

Škálovanie akčných členov a energetických zdrojov

Jozef Želinský

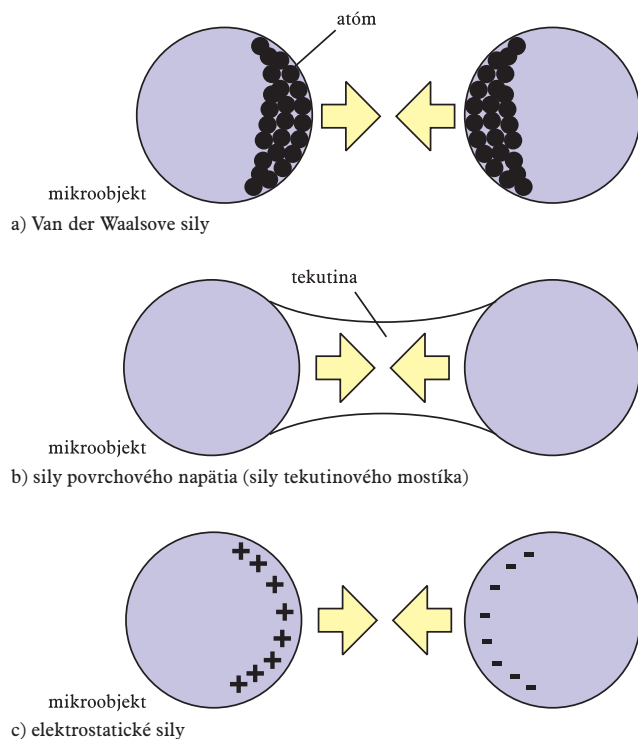
Úvod

Rozdiely rozmerov medzi makro- a mikrosvetom spôsobujú rozdiel vo vplyvoch fyzikálnych javov, v pohybe objektov a v relatívnych zmenách výkonu systému medzi týmito svetmi. Teda definujeme mikrofyziku ako prírodnú vedu na štúdium pohybu, štruktúry objektov, tepelné, optické, elektrické a magnetické javy, ktoré sa menia alebo sa stávajú dominantnými pri miniaturizácii kľúčových komponentov. Napr. príťažlivé sily sú dominantné v mikrosвете v porovnaní s gravitačnými silami, ktoré sú zase dominantné v makrosвете.

Zatiaľ čo hlavné fyzikálne zákony sú celkovo rozdielne medzi makro- a mikrosvetom, musíme mikrofyziku brať do úvahy pri návrhu, výrobe a riadení miniatúrnych objektov.

Na vysvetlenie vplyvu miniaturizácie na účinnosť sústav sa veľmi často používa zákon škálovania (angl. scaling law). Výkon akčného mikročlena veľmi závisí od miniaturizácie. Na báze analýzy škálovania možno určiť vhodný princíp akčného člena (pohonu). Zákon škálovania je tiež mocným nástrojom na navrhovanie mikromechanických sústav, ktoré obsahujú mikromechanizmy, komponenty na dodávanie energie atď. Špeciálna pozornosť sa venuje akčným mikročlenom, ktoré sa stávajú kľúčovým komponentom na dosiahnutie dobrej účinnosti systému [1], [2]. Príťažlivé sily, ktoré sú v mikrosвете dominantné a majú veľký vplyv vo vzduchu, môžeme zhrnúť takto (obr. 1):

- van der Waalsove sily,
- sily povrchového napätia,
- elektrostatické sily.



Obr.1 Príťažlivé sily medzi mikroobjektmi [1]

Tieto príťažlivé sily plne závisia od podmienok okolia, ako sú vlhkosť, teplota, stav povrchu, materiál a relatívny pohyb.

- van der Waalsove sily,
- sily povrchového napätia (sily tekutinového mostíka),
- elektrostatické sily.

1. Škálovanie akčných členov

Rozdiely rozmerov medzi makro- a mikrosvetom spôsobujú rozdiel vo fyzikálnych javoch a pohybe objektov v týchto svetoch. Miniaturizácia dominantne ovplyvňuje rozmer (veľkosť) niektorých síl akčných členov (tab. 1). Napríklad viskózne sily a trecie sily sa stávajú dominantné pre pohyb malých objektov v porovnaní so zotrvačnými silami. Tab. 1 možno použiť na zorientovanie sa a predbežný výber vhodného princípu akčného mikročlena a taktiež demonštruje vplyv zmenšovania na sily rôznych princípov akčných členov a môže pomôcť pri predbežnom výbere akčného mikročlena.

Napríklad elektrostatická sila je reprezentovaná rovnicou (1):

$$F_{estatic} = \frac{\epsilon_p \cdot S_p \cdot U_N^2}{2 \cdot d_m^2} \quad (1)$$

- kde ϵ_p je dielektrická konštanta,
 S_p – plocha elektródy,
 U_N – pripojené elektrické napätie,
 d_m – vzdialenosť (medzera) medzi elektródami.

