Villamos gép és hajtásrendszer állapotfigyelése a légrésben kialakuló mágneses tér elemzésével

Füzesi János

„Villamos hajtások és az Ipar 4.0” MEE Szakmai nap, Óbudai Egyetem 2018. május 16.

Miért a légrésben?

- A leginkább kedvelt és elterjedt villamos jel alapú diagnosztikai módszer a primer áram vizsgálatán alapszik.
- Létezik un. szórt fluxus mérésen alapuló diagnosztikai módszer is, de több hátrányossága van
- A légrésben kialakuló mágneses tér kicsit olyan mint az emberi szem ami „a lélek tükre”

Hibajelenségek amelyek detektálhatóak

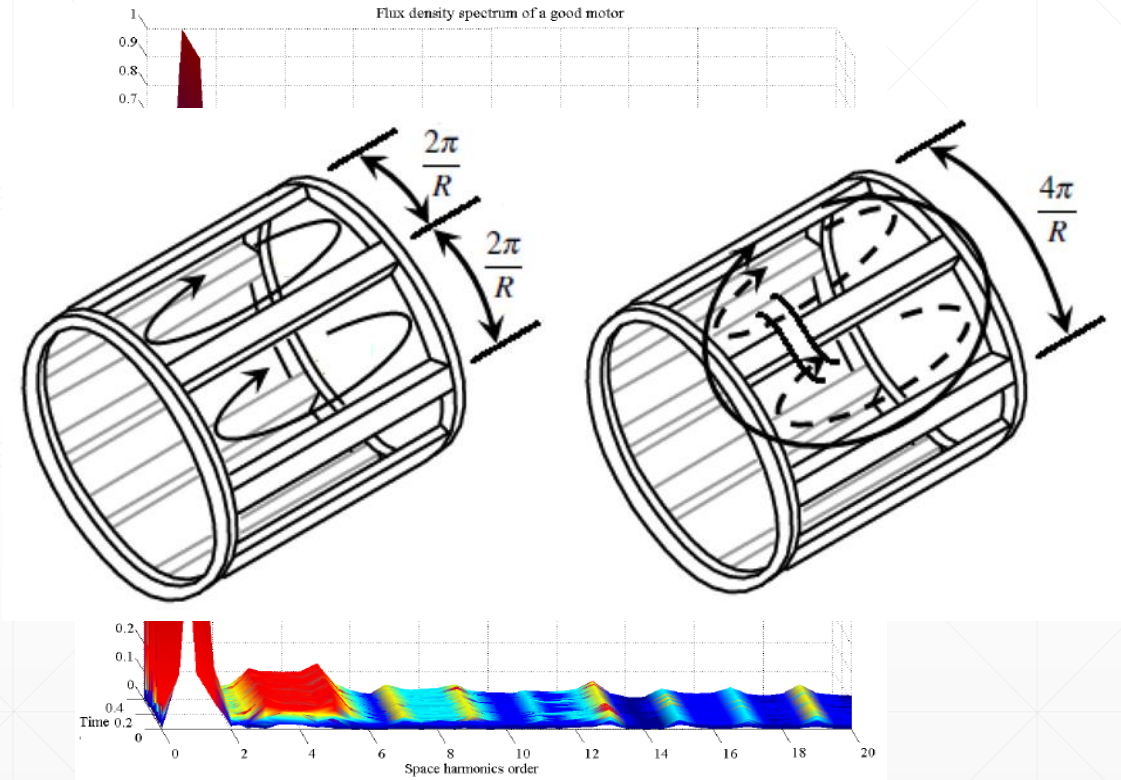
- Menetzárlat az állórész tekercselésben
- Forgórész rúdszakadás (kalickás aszinkron motor esetében)
- Excentrikusan elhelyezkedő forgórész
- Melegedési jelenségek kimutatása illetve lokalizálása

(Szórt mágneses tér vizsgálata)

1. ábra Axiális szórt mágneses tér vizsgálata külső tekerccsel, kép forrása: V. Kokko, “Condition Monitoring of Squirrel-cage Motors by Axial Magnetic Flux Measurements

Rövid szakirodalmi áttekintés 1.

