ä ßÊ cÎ ºÎ ÎÎ ~ê ÎÙ ¢¢ £ë ßÓ ºï ¡ä æê ¢¢ ±ë ®ó £ä æè ch ßÇ §

ë®ó £ä tø ßdü ¢ü ë mî ß_ä ðô ò ìæ Î êy í ßä å¯ø ä ß³ç êmî Ô â å»ó -ù m

æ ¢µä Î µç êø ±

a£´£ª-®«£¬²=-¤=~¬=bª£¡²°-«~¥¬£²§¡=i§¬£~°=^¡²³~²-°=f¬²£¥°~²£¢=µ§²¦

^¡²³~²§¬¥I=m-±§²§-¬=p£¬±§¬¥=~¬¢=_°~©§¬¥=c³¬¡²§-¬±=~¬¢=o£±£~°¡¦=-¬=§²±

`¦~°~¡²£°§±²§¡±

ë®ó £Ô ±ö ßÇ ìp`UUJOONOJbMMOJMNQ

î ¢ êÎ ÿ ßdä ¢ ÿ ÕÕT ä¼U â ÑÑ â ßä ßÇ ÿ ÕÕU ä¼T â ÑN â h

ã æé ¢ ßdô ¢ ö ±Ğ= î ãã ¢ ¢Ą tâ ü ¢ ¡ â ³ó ¹ü æ²

â ß_â â ¢ë¬

ã ã ë®ó £â ã É ä ô »ó -â ë dë m
î ß_ä ðô ò ìæ Î êø É yí ßã ¢ yí ß ¢u
â ßß ë®ä â ë ø ä ß³ç êmî Ô â ß æ Ċ
ç ÿ ü Ě ö mî ê ð ¸ùmå æ ¢ ßß ²ó ß Ą z
ë®ü ø ¡â ã ß_ü ¢ ßø ¡ùmï æ ¯ ö ßß ²ó ß ^
æ à Ę Ę ã ß ß ê ¢ ±â å ð dùmä ã â ö þ
â þ è©ï ö æ Ę_î Ô ßß mí µç ß ã ë mî Ô ÷
â æ ²ó Ç Ĉ ß ö é ð dó -ð ¯æ_ô §ô ¯è ü ë Í
ä ü ê¯ þ â ä®ç Ð ã ß ³å à ß ü ê¯ þ ä ß v
ã §ä ß ¢ _ô §ô ¯à å ä ß ³ä ã ½ç µä ø ß ë ¯æ Í
ñ ß®æ_ô §ô ¯ù mû ³ï ß ï ¢ ã å ã ß ä ö ±é ê
ä ¡ã yí ß ¢u ÷ ø ä ß³ç êmî Ô ä ö ô ö p
ç ô ¢ ö ¢ ß³ç êmî Ô ßßEENF ï ë mî ß_ä ð ü
ô ò ìæ Î êø É yí ß ¢u ç â ¯ë mî Ô ÷
â ßßEOF ó ¯æ ë ¯è ô ³â ã §é ¢ ö «ä ë ç ß_
EPF ó ¯ê ¯ä ßß §ä ß ß ð ô ß³ã ê ßßQF ã §ä ë ä Ï
ó ¹ä ßß ¯ï_î Ô ßß ß `

ã ÿ ¢ ß ë ø ä ß³ç êmî Ô ßß ÷ ö ë ð ¸ß ^

ì ¢ ä ß ß ³ã yí ß ¢u

Abstract

The aim of this project is to develop an electromagnetic linear actuator integrated with position sensing and braking function. Based on the chosen actuating principle and the clamping form the entire structure and controlling system are designed and realized. For studying its movement modal and characteristics experiments and finite element analysis are carried out. The stroke of the actuator is influenced directly by driving voltage. The positioning precision is decided by minimum stroke and heat effect of coils. There are several characteristics that differentiate the new developed electromagnetic linear actuator from its traditional counterparts. These are: (1) integrating actuating, position sensing, and braking function in an actuator, (2) position fixing without energy supply, (3) variable stroke, and (4) changing movement modal easily by changing the controlling program etc.

