. Das Blockieren des Schlittens an den Endpositionen detektiert der Motor ohne zusätzliche Sensorik, einfach durch die Veränderung in der Leistungsaufnahme. Endpositionen lassen sich auch über Endkontakte detektieren. Die Reaktionsgeschwindigkeit solcher Endkontakte ist deutlich höher als bei einer Detektion über die Leistungsaufnahme und die Geschwindigkeitserfassung - somit wesentlich genauer. Für reproduzierbare Positionieraufgaben mit einer hohen Anforderung an die Positioniergenauigkeit wird ein Sensor zur kontinuierlichen Positionserfassung mit entsprechender Auflösung benötigt.

Erst schnell und grob, dann langsam und fein

Die einfachste Variante der Positionierung ist das Ansteuern und Ausschalten des Motors bei Erreichen der Sollposition. Da der Motor einen sehr kurzen Bremsweg hat, wird er nur etwas über das Ziel hinausfahren. Die genaue Endposition ist abhängig von der Anfahrgeschwindigkeit, der Trägheit des angetriebenen Elements, den Lasten und von der Anfahrrichtung. Je langsamer die Position angesteuert wird, desto geringer ist der Bremsweg und umso genauer kann die Position durch einfaches Anhalten erreicht werden. Diese Regelung ist besonders einfach, wird jedoch bei höheren Geschwindigkeiten immer ungenauer.

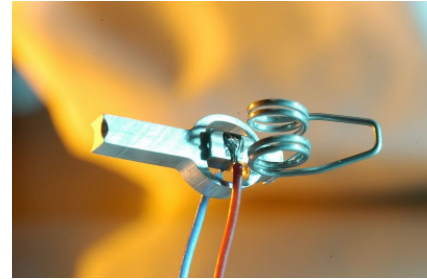


Bild 1: Bei Sensorikkosten unter 50 Cent liegt die erreichbare Positioniergenauigkeit im unteren Mikrometerbereich

Ein schnelleres Ansteuern der Position erreicht man, indem die Sollposition zunächst mit maximaler Geschwindigkeit angesteuert wird und, sobald man in die Nähe der Sollposition kommt, umso langsamer verfahren wird, je näher die Sollposition liegt. Dieses Verfahren entspricht in etwa der proportionalen Ansteuerungsregelung eines DC-Motors. Etwas vereinfacht lässt sich eine solche Regelung mit zwei Motorgeschwindigkeiten realisieren. So kann mit einer hohen Geschwindigkeit die grobe Position angesteuert werden, worauf dann eine Feinpositionierung mit sehr kleinen Schritten erfolgt.

Eine Alternative ist es, die Sollposition zunächst mit hoher Geschwindigkeit anzusteuern und nach dem Überschreiten der Zielposition die Bewegungsrichtung umzukehren und die Schrittweite zu reduzieren, bis die Schrittweite gegen null geht. Diese Konzepte erfordern zwar einen relativ hohen Zeitaufwand, ermöglichen aber eine Positioniergenauigkeit von $\pm 1 \mu\text{m}$.

Schnell und präzise mit der Bremswegermittlung

Eine sehr schnelle Positionssteuerung lässt sich durch Anfahren der Sollposition mit maximaler Geschwindigkeit und rechtzeitigem Abbremsen des Motors unter Berücksichtigung des Anhaltewegs erreichen. Damit wird die Sollposition im Idealfall direkt erreicht. Eine anschließende Feinpositionierung kann kleine Abweichungen ausgleichen.

Um den Bremsweg zu erfassen, wird der Motor bei einer Testbremsung mit maximaler Geschwindigkeit angesteuert und dann abgebremst. Der Bremsweg errechnet sich aus der Differenz des Positionswerts bei Beginn der Bremsung und des Positionswerts beim Stillstand. Wird die Position immer mit der gleichen Geschwindigkeit angesteuert, genügt es, den Motor im Abstand des Bremswegs vor der Sollposition auszuschalten. Wenn die Anfahrgeschwindigkeit variiert, beispielsweise weil sehr kurze Distanzen zurückgelegt werden, auf denen der Motor seine volle Geschwindigkeit nicht erreichen kann, oder weil die Geschwindigkeiten durch verschiedene Belastungen variieren, bietet sich eine Geschwindigkeitserfassung und Berechnung des Bremswegs über die erreichbare Bremsverzögerung an. Ebenso kann durch ein Erfassen der Beschleunigung beim Anfahren des Motors auf die Last und den damit zu erwartenden Bremsweg geschlossen werden. So lässt sich auch bei stark wechselnden Lasten der Bremsweg definieren und entsprechend präzise bremsen.

