

„MECHATRONIK“ — EINE NEUARTIGE BEZIEHUNG ZWISCHEN FEINMECHANIK, OPTIK UND ELEKTRONIK

O. PETRIK

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

Eingegangen am 9. September 1986

Abstract

This paper analyse the connections of electronics to the mechatronics, precision mechanics and technical optics. It's well known that the electronics is currently leading the technological development. Describing the mutual relationships the article appoints that the new generations in electronics are setting continuously new requirements for the precision mechanics and optics as back-ground industry. This means the electronics-aided fine mechanics and optics. The paper describes the actual situation in Hungary and gives recommandations for the near future.

Vor einiger Zeit ist in der Fachliteratur ein neuer Begriff, die Mechatronik entstanden. Zuerst wurde er von japanischen Autoren verwendet, und verbreitete sich rasch. In Folgenden versuchen wir die Mechatronik, und ihre Beziehung zu den Grenzgebieten zu beschreiben.

Die Elektronik dringt immer mehr in, von ihr ganz entfernte, Gebiete ein. Das geht von den Haushaltsmaschinen aus durch Unterhaltungselektronik über medizinische Technik bis zur Licht- und Tontechnik des Theaters. Wie dieser Trend weitergehen wird, darauf kann gefolgert werden daraus daß in der Elektronik fünfjährlich ein Generationswechsel vor sich geht. Die Bestandteile haben einen immer kleineren Umfang, können jedoch immer kompliziertere Aufgaben durchführen. Die Herstellung hochintegrierter Elektronik stellt steigende Ansprüche an die feinmechanischen Werkzeuge, und technologischen Einrichtungen. Um die Kontrolle auch während der Herstellung durchführen zu können, braucht man optische Instrumente von hoher Auflösungsfähigkeit. Die Integriertheit ist heute schon so groß, daß die traditionellen optischen Geräte — also diejenigen, die geometrische Optik verwenden — hier nicht mehr verwendet werden können, da die Größe der Objekte, die kontrolliert werden müssen, mit der Wellenlänge des Lichtes vergleichbar sind. Zur Herstellungskontrolle der integrierten Schaltkreise (IC) können nur jene holografischen Geräte verwendet werden, die mit kohärenter Strahlung (Laserlichtquellen) arbeiten [1].

Die sogenannten „Spitzen“ — Techniken zeigen wie komplizierte Beziehung zwischen den vorher genannten Gebieten besteht. Man ist allgemein

bestrebt bei den Geräten das mechanische Prinzip durch elektronische Lösungen zu ersetzen. Die neuen elektrischen Elemente benötigen aber die Lösung immer anspruchsvolleren feinmechanischen Aufgaben. Bei der Herstellung der integrierten Schaltkreise befindet sich z. B. die Bewegungsbreite des Manipulators bei einigen zehn Mikrometern, und die Auflösung unter einigen Zehnstel Mikrometern-. Die elektronische Technologie der Zukunft — was oft auch Mikrotechnologie genannt wird-wird diesen Größenbereich verlassen, und wir müssen uns an den Begriff „Nanotechnologie“ gewöhnen. ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-3} \mu\text{m}$)

Als Folge der beschriebenen Wechselwirkung hat sich die klassische Feinmechanik umgeformt, sowohl die Elektronik, als auch die Optik haben an



Abb. 1

ihr geformt, und das mußte mit einem neuen Begriff bezeichnet werden. Nennen wir das einfach Feintechnik, oder Feinwerktechnik, in der DDR lautet es, Feingerätetechnik, englisch wird es komplizierter ausgedrückt, precision — machinery. Die Feintechnik hat interdisziplinären Charakter, und kann mit in Abb. 1 angegebenen Grenzgebieten charakterisiert werden. Die Eckpunkte bilden die traditionellen Wissenschaftsgebiete wie Optik, Elektrotechnik (oder die Elektronik.). Heute können die Gebiete, die sich an den Seiten des Dreieckes befinden, ganz gut schon abgegrenzt werden. Ihre Verschmelzung hat die eigentümliche innere Struktur entwickelt, die mit den Komponenten nur verwandt ist, da sie schon selbständige Disziplinen bilden. Solche sind, die Optomechanik, die Optoelektronik, und die Elektromechanik. Die Elektronik, die neben der Elektrotechnik immer mehr an Bedeutung gewinnt, drängt in dem Masse in die Feinmechanik ein, daß ein neues Gebiet vor unseren Augen entsteht. Diese Verflechtung von Elektronik und Feinmechanik verbreitet sich unter den Namen Mechatronik.

