

# ПОЯВЛЕНИЕ МИКРОТЕХНИКИ И МЕХАТРОНИКИ В ТОЧНОЙ МЕХАНИКЕ

И. Хегедюш

Институт Точной Механики и Оптики  
Будапештский Технический Университет, Н-1521

Поступило: 17 мая 1988 г.

Представлено проф. д-ом О. Петрик

## Abstract

The development of the microelectronics produced such circuits with little measure, which can be built in the precision devices. The complex mechatronical units developed similar way will be able to solve numerous new type tasks. The paper analyzes the connection of the electronics as the leading line of industry of the present development and the precision mechanics and optics. Will be investigated the interconnections and brings into the limelight the effect of little measures and the development of the microtechnology as a background industry.

## Введение

В последнее время, как никогда прежде, электроника развивалась высокими темпами. Это стало возможным благодаря решению задач нового характера. В результате было создано оборудование, конструирование которого без электроники невозможно себе представить. Особенно заметно значительное уменьшение размеров электронных цепей, преимущество которых заключается в том, что их можно встраивать непосредственно в узлы, осуществляющие механические задачи. Такого рода конструкции способны выполнять задачи, осуществление которых раньше возможно было бы только с помощью больших и сложных механизмов и с относительно небольшой результативностью. Такое комплексное оборудование получило название «мехатронические» конструкции, указывая тем самым на то, что речь идёт о новой интеграции механики и электроники, способной сделать больше в своей комплексности, чем любой из компонентов. Эта тенденция делает необходимым размышление над конструкционными принципами и раньше применяемыми методами точной механики.

### Комплект элементов микротехники и мехатроники

Техника и технология нашего времени характеризуются всё большим распространением электроники. В наши дни нельзя представить современное оборудование, в котором бы не были встроены «интеллектуальные» элементы, по крайней мере какое-либо средство электронного управления. Эта тенденция, по всей вероятности, будет продолжаться. В 20-ом веке среднее время смены технологических поколений, составлявшее 15—20 лет, уменьшилось на половину и в наши дни это равно приблизительно 3—4 годам (см. 1 таблицу).

**Таблица 1**  
Тенденция смены технологических поколений

Период	1900—1920	1920—1940	1940—1960	1960—1980	с 1980
Среднее время смены технологических поколений	25—50 лет	20—30 лет	12—15 лет	7—9 лет	3—4 года

В результате смены технологических поколений создаются электрические цепи всё меньшего размера, способные однако к решению всё более сложных задач. Создание новых высокоинтегрированных электронных единиц предъявляет всё возрастающие требования к инструментам точной механики и технологическому оборудованию. Уровень интеграции сегодня уже так высок, что традиционные оптические приборы, например, во многих случаях оказываются непригодными, поскольку размеры проверяемых конфигураций могут соизмеряться длиной волны света. Так, для проверки интегральных схем используется голографическое оборудование с лазерным источником.

При применении т. н. «сверхтехнологии» (high technology) появляется сложная взаимосвязь между тремя названными основными областями (электроника, оптика, точная механика). Всеобщим стало стремление замечать приборы, работающие на механическом принципе электронными. И совершенно естественно, что возникает вопрос по решению особо требовательных точномеханических задач для изготовления самых современных электронных элементов. Например, диапазон движения точнопозиционирующих механизмов и манипуляторов для изготовления ИС — несколько 10 микрометров, а точность позиционирования — около 0,1 микрометра. Электронная технология ближайшего будущего, часто называемая микротехнологией, скоро достигнет и преодолет этот диапазон размеров и нам надо быть готовыми к следующей димензии — к нанотехнологии (1 нанометр =  $10^{-9}$  метров =  $10^{-3}$  микрометров).

Вследствие обрисованных взаимодействий, в процессе развития преобразовалась классическая точная механика и в результате влияний со стороны оптики и электроники она приобрела новый облик. Новая дисциплина в Венгрии получила наименование «микротехника» (по-немецки «Feintechnik» или «Mikrotechnik», по-английски обозначается выражением: «precision machine»). При более точном определении применяется и термин «суб-микротехника» или «нанотехника».

Микротехника имеет интердисциплинарный характер и может быть охарактеризована научными областями 1-ого рисунка. Вершины треугольника представляют традиционные области науки, оптику, точную механику и электротехнику (сегодня уже электроника). Двойные области, символизируемые сторонами треугольника, хорошо отделимы. Они — в отдельности сливаясь — создали свою особую внутреннюю структуру и развились в самостоятельные дисциплины, наименование которых: оптомеханика, оптоэлектроника, электромеханика (см. рис. 1.). Электроника, приобретающая в наши дни все большую роль, интегрируясь с точной механикой, создаёт новую область науки, которую всё чаще называют мехатроникой.



