

# KRÄFTE (MOMENT)-RÜCKKOPPELUNGSSYSTEM VON MECHATRONISCHEN ELEMENTEN

O. PETRIK

Lehrstuhl Feinmechanik und Optik,  
Technische Universität, H-1521 Budapest

Eingegangen am 9. September 1986

## Abstract

One of the most important part of the operative mechatronical elements is the force-(or torque-) feedback unit. The paper gives a survey about the structure of the elastic deformation based sensing system with the connected electronical unit.

## Einleitung

Mechatronische Elemente werden im allgemeinen zur Lösung einer bestimmten Operation, eines vorgeschriebenen Programs entworfen. Während der Operation muß etwas gefaßt, befestigt, bewegt oder bearbeitet werden. Dabei erfolgt eine Kraftübergabe (Kraft entsteht, wird weitergegeben, verändert, umpositioniert). Meistens ist es genügend wenn man den erlaubbaren Maximalwert vorschreibt, wozu bewährte strukturelle Lösungen gibt. Schwerer ist es, wenn eine stetige Kraft (Moment)-Kontrolle durchgeführt werden muß, um die Kraftwirkung zu regeln. Die Regelung wird von einem elektrischen System, das mit dem Operationselement zusammengebaut ist, geleitet. Dieses Subsystem schließt sich einem komplexen elektronischen System (intelligentem System) an, dessen Aufgabe die koordinierte Regelung des ganzen Herstellungsprozesses ist (integriertes Produktionssystem). Im weiteren beschäftigen wir uns mit dem Kräftesensor, und der dazu angeschlossenen Elektronik (der ersten Stufe).

## Kraftmessung mit elastischem Element

Eine oft verwendete Methode ist jene, wo die durch die Kraftwirkung erzielte Formveränderung als Maß der Kraft bestimmt wird. Die mit elastischem Element versehenen Dynamometer sind in der Meßtechnik schon lange bekannt. Die Entwicklung der letzteren Jahrzehnte bestand darin, daß die bewirkte Formveränderung von modernen Wandlern aufgenommen, und zu zahlen, oder zu entsprechenden analogen Zeichen umgeformt wurde.

Bei den früheren Dynamometer — die ein mechanisches Aufbau haben — hat die Bewegung eine Messuhr angezeigt, und mit der Hilfe einer Tabelle konnte die Bewegung in Kraft umgerechnet werden. Für einfachere Aufgaben war ein Kraftmesser mit diesem Aufbau entsprechend. Die Entwicklung der Wandler ermöglichte aber die Erarbeitung anspruchsvollerer Systeme.

Mit dem mechanischen Meßinstrument konnte nur eine genügend große Bewegung mit entsprechender Auflösung bearbeitet werden. Die große Bewegung steht aber nicht in linearem Zusammenhang mit der Kraft. Daran kann nur so geholfen werden, wenn man Meßelemente mit kleiner Formveränderung benutzt. Dazu gehört eine steile Charakteristik. Diese Kurve braucht eine große Verstärkung, und das verursacht neue Fehlerquellen.

Diese geschilderte widersprüchliche Situation konnte nur durch die Verwendung der Elektronik gelöst werden. Die Lösungsschritte waren die folgenden.

— Entwicklung eines gut definierten elastischen Meßkörpers (das Material ist homogen, isotrop oder hat einen regelmäßige Gitteraufbau; lineare Formveränderung, Belastungsart)

— Einführung einer bestimmten Kraft (Moment), das die Quereffekte ausschließt.

— Bewegungssensor (oder Formveränderungssensor) mit hoher Auflösung

— Schnelle und vielseitige Signalbearbeitung

### Einige Lösungsvarianten

Im folgenden zeigen wir drei prinzipielle Varianten zur Lösung des erwähnten Problems.

a) Elastisches Messelement mit geschlossenem Aufbau. Das hat annähernd die Gestalt einer Ellipse, in einer Ausführung, daß die spätere Einstellung der Steilheit der Charakteristik ermöglicht (z. B. durch nachholende Bearbeitung) werde. Der Wandler hat induktiven Aufbau. Die Signalverarbeitung hat ein Amplitudenmodulationssystem, der Ausgang ist primär analog, das mit einer A/D Konversion zu digital umwandelt werden kann.