In der digitalen Elektronik wurde ein solcher Grad der Integriertheit erreicht, daß jene hochintelligenten Geräte, die die Triebwerke steuern, durch welche die mechanischen Elemente bewegt werden, auf sehr kleinem Platz untergebracht werden können. So entsteht ein kompliziertes mechanisches

Element, oder Teilsystem von kleinem Raumbedarf, womit jedoch komplexe Aufgaben gelöst werden können. Solche Elemente brauchte man zur Konstruktion von Manipulatoren und Industrierobotern. Hier meldeten sich zum erstenmal die Aufgaben, die mit mechatronischen Elementen gelöst werden konnten. Es muß erwähnt werden, daß dieses Gebiet jetzt in Entfaltung ist, und deswegen der Begriff in den verschiedenen Quellen unterschiedlich, angegeben und gedeutet wird.

In Abbildung 2. versuchen wir das Funktionsschema der mechatronischen Elemente anzugeben. Solche Elemente (oder Subsysteme) müssen drei Bedingungen erfüllen.

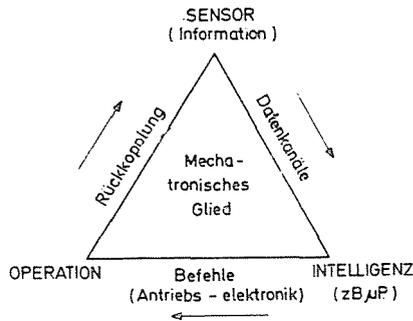


Abb. 2

1. Das Ausführen einer Operation durch einen entsprechenden Mechanismus, der durch Motor oder Motoren bewegt wird.

2. Zur „sinnvollen“ Durchführung der Operation müssen auch Sensoren eingebaut werden. Das kann visueller, akustischer Art, oder eine Kraftwirkung sein. Der rezeptive Sensor verschafft und vermittelt Informationen zum dritten „Glied“.

3. Die Elektronik, die die Bearbeitung der Informationen durchführen kann ein einfacher Taktgeber, oder Mikroprozessor oder ew. Hintergrundcomputer sein.

Die Ähnlichkeit zwischen Abb. 1. und 2. ist nicht zufällig. Die Spitzenfunktionen und die Beziehungen zwischen den Wissenschaftsgebieten liegen auf der Hand. Die Seiten des Dreieckes bedeuten Operationen: Informationsmitteilung (vom Sensor bis zum μP), Operationsbefehl (vom μP bis zum Ausführungselement), solange die Rückkopplung die dritte Seite bedeutet.

Die Anschlüsse an die Optik haben wir schon in Abb. 1. gesehen, jetzt betrachten wir aber die Frage von einer anderen Seite. Die geometrische Optik ist bei den traditionellen Lösungen überwiegend, sie behält aber auch bei den feintechnischen Geräten eine bedeutende Proposition. Hier spielt sie bei den

Rezeptoren, bei den Einheiten, die die Information aufnehmen eine Rolle. Optoelektronische Sensoren, Optotore und andere optoelektronische Signalumwandler sind fast unabdingbare Bestandteile der komplizierten, adaptiv gesteuerten Geräte, seien diese CNC Werkzeugmaschinen oder Kontrollgeräte der Verkehrskontrolle. Eine bedeutende Rolle bekommen die fotometrischen Geräte vor allem in der Prozessteuerung und bei chemischen Analysen. Ein anderes, sich rasch entwickelndes Gebiet der Optik ist die physische Optik, wo vor allem das kohärente Licht eine wichtige Rolle spielt. Das hat drei große Gebiete, die technologische Anwendungen (Schneiden, Bearbeiten, Löchen, Eichen und Trimmen) die Informationsvermittlung und die Heilkunde. Diese erwähnen wir nur um ihre Beziehung zu den schon erwähnten Gebieten zu klären. Hier muß es wieder ausgesprochen werden, daß alle Geräte der physischen Optik — vom Laser bis zu den bild-, und lichttransportierenden Fasern—sowohl in der Verwendung, als auch in der Herstellung eine entwickelte Technik benötigen. Ohne sie können diese ja auch nicht entstehen.

Das Anwendungsgebiet der Feintechnik ist weitschweifend, doch meistens ist sie in der Informationstechnik anzutreffen. Hierher zählt die Nachrichtentechnik, mit ihrer komplizierten Struktur, die Computertechnik von der Herstellung der IC-s bis zu den peripherischen Geräten. Wir wollen nicht lange Aufzählungen anschneiden, aber die Spitzentechnologie unserer Tage, die Raumschiffahrt benötigt — neben vielen anderen Sachen — eine Verwendung der Feintechnik von sehr hoher Qualität. Als Beispiel kann bei den künstlichen Satelliten die Bewegungsvorrichtung der Spiegel mit verstellbarer Krümmung erwähnt werden. Diese Vorrichtung muß bei einer Bewegung von Zehntel Mikrometer Kräfte in Kilonewton Größe ausüben können, wobei auch dynamische Ansprüche auftreten. Diese Bewegungen müssen reproduzierbar sein, wie bei einem Ausführungsglied eines Regelsystems.