Рис. 1. Научные области микротехники

Формирование мехатронических элементов стало возможным благодаря миниатюризации электроники. Кроме двигателя и механизма передачи механических элементов, в весьма маленький объём могут быть встроены также управляющая ими электронный «интеллект», а также двигающая электроника, передающая команды «интеллекта». Такое раньше при лампочных системах бы было невозможно. Конструкционные узлы такого типа, т. е. «мехатронические элементы» необходимы при конструировании манипуляторов и промышленных

роботов. В этом оборудовании возникают вопросы, решение которых может осуществляться мехатроническими элементами.

Нужно отметить, что решение пока находится в стадии формирования, поэтому само понятие о ней в литературе можно найти пока что в разных толкованиях. В механизмах, содержащих мехатронические элементы, воплощается многостороннее стремление. Одним из таких стремлений является замена механических элементов электроникой. Таким элементом функции может быть, например, определение программы, оформление временного плана и т. д. Другим элементом функции может быть, например, восприятие, идентификация формы, активизация, также являющаяся задачей электронной подсистемы. Зажим, механические операции (перемещение, дозирование, усилие и т. д.) относятся к механической подсистеме, которая должна тесно взаимодействовать с электроникой, комплексно соединённой с ней.



Рис. 2. Схема функций мехатронического элемента

На втором рисунке указана функциональная схема мехатронического элемента.

Мехатронические элементы обычно должны выполнять три основные функции:

— 1. *функция позиционирования:*

нужно выполнять какую-то функцию позиционирования с соответствующим механизмом, имеющим определённую степень свободы, и необходимая энергия обеспечивается либо одним либо несколькими двигателями;

— 2. *сенсорная функция:*

для рационального осуществления выше указанной операции нужно встроить сенсор, получающий информацию и передающий её третьему компоненту — электронике, обрабатывающей информацию;

### — 3. функция обработки информации:

эта функция выполняется обрабатывающей информацией электроникой, представляющей собой простой датчик (такт прерыватель), микропроцессор или мощную ЭВМ. Проработав информацию, электроника «выносит решение» и соответствующие ему команды — в пригодной кодированной форме — через движущую электронику передаёт двигателю, перемещающему механизм.

Сходство рисунков 1 и 2 указывает на то, что функции, появляющиеся на углах треугольника второго рисунка и области науки первого рисунка непосредственно связаны между собой.

Стороны треугольника, характеризующего мехатронические функции, означают связи между отдельными функциональными единицами, в частности движение данных, управление командой, обратную связь позиций или сил.

Область применения широко толкуемой точной механики, микротехники, разветвлена. Чаще всего это — область информационной техники. К ней относятся тасника связи, вычислительная техника производство электронных деталей. «Сверхтехника» нашего времени, т. е. космонавтика — наряду с другими — требует применения микротехники особо высокого уровня. В качестве примера можно назвать механизмы перемещения зеркал переменного радиуса, используемые на искусственных спутниках Земли. Эти механизмы должны репродуктивно реализовывать перемещения порядка десяти микрометра против сил, измеряемых в килоньютонах.

Мы пока не говорили о технологиях, производящих изделия микротехники. Для изготовления детали с допуском порядка микрометра требуются особые методы, средства и прибороснабжённость. Если осмелимся подойти «под магический микрометр», то попадём на совсем новую, до сих пор нехоженную территорию. Нельзя избежать таких вопросов, потому что изготовление производственных средств изделий нового типа, например высокоинтегрированных электронных схем, без таких технологических способов невозможно.

### **Взаимодействие электроники и микротехники**

Изделия микротехники отличаются от изделий машиностроения и электромашиностроения по следующим основным признакам:

- стоимость используемых материалов в большинстве случаев не является характерным фактором с точки зрения цены изделия. Однако это обстоятельство не исключает того, что иногда необходимо применение весьма особых и редких материалов;
- технология изготовления особая, разнообразная и разветвленная (например изготовление печатных схем травлением, техника ионитридации, нанесение покрытий опарыванием и т. д.);

- характерных механических нагрузок у мехатронических устройств практически нет, поэтому они не могут быть основными компонентами общей нагрузки;
- кроме передачи мощности большое значение имеет передача знаков и влияющие на нее условия (отношение сигнал/шум);
- применяются весьма разнообразные принципы работы и их комбинации (например механические, электрические, пневматические, оптические, гидравлические и т. д.);
- при проектировании микротехнических приборов нужно уделять особое внимание на технологию производства; вследствие многообразных и новых технологических способов, форма и размеры изделия могут значительно изменяться;
- методы контроля изделия нужно разрабатывать уже при планировании, так как часто требуются особые методы контроля качества изделия (в качестве примера можно привести голографический контроль очертаний элементов («chip») интегральных схем).
- особые изделия повышенной точной механики, изготовленные в малом количестве партий, как например специальные технические и технологические приборы, требуют высокой квалификации, что повышает стоимость работы.