Keywords ßd electromagnetic linear actuator, inductance principle, radial clamping tube, functional integration

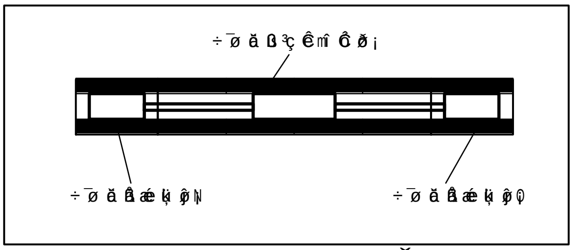
â ß_ë®- ø ³ã ë mã É ø

ø ï hû³ç êmî Ç µä æ²ó ß ä ø È ã Ô Ġ
î ã ã ã ß ß ã ß ß ñ ¢ ¹ ¶ ß ë ë -ç Ô mâ ß ë ë ¢ NzJ
xSzß ê æ ß ³ç êmî Ô ä ø ï hæ²ó ß â ã ß ^
ó ß ¡Ą ß ã Ą mã yí ß ¢ ü ä ß ß ç æ ¢ -ì §ß ã ù
ê ¢ ±ë ®ó £â ß ø ³ó -â æ mî Ô ç ß ß æ æâ ã ß Ď
ñ ¢ê ê ã yß ß ±Ą ã ß ß ß ñ ±Ą ã ß ß_î ê ã ß
â ã ß ü ß ß ß ß ß ß ¹ó ¹è ©ë ß rè ó Ĉ
ã ß ß æ ã ¢ ô ò ß æ Î Ô ã yí ß ß ÷ æ ã ÿ ¬
ï hû â Ą ç µä ß ß ß ß ó ¯æ ë ¯è ô ³â ä ß «

ã ę çç ô ã Ā ß ã Ā ù § ø ã ß ç ê ô ÷
ä ø ĩ æ ð ă å ã ū ė ß `

â ß ó ð ù ù ě

ã ė ę ç ð ó è ð é ê ū ê ĺ ë m
î ß ä ð õ ò ķ æ ĭ â ç ý ă ý ŭ ğ u
â ß ë ä â ė ď ø ä ß ç ê ū â ß ë m
î Ů ä ð ō ò ă ý Ģ ã Ě ä ä â ê î
ô ä ï Ą û ³ î ð ę ę ų ó ã ã ß ú ç Ĉ
ë ĉ ý ă ã Ū ³ î ñ ã è ê ç ď þ t ÷ ē ·
ð ã ø ō ģ ª â ç ď â ĥ ä ä ü ä û ³ î ñ â
æ ğ î ç µ ø õ â ð â ę â û ³ ç â ð ü _
î ß ä ď ð õ ò ă ý ě ¦ ã č þ ý ø ã û ³
î ä ø ã ę å ð ä ă Ą ð ä æ ò ă ě Ą]
ê â ð ō ò æ Ů ß ä ď â ë ä ó æ ď è ô ^
ì ć ă ę ţ ū ê â þ ĺ ă ð ß ĭ ô ó â ė ď
÷ ø ã ß º ä å] î â å æ â å ä ĩ ³ ç ô ū Ĉ
â ã ß ê â ÷ æ ĵ â â å æ ß ó õ ĸ ğ Ą m
î Ů ô ò ă ý ă ã ³ î ð ę å ŧ ü ğ ä â]
î ß ä ð æ ² ð ă Å ð ç ß ÷ ø ę â Ĕ î â å
ô ø ß ĭ å â ė ď ô ð ö « ç â ã ß ä æ Ģ
æ ř ă ñ ± â ė ď é ķ ğ ß ä ď ë ū ü ġ



ä û â ă ñ ø ß ä ® ÷ ă ç ñ Ě `

÷ ð ß ď ă ñ ø ¦ ÷ ß `

ÿ æ ð ă þ ō ð ā č æ ĭ ö ě ê ď ß
ã ß ó ð ñ ã ġ ð ď þ ê ū ó ð ù å é ķ
ü ğ ß ĭ æ ĭ ö ď ã ģ ð ď þ â û ô ê ß _
ä ð ō ò ñ ê ß ĭ æ ň ê ã â č ç ñ ð ¸ x
ý ŭ ĕ ê ß ë ū ó ð ė ū ĉ â û ³ î ñ ě §
ð ū ê â ø ã ę ß ÿ è ã ĩ ě ö ō ŋ ã â þ
÷ ã ď å ó ã ½ ß é ä ó ō ³ î ñ â ğ ñ ± ó
ü ó ō ğ â ě ã ¼ ā ă å ä ó ŏ ç ð ß `