Durch diese Lösung kann viel an den Nachteilen der reinen mechanischen Konstruktion verbessert werden. Ihre Maße sind aber zu groß, um als Kraftwirkungswandler benutzt werden zu können.

b) Durch die Lösung mit den Dehnmeßstreifen können viel kleinere Maße erreicht werden (Abb. 1/b.) Die Tatsache, daß die Maße der Streifen immer kleiner wurden und die Halbleiterstreifen erschienen gaben gute Möglichkeit für eine abwechslungsreiche Ausführung. Durch die moderne Mikroelektronik kann die Meßbrücke kompakt und klein konstruiert werden.

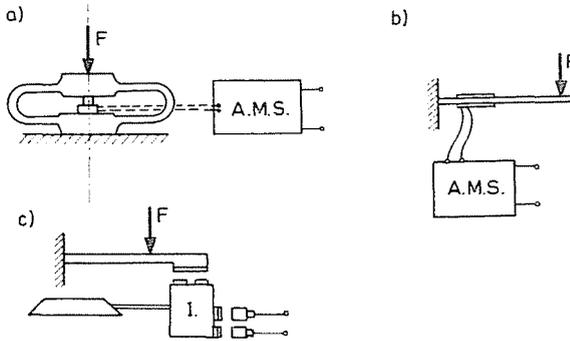


Abb. 1

Abb. 2. zeigt einige Varianten für das Element, womit die Kraft (Moment) vektoren aufgenommen werden. Die beiden Varianten wurden zur Aufnahme von ebenen Kräften (zwei Komponenten) hergestellt. Die elastischen Elemente können in Manipulator- oder Roboterarme leicht eingebaut werden. Mit der Kraftwirkung unmittelbar in Reihe gebunden, kann es nur sehr kleine Kräfte aufnehmen. Zu größeren Kraftwirkungen müssen „die Überbrückungselemente“ parallel gebunden werden, es muß also „eine Kraftfluß-Nebenführung“ hergestellt werden.

c) Bei der dritten Variante wird die Bewegung, die bei einem Bergkristall — Meßelement sehr klein ist, mit Laserinterferometrie gemessen. Sie wird also mit der Wellenlänge des kohärenten, monokromatischen Lichtes verglichen. Der Interferometer (Element I. in Abb. 1/c) kann klein sein, aber hierzu ist die skizzierte Aufstellung teuer, um es als Kraftwirkungswandler zu benutzen. Anspruchsvollere Kraftmesser (Wagen) können durch das System c. hergestellt werden.

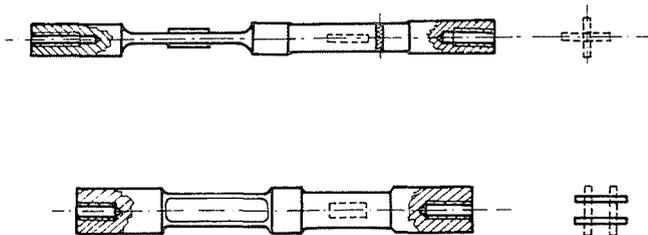


Abb. 2

## Die Lösung der Krafrückkopplung

Als Krafrückkopplung kann die Variante b dienen. Wenn man das Meßelement von Abb. 2. parallel mit einem prismatischen Stab zusammenbaut, dann bekommt man die Kraftaufnahmeeinheit. Es hängt von der Konstruktion ab in welchem Bereich das Gerät arbeitet. Darüber hinaus gibt es auch so eine Lösung, daß der Wandler parallel mit einem Entlastungsbild, verbunden wird; mit solchen Nebenführungen kann der Funktionsbereich stark verbreitet werden. In Abb. 3. sieht man einige Beispiele solcher Zusammenstellungen. Der Teil „a“ ist ein Signalaufnehmer für eine in Längsrichtung wirkende Kraft, Teil b kann für das dort eingezeichnete Moment, oder für eine auf die Längsrichtung vertikale Kraft verwendet werden.