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}} \quad (1)$$

Berechnung der Periodendauer T

$$f = 1/T = 160\text{Hz} \quad (2)$$

Berechnung der Eigenfrequenz (f) des Feder-Masse-Systems. Bei einer Federkonstanten von $D = 10 \text{ kN/m}$ und einer Schlittenmasse von 10 g ergibt sich bei linearer Anordnung eine Resonanzfrequenz von 160 Hz

Bei einem Positionierungskonzept mit Vollbremsung wird die Motorfeder während des Bremsvorgangs maximal vorgespannt, so dass nach Anhalten des Motors eine Schwingung um die Stopp-Position erfolgt, die langsam abklingt. So wird zwar die Sollposition sehr schnell erreicht, vor der Feinpositionierung muss jedoch auf ein Abklingen der Schwingung gewartet werden (Formel 1+2). Durch die geeignete Bestimmung des Bremswegs lässt sich auf diese Art eine sehr schnelle Positionierung mit einer Genauigkeit von $100 \mu\text{m}$ erreichen. Eine anschließende Feinpositionierung verlängert die Positionierdauer wieder, aber die Genauigkeit erreicht einen Wert, der bei $\pm 1 \mu\text{m}$ liegt.

Für eine noch schnellere Positionierung kann diese Schwingung reduziert werden, indem der Elliptec Motor zum Zeitpunkt der maximalen Federspannung (erstmaliger Stillstand nach der Bremsphase) einen zeitlich definierten Vollschub in Anfahrtsrichtung durchführt. Dadurch erreicht er seine entspannte Ruheposition, ohne das Element zu bewegen, und es findet keine oder nur eine stark gedämpfte Schwingung statt.

Wird nach Erreichen der Sollposition eine Kraft parallel zur Bewegungsrichtung auf das bewegte Element ausgeübt, kann die Position dadurch verändert werden. Da der Motor durch eine Feder auf das angetriebene Element gedrückt wird, verhält sich das Gesamtsystem wie eine Federwaage mit einer Federkonstanten von $\sim 10 \text{ kN/m}$. Eine Kraft von $0,1 \text{ N}$ bewirkt damit eine Positionsänderung von $10 \mu\text{m}$. Vibrationen parallel zur Bewegungsrichtung bewirken durch die auftretenden Beschleunigungskräfte ebenfalls eine Positionsänderung. Liegen die Vibrationen innerhalb der Resonanzfrequenz des Gesamtsystems, dann kann durch ein Aufschwingen des Systems eine sehr große Positionsabweichung entstehen.

Ultrafeinpositionieren mittels Gleichspannung

Durch Anlegen einer Gleichspannung dehnt sich der Piezoaktor proportional zur Spannung aus und bewirkt eine Verschiebung des angetriebenen Elements um etwa $1 \mu\text{m}/10 \text{ V}$. Dieser Effekt kann theoretisch für eine stufenlose Ultrafeinpositionierung mit nahezu atomarer Auflösung genutzt werden. Limitiert wird die Auflösung durch die Reibung in der Lagerung des zu bewegenden Elements. Die feinsten Positionsänderungen des Motors spannen dann nur noch die Motorfeder vor, bewegen das anzutreibende Element aber nicht mehr.

Fazit

Löst einfache und komplexe Positionieraufgaben

Der Elliptec-Piezomotor eignet sich überall dort, wo Bewegungen mit moderaten Kräften erzeugt werden sollen. Seine Schubkraft liegt zwischen 0,2 und 0,4 N. Mit Hebelmechanismen und mehreren Motoren können auch höhere Kräfte bewältigt werden. Seine Reaktionszeit beträgt $< 100 \mu\text{s}$ bei einer Schrittweite von $3 \mu\text{m}$ und fast stufenloser Feinpositionierung. Der Motor ist $20 \times 3 \times 3 \text{ mm}^3$ (LxBxH) groß und wiegt 1,2 g. Seine Leistung bringt er auch unter extremen Umgebungsbedingungen zwischen -40 und $+120^\circ\text{C}$. Der Elliptec Motor eignet sich sowohl für einfache Anwendungen wie Schutzklappen oder Verriegelungen als auch für anspruchsvolle Bewegungen, die hohe Präzision und Reaktionsschnelligkeit erfordern.

Trademarks

Elliptec™, Elliptec Motor™, Elliptec Minimotor™, Elliptec Actuator™, Elliptec Module™, Elliptec Controller™ are trademarks of Elliptec Resonant Actuator AG.

Elliptec Resonant Actuator AG
Meinhardstrasse 3
44379 Dortmund
Germany

Tel. +49 (0) 2 31 / 29 27 02-0
Fax +49 (0) 2 31 / 29 27 02-50

presse@elliptec.com