ë ū ê ý Ğ

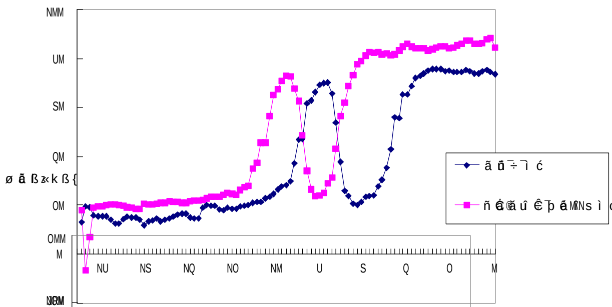
ö ¥ ã ď þ ã § ï ß ó ± ø õ ğ ą Û ã â x
ø ã ę õ ğ ą ê ę ã ď â ø ã ę â ğ ô w
Ā ģ ³ î ñ â ğ « « â å ð « ì é â ĺ CEkF ê î

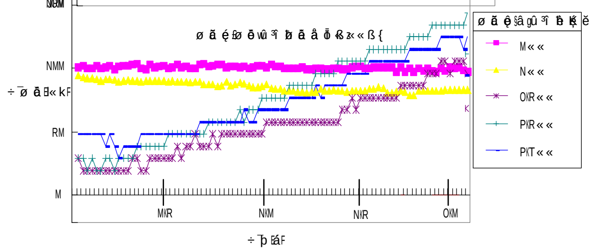
$$F = F_L - F_R = \frac{-9®}{8}\cdot\frac{«_0\cdot N^2\cdot I^2}{(2+i)^2}\cdot 10^{-3} - \frac{9®}{8}\cdot\frac{«_0\cdot N^2\cdot I^2}{(2-i)^2}\cdot 10^{-3} + 1125\cdot 10^{-6}$$
$$= -\frac{9®\cdot «_0\cdot N^2\cdot I^2}{8}\cdot\left[\frac{1}{(2+i)^2}+\frac{1}{(2-i)^2}\right]\cdot 10^{-3} + 1125\cdot 10^{-6}$$
E1)

ë ó â ğ ³ î ñ ã â å ē é ā § ě ø õ ğ ã
ç Û ã â ø ã ę õ ğ ą ê ę ß ø ã ę â ğ
ô Ā ģ ³ î ñ â ğ « « â å ð « ì é â ĺ CEkF é ¦
ê î

$$F = F_R - F_L = \frac{9®}{8}\cdot\frac{«_0\cdot N^2\cdot I^2}{(2-i)^2}\cdot 10^{-3} + \frac{9®}{8}\cdot\frac{«_0\cdot N^2\cdot I^2}{(2+i)^2}\cdot 10^{-3} - 1125\cdot 10^{-6}$$
$$= \frac{9®\cdot «_0\cdot N^2\cdot I^2}{8}\cdot\left[\frac{1}{(2+i)^2}+\frac{1}{(2-i)^2}\right]\cdot 10^{-3} - 1125\cdot 10^{-6}$$
E0)

÷ ø å ª â è ó ã ą ź þ â â ñ ñ ë ® j
ç â å č ö ę ķ ß ø ê ÿ ß ü ó ě ú Ą Č
Ā ô ³ î ň Ą ã ½ ß ÿ â õ ³ î ñ â å â] î ď Ą ø
ä ū ê ē â ě ę þ ã å þ ß þ ð ó ß `





÷ ð ß ď ã ę ð ß ä û ê þ ă ÷ ø ã â å v

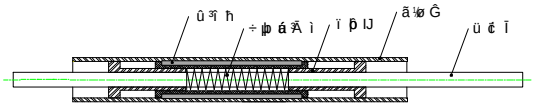
æ Ů Ą â ENF ä ø ã ú ã ç ñ ě ą ñ İ
â ß ÷ ø ã þ õ ÷ ē â ä ® ã â ã ÿ ß ^
ã ď Ò=E_F ã § ß ä ä ð ō Ā ĵ KR« « ã â r
ì ß ã ç ô Ā ģ ³ î ñ â â ğ ö Ú õ ß ÷ þ â
ä ĕ Ą ± ø ã ā ä ® æ þ ã ď ú ä ß ä â Đ
ð ¸ û é þ ß ä ä ð ō Ā ĵ KR« « ã â ì ß é ¦
ã § ê ã u ÷ ø ã þ ó ę þ á ã ä ê ķ ã ý į
ú â ß ä ď ÷ ò ğ å â ÿ ą ď ß ã § ě l
ä ê ã î ă û ê þ å é ē Ų ô ª î ð ÿ ç κ