Ich rozmer je nasledujúci:

$$[F_{estatic}] = \left[\frac{\epsilon_p \cdot U_N^2}{2} \cdot \frac{S_p}{d_m^2} \right] = d_{estatic} \left[\frac{L^2}{L^2} \right] = d_{estatic} [L^0] \quad (2)$$

kde

$$\left(d_{estatic} = \frac{\epsilon_p \cdot U_N^2}{2} \right)$$

druh sily	symbol	rovnica	škálovanie
elektromagnetická sila	$F_{magnetic}$	$\frac{B}{2 \cdot \mu} \cdot S_m$	L^2
elektrostatická sila	$F_{estatic}$	$\frac{\epsilon_p \cdot S_p \cdot U_N^2}{2 \cdot d_m^2}$	L^0
sila tepelnej rozťažnosti (dilatačná)	F_{termal}	$E \cdot S_R \cdot \frac{\Delta L_A(T)}{L_A}$	L^2
piezoelektrická sila	F_{piezo}	$E \cdot S_R \cdot \frac{\Delta L_A(E_e)}{L_A}$	L^2
zotrvačná sila	F_{zotr}	$m \cdot \frac{\partial^2 x_p}{\partial t^2}$	L^4
viskózna sila	F_{viskoz}	$c_V \cdot \frac{S_p}{L_A} \cdot \frac{\partial x_p}{\partial t}$	L^2
sila pružiny	F_{pruz}	$E \cdot S_p \cdot \frac{\Delta L_A}{L_A}$	L^2

Tab.1 Škálovanie síl akčných členov [1]

Z predchádzajúcej rovnice vyplýva, že elektrostatická sila je generovaná v rozmeroch na S_p/d_m^2 , (L^0). To znamená, že ak je pomer S_p/d_m^2 konštantný pri miniaturizácii elektrostatického akčného člena, potom generovaná elektrostatická sila sa nemení. Preto je elektrostatická sila vhodnou hnacou silou akčného mikročlena.

Rozmer elektromagnetickej sily generovanej solenoidnou cievkou je:

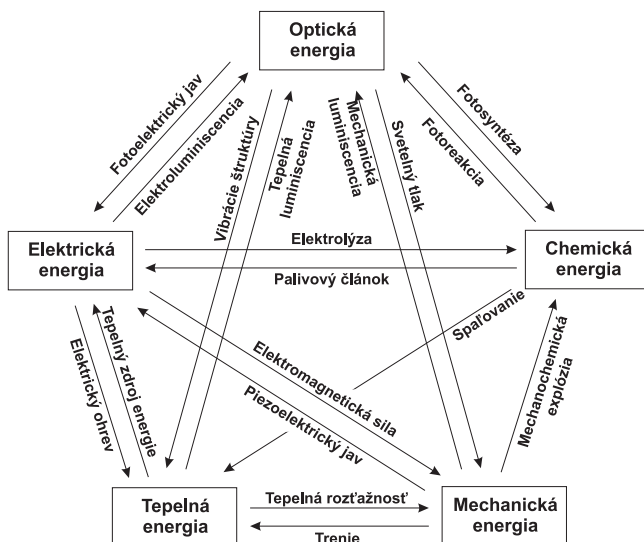
$$[F_{magnetic}] = \left[\frac{S_m \cdot B}{2\mu} \right] = \left[\frac{B}{2\mu} \cdot S_m \right] = d_{magnetic} \cdot [L^2] \quad (3)$$

kde

$$\left(d_{magnetic} = \frac{B}{2 \cdot \mu} \right)$$

kde S_m je plocha prierezu solenoidnej cievky,
 B – intenzita magnetického poľa a
 μ – permeabilita.

Predchádzajúca rovnica ukazuje, že solenoidná cievka generuje elektromagneticкую silu v rozmere na $[L^2]$. Preto elektromagnetická sila v miniaturizovanej štruktúre rapídne klesá. Zatiaľ čo elektromagnetická sila závisí tiež aj od veľkosti elektromagnetického poľa, nenaznačuje to však to, že elektromagnetická sila nie je vhodná pre akčné mikročleny. Avšak je pravdou, že účinnosť elektromagnetickej sily je diskutabilná, pretože elektromagnetické pole závisí od veľkosti magnetických elementov.