Von den Extremen zur alltäglichen Industrieproduktion zurück, im Werkzeugbau wir Feintechnik auch verwenden, wenn auch nicht so sehr, wie in der Informationsindustrie. Beispiele können die Automatik der Bearbeitungsmaschinen, bestimmte Regeleinheiten von chemischen Geräten, oder in der Energieindustrie die Regelgeräte für Kraftwerke und Netz sein. Die Proportionen zeigt Abb. 3.

Die feintechnischen Produkte weichen von den Produkten der Maschinenindustrie, oder der elektrischen Maschinenindustrie in den folgenden Charakteristika ab:

— Der Wert der verwendeten Materialien spielt in den meisten Fällen im Preis des Produktes keine große Rolle. Das schließt aber nicht aus, daß sehr besondere und sehr seltene Materialien verwendet werden.

— Die Herstellungstechnologie ist sonderhaft, vielseitig und weitschweifend. (Denken wir nur daran, wie die Stromkreisplatten geätzt werden, oder an

die Technik der Ionenimplantation, oder die Schichtherstellung durch Dämpfung).

— Die mechanische Belastung ist gleich 0, das bedeutet keine Beanspruchung.

— Bei der Weitergabe der Leistung kommt eine große Rolle der Signalübermittlung und jenen Wirkungen die das beeinflussen zu. (Signal/Geräusch).

— Es werden verschiedene Funktionsprinzipien, oder ihre Kombination verwendet, z. B. mechanische, elektrische, pneumatische, optische, hydraulische.

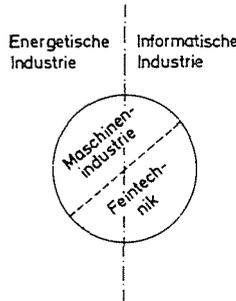


Abb. 3

— Bei der Konstruktion von feintechnischen Geräten muß der Herstellungstechnologie große Aufmerksamkeit gewidmet werden. Gerade die vielen und neuartigen Technologien können Form und Maß des Produktes ändern.

— Die Kontrollmethoden des Produktes müssen schon während des Konstruierens entworfen werden, da oft nur mit besonderen Methoden entschieden werden kann, ob das Produkt gut oder schlecht ist. Man soll hier nur an die holografische Kontrolle der Chips denken.

— Spezielle technische und technologische Geräte, — feintechnische Geräte also, die in kleiner Stückzahl hergestellt werden — bedürfen qualitativer Fachbildung und teurerer Facharbeit.

Die feinmechanische Industrie hat in Ungarn bedeutende Traditionen und eine erfolgreiche Vergangenheit. Die Produkte, die vor den II. Weltkrieg in den Gamma-Werken, und in den Optischen Werken hergestellt wurden erreichten auch im Ausland große Erfolge. Wir müßten uns auch wegen der Verkehrsgeräten, Labor-Einrichtungen, und optischen Geräten nicht schämen. Nach dem II. Weltkrieg entwickelte sich die ungarische feinmechanische Industrie in ihrer Quantität, qualitätsmäßig stockte sie aber. Das Optische- und Feinmechanische Forschungsinstitut hat Profil gewechselt, die gut gelungenen ungarischen Konstruktionen wurden nicht mehr hergestellt, und statt den hier entworfenen Computerperipheräten stellt die Firma

VIDEOTON solche Geräten nach Licence her. Ähnlich ist es der ungarischen Fotoapparatindustrie ergangen. Vom Fotoapparat DUFLEX, der zum erstenmal in der Welt mit Springblende hergestellt wurde, hat man nur wenige Stücke montiert, und die serienmäßig hergestellten MOMIKON und MOMETTA Apparate lebten auch nicht lange. Inzwischen sind auf dem Weltmarkt gefährliche Konkurrenten aufgetaucht, unter ihnen sind die hervorragendsten, die Japaner.

Im Preis dieser feintechnischen Produkte nehmen die Löhne einen großen Prozent ein. In der BRD wird z. B. untersucht, wie das ganze Profil, oder einige Arbeitsphasen — z. B. die Montage — in Länder wo die Löhne niedriger sind, verlegt werden kann.