ă ß `

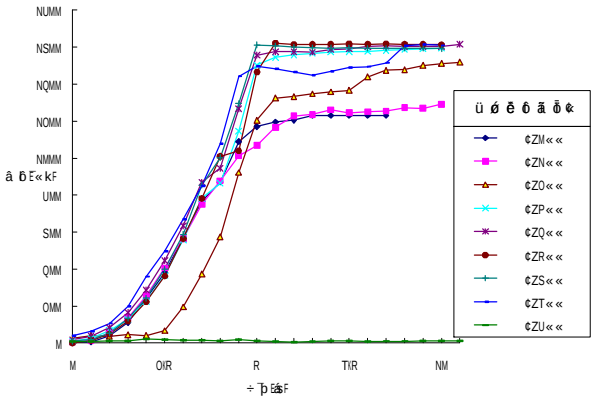
ä þ tð ´New¼PMMew û ¢ñ ãá Ø ⁄ þ tð ´è â ¨ â ®÷ ø ã È è ä Ě ą æ ą ä ã ą ¨ ú ´ ã ą ß ⁄ þ tð ´ î è ç ¢RMew ì é ¯ ø ã È ð ª â ë ê ą ¼M=«kß ⁄ ÷ ą ² ð Č è ó ´ ã ą æ â ã ´ ß ⁄ ä ą ą ę ą ô ê ª â ą å £ ð ¹ ã ê µ è ø ô ⁄ ß ç ã ä ä ą î ą Ô tð ´ â ® ç ¢RM=ew ì ß ^ ã ã § â ë m ç ą ą þ tð ÷ ø ã È â ã å ´ ã ą ß ä ą ą «ô ¯ ò ã ý í Ě ã ÷ ¯ ð m î ą ą ñ _ð ¸ ü ç ą ą ã â å OKR ©ew=ý ó ó ç ê § ÷ ± ¯ ø ë m î ã È â ã å ´ ã ą ą æ ê ę ð ą î ì ¸ ß `

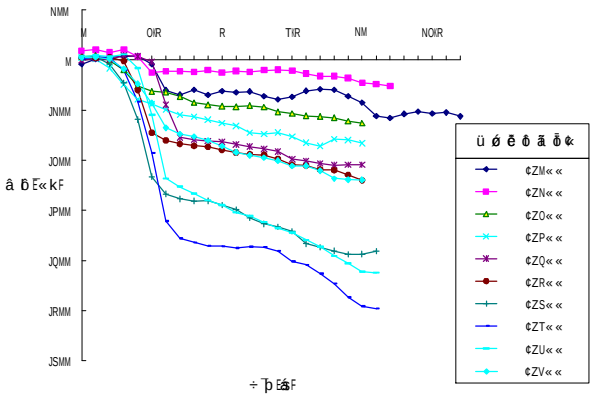
ă ú î ê ¯ þ ã ã Ě ã È ã ª ä ã ³ î ħ ú ã å £ ñ ý ñ ã ¨ ÷ þ ã ß Ø ß ^ ÷ ê ⁄ ã ® ê ¼KOR=^ß ^ ã e ÷ þ ã ą ² æ ą ã ã ą ² ą ę ê ø ą ą ą

å]ã Ğ ĺâ ŧ så ß ĉ ç ã ¼â ã â Ĳ ⁄ä ż ä ã å æ ķ
ë ð ¸â ã ½ø Ê ã §ï Ă Ŏ ó ğ ĵ Ą ⁄ä ® ß ç Ð
ã Ĕ ã ĺ ŏ ð ß ä ½ø Ĉ Ă Ĕ aï ó ğ ĵ Ą ß ⁄è û
ê ÷ ¯ þ ã s ß æ Ĺ KQ^ ß ¢ ð ã â Ă þ ą è ĸ
NMMM¼NQMM=«k â ğ ß ⁄å æ ĸ ³Ā ë ŧ Ê ż ö ¥ù ^