Выше уже было кратко сказано, что, например, для производства электронных ламп требовалась относительно развитая подготовка в области точной механики. На 3-ем рисунке последовавшие друг за другом поколения электронных элементов указаны рядом. Видно, что для производства всё более сложных элементов требуется микротехника всё большей точности. Это возрастающее требование касается и прецизионных систем установки для производства эле-



Рис. 3. Поколения электронных элементов и технологии точной механики, обеспечивающие их производства

ментов, а также различных позиционирующих, манипуляторов, вспомогательных устройств и т. д. Такое же требование возникает к прецизионным присоединителям и другим механическим элементам электронных элементов нового типа. Видно, что кривая 3-его рисунка представляет собой почти экспоненту, и это указывает на то, что в дальнейшем возможности увеличения точности постепенно исчерпываются, и наступает такое время, когда дальнейшие затраты приводят к незначительным результатам.

(Вычисление выполнено формально, но простой экспоненциальной пробой — когда коэффициент корреляции около 97%-ов — можно выяснить, что к 2000 или 2010 г. практически наступит насыщение, а это значит, что нужно будет искать совсем новые возможности для дальнейшего повышения плотности элементов. Этого пока не достигнуто, нанотехника является надёжным по нелёгким путём развития. Как сообщается в литературе, достойный для подражания пример предоставлен самой природой. Неисчислимы нейроны человеческого мозга имеют большую мощность, чем оперативная и периферийная память многих тысяч больших ЭВМ, взятых вместе. Правда, что их «организация» совсем другая и именно поэтому они способны «в большем» и на другое.

Возвращаясь к нашей исходной мысли, следует отметить, что механика в нескольких областях подавлена электроникой. Но в других областях существование электроники обуславливается наличием более точных и надёжных механических систем для изготовления высокомоощных электронных элементов.

Тенденция уменьшения размеров проявляется одинаково в обеих указанных областях. Причины другие и в точной механике и в электронике, но результат подобный.

В качестве примера возьмём характерный размер детали, представляющий в дальнейшем для нас деталь — это будет « $l$ » (линейный размер). Уменьшим все размеры детали на « $a$ ». Для отвода тепла, возникающего при работе, условия более благоприятные тогда, когда поверхность сравнительно большая по отношению и объёму.

Поверхность детали:

$$A = k \times l^2$$

Объём:

$$V = K \times l^3;$$

где:

$k, K$  — коэффициенты, зависящие от формы детали;

И наконец отношение поверхности-объёма:

$$\frac{A}{V} = \frac{k \times l^2}{K \times l^3} = C \times \frac{1}{l};$$

где:

$$C = \frac{k}{K}$$

(коэффициент формы).

Значение  $C$  характерно для термической нагружаемости. Видно, что упомянутое отношение поверхности-объёма при уменьшении характерного размера быстро повышается, однозначно доказывая тенденцию миниатюризации (см. рис. 4).

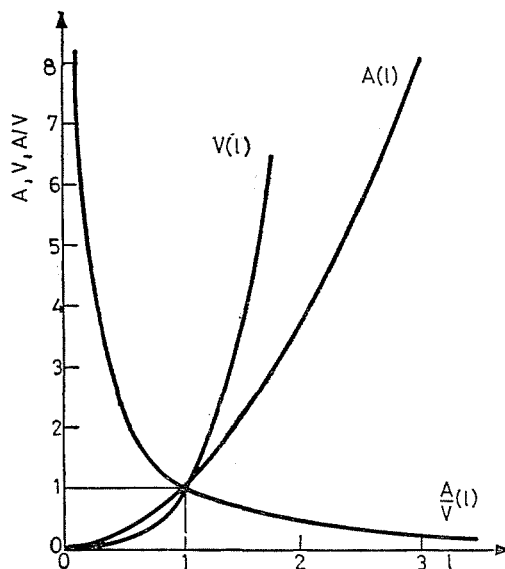


Рис. 4. Отношение характеристик параметров деталей к характерному размеру длины ( $l$ );  $V(l)$  объём;  $A(l)$  поверхность;  $\frac{V}{A}(l)$  характеристика термической нагружаемости

Влияние тепла возникает и в элементах точной механики, хотя не столь характерным и определяющим образом, как в случае с электронными элементами. Элементы точной механики — по сравнению со своими размерами — на несколько порядков «сильнее», чем «свои родственники» больших размеров. Уменьшение объёма по кубической закономерности означает одновременно уменьшение сил инерции в таком же размере. Поэтому при вибрации прецизионная конструкция более жёсткая, устойчивая. Она «выносит» свой вес на 2 порядка легче, чем до уменьшения размера.