Unsere Heimat ist bestrebt — von seiner wirtschaftlichen Situation her — diesen traditionsreichen Industriezweig, wozu wenig Materialien aber viel Arbeit benötigt wird zu entwickeln. Wichtig ist dies deswegen, weil das ja die Hintergrundindustrie für die Mikroelektronik bedeutet.

Unsere Industrie charakterisieren dieselben Entwicklungstendenzen, wie die der entwickeltesten Länder: die durchschnittliche Genauigkeit der Elemente nimmt zu, es müssen immer mehr Elemente mit der Genauigkeit zwischen 1—10 μm hergestellt werden, und in immer mehr Produkten müssen Schlüsselemente mit einer Genauigkeit von Submikronen hergestellt werden. Wenn man hier nur an die Kugelspindeln, an die Computerperipherien oder an die Tonbandgeräteköpfe denkt, muß das nicht bewiesen werden.

Unsere einheimische Industrie ist aber ein wenig doch anders. Ein Unterschied ist z. B. das sich die Submikronenherstellung, oder anders gesagt Nanotechnologie bei uns als Industrie noch nicht entfaltet. Damit steht nicht im Widerspruch, daß zu mehreren feintechnischen Produkten (optische Geräte, Rollagerherstellung) die Elemente mit Mikrometergenauigkeit hergestellt werden müssen.

Ein weiteres Charakteristikum der Feintechnik ist, im Gegensatz zur Vergangenheit, daß sie nicht auf der Kunst der virtuoson Facharbeiter, sondern auf modernen Vorgängen, auf präzisen und automatisierten Geräten, auf Meß-, und Regelungstechnik, auf konditionierter Umgebung und speziellen Materialien basiert. Abgesehen von einigen Ausnahmen ist die Massenherstellung mit Mikrometergenauigkeit durch Drehen, die Herstellung von Kunststoffelementen mit einer Toleranz von einigen Hunderttelmillimetern nicht gelöst, da es dazu an modernen Materialien, Werkzeugen und Geräten fehlt.

Die Aufgabe, die vor unserer Industrie steht hat also zwei Komponenten, es muß die moderne Feintechnik, und darauf beruhend die Nanotechnologie geschaffen werden.

Für unsere Industrie besteht auch jene Entwicklungstendenz, daß immer mehr mechanische Funktionen von der Elektronik vor allem von der Mikroelektronik übernommen werden. Die feinmechanischen Elemente dagegen werden immer kleiner und immer präziser, und genauer. In dieser Hinsicht bewegt sich unsere Industrie in einem teufligen Kreis. Wegen unseres Rückstandes auf dem Gebiet der Mikroelektronik nimmt der Prozent der Feinmechanik in den Produkten einen größeren Anteil ein, als in den Produkten der entwickelten Länder. Und wir sind auch in der feinmechanischen Technologie im Rückstand. Aus dieser Sackgasse führt der Weg durch die Entwicklung der feinmechanischen Industrie, und der Submikrontechnologien heraus, selbstverständlich mit der gleichzeitigen Entwicklung der Mikroelektronik.

Es muß hervorgehoben werden, daß die Mikroelektronik, und dessen einheimische Entwicklung die Feintechnik und dessen Komponenten, die Feinmechanik und die Optik nicht ersetzen kann. Um das zu belegen müssen nur zwei Tatsachen erwähnt werden. Wir geben für den kapitalistischen Import von elektromechanischen Elementen (Anschlüsse, Schalter, mechanische Elemente des Stromkreises,) viel mehr Geld aus, als für Stromkreise. Sogar mehr, als uns der Kauf der Herstellungstechnologie kosten würde. Die andere Tatsache ist, daß die mikroelektronischen Elemente immer billiger und die feinmechanischen Elemente und Geräte immer teuer werden. So können die Hybridgeräte (elektronisch-mechanisch, elektronisch-optisch) auf allen Märkten besser verkauft werden, als die nur elektronischen.

Um unseren Rückstand schnell nachholen zu können müssen wir Technologien und Geräte auf den wichtigsten Gebieten importieren. Auf langer Sicht muß durch einheimische Entwicklung, und Produktion der Hintergrund zur industriellen Weiterentwicklung geschaffen werden.

Zusammenfassung

Im Artikel wird analysiert, wie die Elektronik, diese Spitzenindustrie mit der Mechatronik, mit der Feinmechanik und mit der Optik zusammenhängt. Ihr Zusammenhang wird beschrieben, und es wird festgestellt, daß die immer neueren elektronischen Generationen immer größere Ansprüche an die Hintergrundindustrie, an die Feintechnik stellen. In diesem Begriff wird Feinmechanik, Optik und Elektronik miteinverstanden. Es wird die Lage in Ungarn skizziert, und einige Empfehlungen für die Zukunft beschrieben.