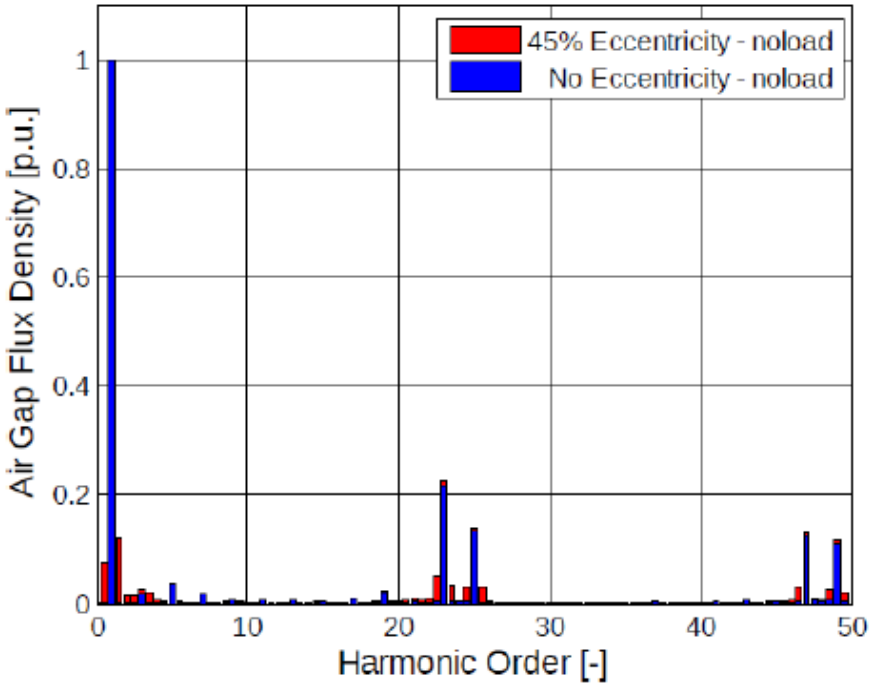
1. Khaled Saad és Galina Mirzaeva cikksorozata a légrésmező közvetlen mérésével elképzelt analízisről.

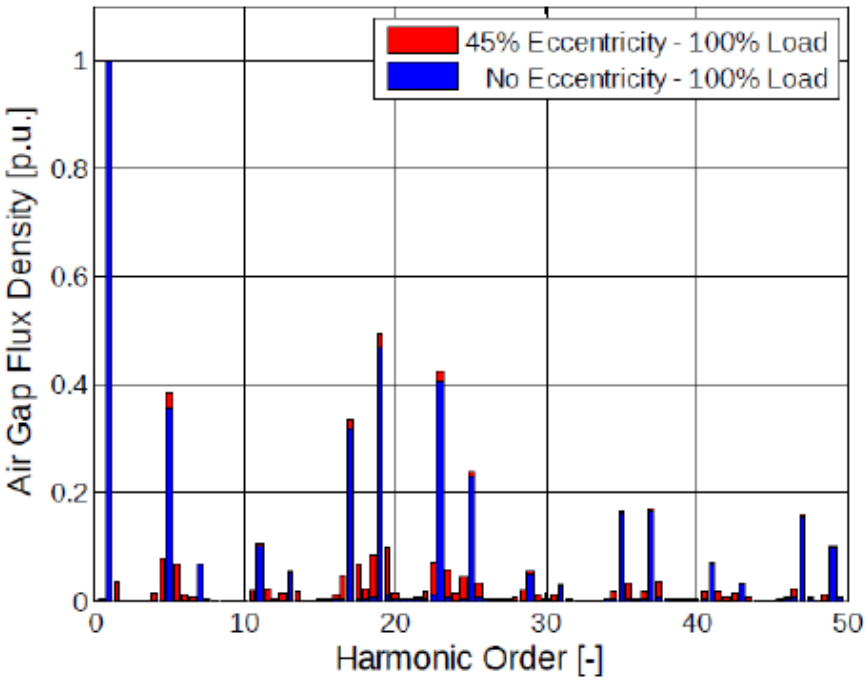


Ábrák forrása: K. Saad, G. Mirzaeva, Fault diagnosis of induction motors by space harmonics analysis of the main air gap flux," Proc. - 2014 Int. Conf. Electr. Mach. ICEM 2014, no. September 2014

Rövid szakirodalmi áttekintés 2.