õ ñ z ë ® ã § ÷ æ ã ý ï } Ă ĺ ç ñ ë m î Ĉ ą ã ã y
í ß `





÷ ĕ ß æ Ĭ ê æ ĸ ĝ ą ã î ö « ß `

÷ ĝ ß ć ú ê þ ß _ä ð « ù m ¯ ø ã ã ê v
E~F ã ½ ê æ ä ó ğ ĵ ¢ F ã ½ ê ú ó ğ ĵ Ą

ã ß _ë ® ó ã è ć é Ĺ

ç Ð » ó - â å ¦ ã ý í Ğ ĝ ú é ê ³ ç ê m î Ô æ ²
ð Ç Ĉ ĕ ö é ĕ ć ® â ß ó ï ã ¼ã ë ²ð ã r â ã Ċ
â ¨ ä ú î ê ĺ ê ĺ OM=«k ß ñ ê ¨ ä ð ä ê ¹ê ĺ QN
«« ß ñ ê ® ä ð ô ¯ ê ĺ KR=«« ß ñ ê ¨ ä Ą ĺ m è ä

â æ ã ē Ð ŶM à ß ç µ ä ō æ ē ĕ ę ĺ KM=«« ß `
ø Ą x ã è ĝ ± ä ü ą k â Ĉ ³ õ ¼ â t â ã { Ă « ä ®
â ß d

NK ï k ë m î ß _ä ð ô ¯ ò ù m æ Ĭ ê ą ó æ ã y í Ğ ġ
ä u ç â] ë m î Ô â ß `

OK ă ý - ï h û - â Ą ~ ï k ç Ĕ ã ñ ó ¡ ç ą g è ū º
S«« ß ⁄è Ĺ RM«« â ğ ĕ t ă ã ß `

PK ó æ ć ¯ è ô ⁄â r ã § é l é ĸ ō « ã ę ç ß `

QK ð ¸ û ã t ã § ÷ ä æ ï ê ¯ ä ß ã § ã ĕ _ô § ¯ ß `

RK ã § ã ć ä ð ¹ä ß ò ĺ ä Ĕ _î Ô ß `

SK é ã ą] ì j ä ¦ ã ý í Ğ ą ú é ê ³ ç ê m î Ô â å
æ ²ð Ğ Ą z ë ® ó » ó - ê - ó ¹ß `

ã è ĝ ± ë ® ó f ä ® ë Ī µ ò ý ó t ó f å ä æ ¦ ã y
í Ğ ĝ ú é ê ³ ç ê m î Ô æ ²ð Ğ ã z ë ® ù m ù ±
å] ß ⁄â z ã ä r ø Ė ã ĺ ò ö â ŧ ß ä æ ð - í µ ç Ĉ
ò ö ß ⁄ä m ì ć ż ï ĵ ã ŭ ¸ û ã þ ó ¹ä ß Ğ ê ę
õ ã ñ Ă _ õ ą ú ð ë m î Ô æ ²ð Ğ å _î Ŷ ċ
ô ß `

â ß _î ć ĕ ĝ «

1. H. S. Tsou and F. Fukuda , *Precision Sensors , actuators and systems.* Kluwer Academic , 1992.
2. R. Hartramph,W. Schinkothe, *Miniaturlinearantriebe mit integriertem Wegmesssystem , Feinwerktechnik Mikrotechnik and Mikroelecktronik* , 105 Jamgang , Heft 9/1997 , pp. 634-636.
3. K. Srairi , B. Bendjima , M. Feliachi , G. Develey , *Numerical and experimental studies of a linear electromagnetic actuator supplied by capacitor discharge voltages.* IEEE Transactions on Magnetics 33 , 2 pt 2 , (Mar , 1997) , p 2061-2064.
4. B. S. Murray , R. Madden , E. F. Berkman , *Electromagnetic moving armature actuators for active vibration control.* Proceedings of the 1996 ASME Int. Mech. Eng. Con. and Exp. Atlanta , GA , USA , Nov 17-22 1996 , p7-13.
5. E. E. Herceg , *Handbook of measurement and control* , Schaevitz , 1986.
6. L. D. Chen , C. T. Liu , *Sensorless Speed Control of Transverse Flux Linear Switched Reluctance Machine* , National Sun Yat-Shien University , 1995.