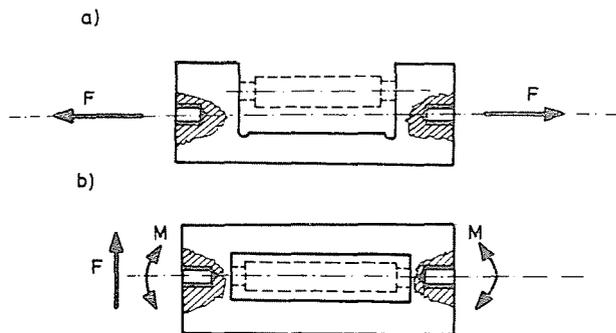


Abb. 3

## Die elektronische Bearbeitung der Signale des Kraftwandlers

Das Meßelement, das in Abb. 2 zu sehen ist bearbeitet die schwachen analogen Signale mit einer digitalen Elektronik. Die Auflösung ist  $1 \mu$  str., das digitale Signal ist  $3^{1/2}$  Digit gross, und es steht auch ein analoger Ausgang z. B. zu Regelungszwecken zur Verfügung (Abb. 4).

Die Charakteristik des oben beschriebenen mechatronischen Meßelementes ist in Abb. 4. zu sehen. Es wurde mit einem Einspann gemessen, der sichtbare Nullpunktfehler deutet auf die Nullpunktverschiebung des unabhängigen Kanals. Die Ursache für den Unterschied der Steilheit der Kurven liegt in den Bearbeitungsfehlern der beiden deformierbaren Elemente. Mit der Elektronik kann die Steilheitdifferenz kompensiert werden, es ist aber besser bevor die Meßstreifen aufgeklebt werden die Federkonstante kontrollhalber zu messen und das Kalibrieren kann durch Nachbearbeitung zu verrichten. ( $K_A = 3,08 \mu\text{str}/\mu\text{m}$ ,  $K_B = 2,16 \mu\text{str}/\mu\text{m}$ ).

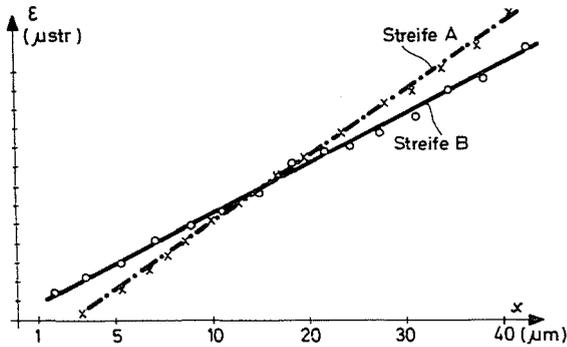


Abb. 4

Die statische Empfindlichkeit des Wandlers ist hervorragend gut, und so kann der Wandler für linear betrachtet werden. Dynamisches Kalibrieren wurde noch nicht durchgeführt. Das kleine Maß, die relative schwache Dämpfung und die lineare Federkonstante deutet auf die gute Dynamik. Die Temperaturempfindlichkeit der Dehnmeßstreifen kann mit bekannten Methoden gut kompensiert werden.

Die Auflösung des Gerätes schien durchgehend zu sein. Bei den Kontrollmessungen blieb es unter  $1 \mu\text{str}$ , so zeigt die Elektronik kleine Auflösungswerte.

Das „Durchtönen“ bei den vertikalen Meßplatten, der sog. Quer-effekt erwies sich bei den Eichmessungen sehr klein. Bei der Streife „B“ schwankte es zwischen  $15\text{--}16 \mu\text{str}$ , währendes bei der Streife „A“ den ganzen Bereich durchlief. Dasselbe um  $90^\circ$  gedreht um  $9\text{--}10 \mu\text{str}$ . Der Unterschied bei der Meßplatte, die nicht arbeitet (Kantenposition), beträgt  $1\text{--}2 \mu\text{str}$ . dies ist eine unbedeutende Störwirkung, der Quer-effekt kann praktisch vernachlässigt werden.

Zusammenfassend: der Kraftwandler, der mit Meßstreife, und elastischer Deformation arbeitet ist ein geeignetes Gerät zur Gestaltung der Kraftrückkopplung des Roboterarmes.

### Zusammenfassung

Ein wichtiger Bestandteil der prozessdurchführenden mechatronischen Element ist das Kräfte-, oder Moment — Rückkoppelungssystem. Der Artikel bietet einige Lösungsvarianten, und beschreibt den Aufbau eines Kraftumformers, mit der zugehörigen Elektronik, der nach dem Prinzip der elastischen Deformation arbeitet.