2. Vladimir Kindl és munkatársainak cikke a légrésben kialakuló mágneses tér hagyományos és végeselemes módszerrel történő modellezéséről valamint excentrikusság és a terhelés hatásairól.





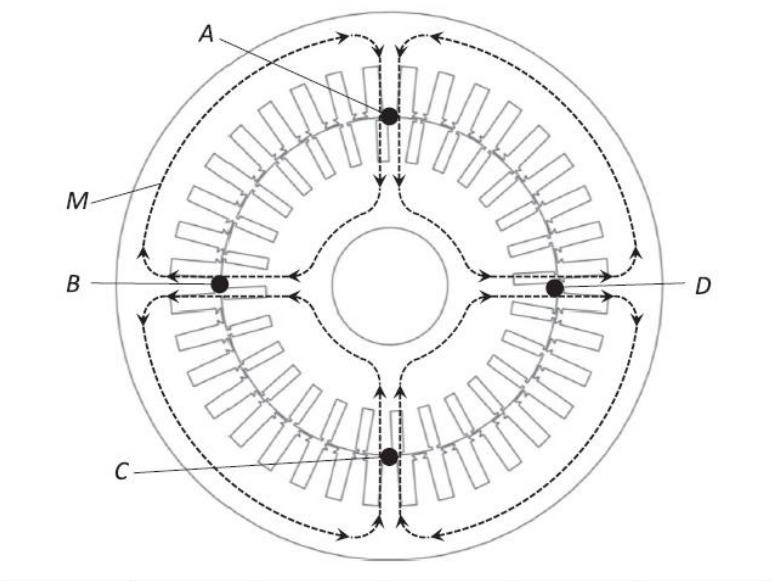
Ábrák forrása: V. Kindl, K. Hruska, J. Sobra, and M. Byrtus, "Effect of induction machine's load and rotor eccentricity on space harmonics in the air gap magnetic flux density," in Proceedings of the 16th International Conference on Mechatronics, Mechatronika 2014

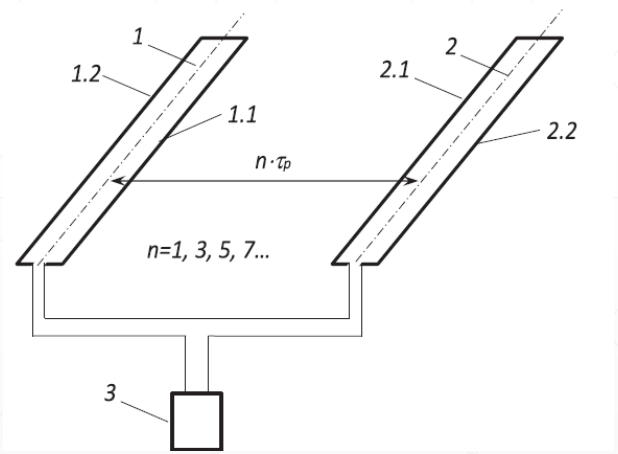
Rövid szakirodalmi áttekintés 3.

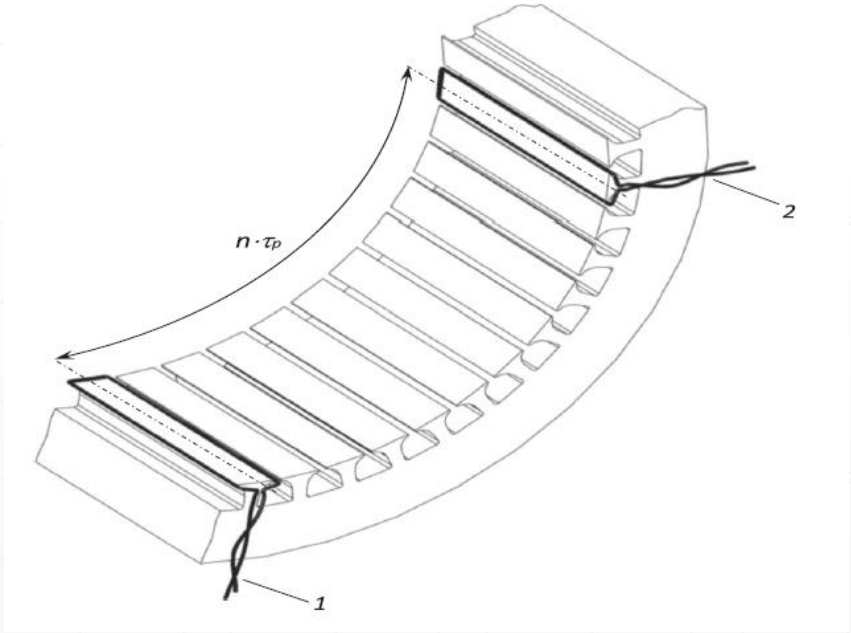
Rotor Cage and Winding Fault Detection Based on Machine Differential Magnetic Field Measurement (DMFM)