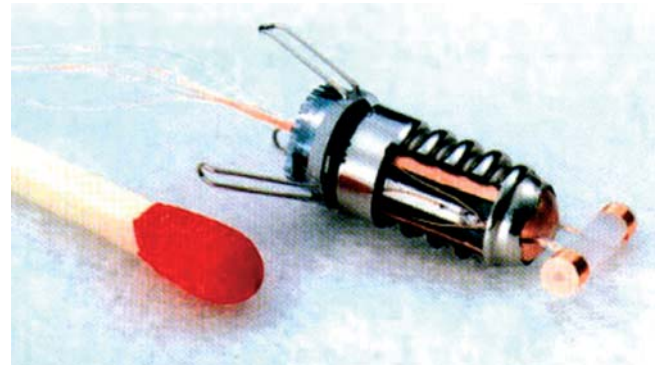
Obr.2 Transformácie medzi základnými typmi energií [1]

Akčný člen je definovaný ako zariadenie konvertujúce energiu medzi základnými typmi energií (optická, elektrická, tepelná, mechanická a chemická).

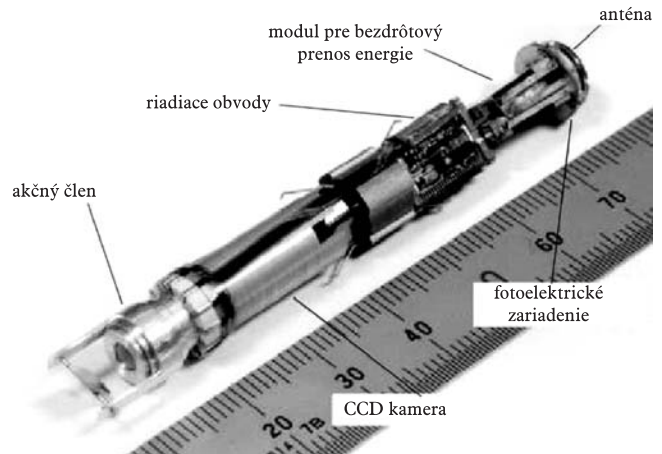
Funkčný element akčného člena je materiál pridaný do štruktúry, ktorý konvertuje energiu z jej fyzikálnych podmienok na mechanickú energiu. Charakteristické pre funkčné elementy je, že ich transformačný proces je reverzibilný. Piezoelektrický element je typickým funkčným elementom, ktorý po pripojení elektrického napätia expanduje do rozmerov (podľa elektrického napätia) a po vypnutí elektrického napätia sa vráti do svojho pôvodného tvaru. Tento jav sa uplatňuje aj opačne, t. j. ak stlačíme piezoelektrický element, objaví sa na jeho elektródach elektrické napätie. Obr. 2 zobrazuje transformácie medzi základnými typmi energií [1], [2], [4].

2. Energia v mikromechatronike

Všetky mikrozariadenia ako akčné mikročleny, mikrosnímače a mikroprocesory vyžadujú energiu na zabezpečenie plnenia svojich funkcií a najčastejšie je použitá na prevádzku týchto zariadení.



Obr.3 Inšpekčný mikrostroj DENSO [3]



Obr.4 Potrubný mikrostroj s prenosom energie pomocou mikrovln [3]

ni elektrická energia. Pri vývoji mikromechatronických sústav, musí byť klasifikovaný druh použitej energie, ktorá je použitá ako hnacia energia a takisto spôsob, ako bude dodávaná k jednotlivým prvkom; práve to musí byť zohľadnené už pri samotnom návrhu mikromechatronického zariadenia. V mechatronických systémoch je elektrická energia dodávaná väčšinou prostredníctvom káblov (obr. 3).

Avšak napájacie káble sa veľmi často stávajú prekážkou výkonnosti systému pre odpor, ktorý vzniká pri ťahaní káblov (trenie vodičov o okolité prostredie a pod.) a ktorý je často väčší než pracovná sila, vyžadovaná týmito sústavami pri ich miniaturizácii.

Typické metódy dodávania energie:

1. Bezkontaktné dodávanie energie je možné napr. vo vzduchu alebo vode ako svetlo, magnetické pole, ultrazvukové vlny a pod (obr. 4 a 5).
2. Dodávanie energie z batérie: batéria vnútri telesa dodáva energiu pre každé zariadenie. Často používanými sú chemické ba-



Obr.5 Mikrostroj s dodávaním energie pomocou svetla [3]

térie ako lítium, nikel – kadmium atď. Avšak kapacita batérie závisí od jej veľkosti a je ťažké miniaturizovať chemickú batériu.

Pre proces dodávania energie sú vo všeobecnosti potrebné tieto štyri komponenty:

- zdroj energie,
- zariadenie na zber (zachytenie) energie,
- zariadenie, resp. médium na uchovanie energie – energetické akumulčné médium,
- zariadenie, resp. mechanizmus pohonu (budenia) akčného člena, resp. iných prvkov.