Суммируя вышесказанное, можем установить, что маленький диапазон размеров в случае обоих типов элементов имеет свои преимущества. Это является причиной уменьшения размеров и значительной миниатюризации. Предметы таких размеров видны только микроскопом, а их встроение без прецизионной точной механики практически невозможно. Этим фактом подтверждено тесное взаимоотношение двух типов средств.



### Влияние микроэлектроники на конструкции точной механики

Первой и важнейшей «директивной» конструкции, возникнувшей благодаря микроэлектронике, является возможность реализации избыточных функций, входящих в круг понятий «интеллигентные действия». От комплексного мехатронического (или опто-мехатронического) оборудования требуется «наблюдение» изменения обстоятельств, обработка полученной информации (выделение сущности, осознание формы, и т. д.), потом оно «решает» (оптимизирует, адаптирует и т. д.) и с помощью механической подсистемы реализует решённое действие.

Общеизвестно — и это доказано рядом опытов — мнение, что установка, осуществляющая движения высокой точности, должна быть жёсткой и крупной, оснащённой прецизионными проводами и по мере возможности имеющей закрытую структуру. Новыми методами, обеспеченными микротехникой, осуществлены точно движущиеся установки с лёгкой упругой структурой.

Это объясняется тем, что тяжёлые и крупные конструкции трудно ускорить, они склонны к перебегу, при толчке — к колебанию. Если установка имеет лёгкую конструкцию, и кроме того быстрое и эффективное управление, тогда она будет не только точной, но и быстродействующей. Этот новый метод был эффективно применён в области техники роботов, и благодаря этому были достигнуты значительные результаты.

Конструкторы прежде избегали (особенно в приборостроении) решений, имеющих нелинейных характеристик. Возможности вычислительной техники, обеспеченные микропроцессорами, уже делает возможным описывать данные конструкции и она с большой надёжности может исключать компоненты погрешности. Микроэлектроника открыла новые возможности в измерительной и приборной технике. С её применением могут быть созданы упругие, многофункциональные конструкции размещения типа «bus» а благодаря этому, многие измерения, выполняемые до сих пор персоналом, будут автоматизированными.

Сущность влияния микроэлектроники на конструкционную работу точной механики заключается в том, что задачи управления (в большинстве случаев они «интеллигентного» характера) отделимы от механической подсистемы и эти задачи намного точнее и быстрее будут выполнены микроэлектроникой, интегрированной с механической подсистемой (возможно вспомогательным процессором). Полученная комплексная система способна к решению более сложных задач, она более эффективна, чем система, содержащая в отдельности элементы систем двух указанных типов.

### Подведение итогов

Точная механика не лишилась своего значения даже в эпоху быстро развивающейся микроэлектроники. Её значение, соединимость с электроникой, и требования к ней возросли. Некоторые традиционные изделия точной механики часто заменяются решениями, данными электроникой, и способными к выполнению значительно больше функций. Однако изготовление и часто обеспечение работы электронных элементов возможны только особо требовательными конструкциями точной механики. Таким образом точная механика и в дальнейшем является двигателем промышленного и — косвенным путём — научного развития.

### Резюме

Развитие микроэлектроники сделало возможным изготовление электрических цепей малого размера, которые могут быть легко встроены в конструкции точной механики. Полученные таким образом комплексные «мехатронические» единицы способны к решению многих новых задач. В статье проанализовано значение электроники, как ведущей отрасли современной промышленности, её отношение к мехатронике, точной механике и оптике. Рассмотрены также взаимодействия, уделяя особое внимание эффекту малого размера и развитию микротехники как фоновой промышленности.

### Список литературы

1. PETRIK, O.: Finommechanika. Tervezés-Szerkesztés Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1974. (In Hungarian)
2. PAYNE, S. M.: Manufacturing requirements printed circuit board design. The Marconi Rev. Vol. XLV. N°. 225. 1982. p. 65—83.
3. MCKEOWN, P. A.: High Precision manufacturing and the British economy; James Clayton Lecture; London Proceedings, 1986. Vol. 200. N°. 76. p. 1—19. (The Institution of Mechanical Engineers)

István HEGEDŰS H-1521, Budapest