Funkciou zdroja energie je dodať energiu vo vhodnej forme pre zariadenie zhromažďujúce energiu. Zdroje energie v určitých formách už v okolí mikrozariadení existujú. Preto treba zariadenia na zber a uchovanie energie a pohon (budenie) navrhnuť. Energia z energetického zdroja je zachytená a konvertovaná na určitú formu podľa typu energetického meniča. Tento energetický menič konvertuje energiu do takej formy, v ktorej môže byť energia uchovaná (akumulovaná). Dôležitým parametrom média na uchovanie energie je hustota energie a nabíjaci/vybíjaci pomer. Tu sa dostáva do popredia problém obmedzeného objemu v mikromechatronických sústavách a jedinou cestou na uchovanie väčšieho množstva energie je využívanie médií s vysokou hustotou energie. Ďalším problémom je, že musí byť zachovaná kompatibilita procesu prenosu a transformácie energie medzi uvedenými komponentmi na dodávanie energie. Funkciou zariadenia pre pohon, resp. budenie prvkov (napr. akčného člena) je konvertovať energiu z média, v ktorom je uchovaná na formu vhodnú pre konkrétny akčný člen, resp. iný prvok [1], [4].

Pre návrh spôsobu dodávania energie treba analyzovať možnosti a požiadavky, resp. obmedzenia v riešenej sústave. Dôležitým kritériom je spomínaná hustota energie energetického akumulčného média. Jednotlivé vybrané metódy akumulácie energie a príslušné energetické hustoty sú v tab. 2.

Záver

Zohľadnenie škálovania pri návrhu miniatúrnych zariadení je zvlášť dôležité na dosiahnutie dostatočnej účinnosti systému. V praxi je množstvo zariadení, pri ktorých je to dôležité a ktoré by pomocou konvenčných pohonov boli len ťažko realizovateľné [5], [6], [7], [8].

Literatúra

- [1] ISHIHARA, H., ARAI, F., FUKUDA, T.: Micro Mechatronics and Micro Actuators. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 1, No. 1, March 1996, pp. 68 – 78. ISSN: 1083-4435.
- [2] KOENEMAN, P. B., BUSH-VISHNIAC, I. J., WOOD, K., I.: Feasibility of micro power supplies for MEMS. Journal of Mi-

metóda akumulácie energie	hustota energie [J/dm ³]	parametre
štiepny materiál	1,5 x 10 ¹²	U235
zápalné reaktanty	3,5 x 10 ⁷	gazolín
elektrochemické články	2,1 x 10 ⁶	Li – a V ₂ O ₅
tepelná kapacita	8,4 x 10 ⁵	voda, ΔT = 20 K
latentné teplo	1,0 x 10 ⁵	chladivo R11
palivové články	6,5 x 10 ³	H ₂ -O ₂ , 100 kPa
pružná deformačná energia	6,4 x 10 ³	pružinová oceľ
kinetická (translačná) energia	3,3 x 10 ³	olovo, v = 24 m/s
magnetické pole	9,0 x 10 ²	B = 1,5T
elektrické pole	4,0 x 10 ²	E = 3 x 10 ⁸ V/m
tlakový diferenciál	7,0 x 10 ¹	100 kPa
kinetická (rotačná) energia	2,0 x 10 ⁰	Pb, 3 600 ot./min., d = 4 500 μm
gravitačný potenciál	5,0 x 10 ⁻¹	Pb, h = 4 500 μm

Tab.2 Energetická hustota pre jednotlivé metódy akumulácie energie [1]

croelectromechanical systems. Vol. 6, No. 4. December 1997, pp. 355 – 362. ISSN: 1057-7157.

[3] MICROMACHINE CENTER – Micromachine Centre. <online> <http://www.ijnet.or.jp>, Japan.

[4] MAŤAŠOVSKÁ, T., KELEMEN, M.: Mechatronika a potrubné mikrostroje. In: AT&P journal 8/2003, s. 71 – 73. ISSN 1335-2237.

[5] GMITERKO, A., KELEMEN, M.: In-Pipe Two Masses Micromachine Karolina. Robtep 2002, Košice Máj 2002, s. 117 – 122.

[6] KELEMEN, M., GMITERKO, A., GÓTS, I.: Mechatronická koncepcia štetinového potrubného mikrostroja. ATP Plus 2001, s. 48 – 52, ISSN 1335-2237.

[7] MAŤAŠOVSKÁ, T., KELEMEN, M.: Wheeled in-pipe micromachine – Fenaus. Proceeding of International Symposium on Mechatronics, Robotics and Biomechanics 2003. Hrotovice – Czech Republic, s. 71 – 72.

[8] KELEMEN, M., MAŤAŠOVSKÁ, T.: Optimalizácia pohybu mikrostroja. In: AT&P journal PLUS 5/2004, s. 61 – 64, ISSN 1335-2237.

Ing. Jozef Želinský

Casspos, a. s.

Košice

e-mail: jzelinsky@casspos.sk