Ante Elez, Stjepan Car, Stjepan Tvorić, and Babak Vaseghi

IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 53, NO. 3, MAY/JUNE 2017

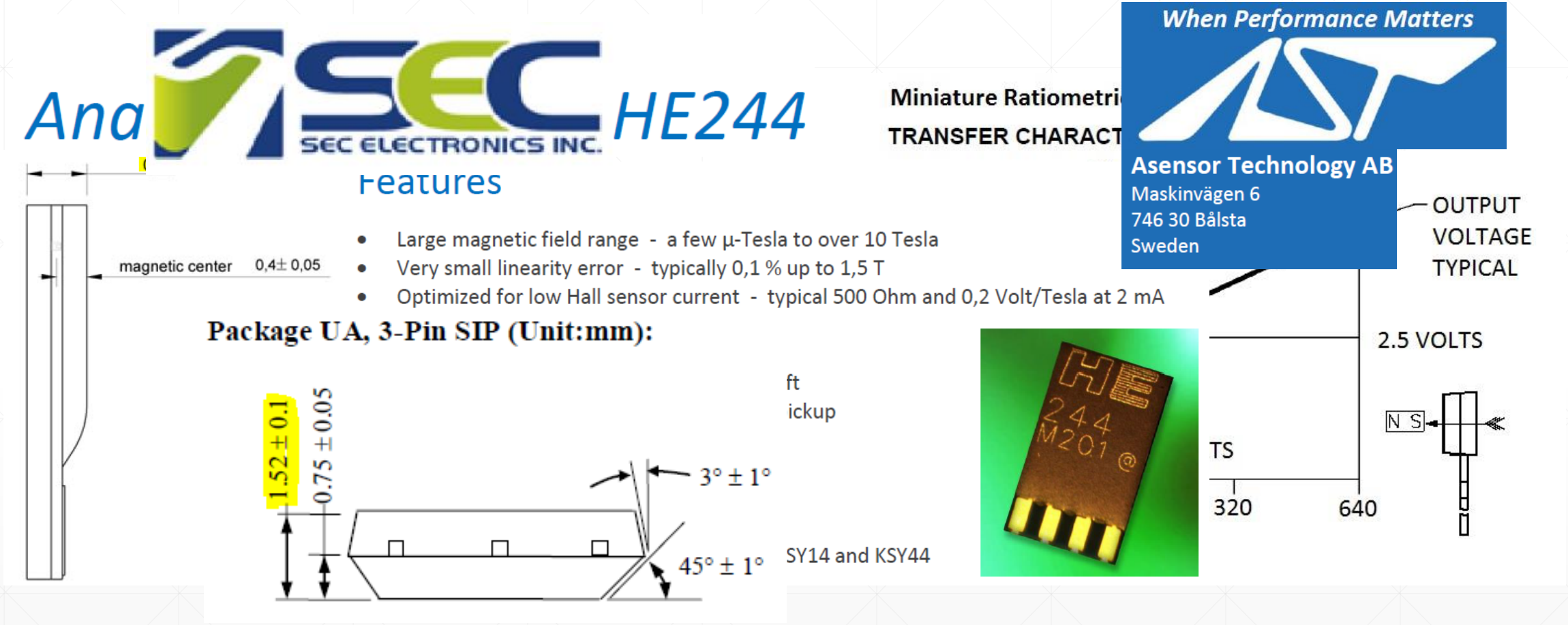






Ábrák forrása: a fenti cikk

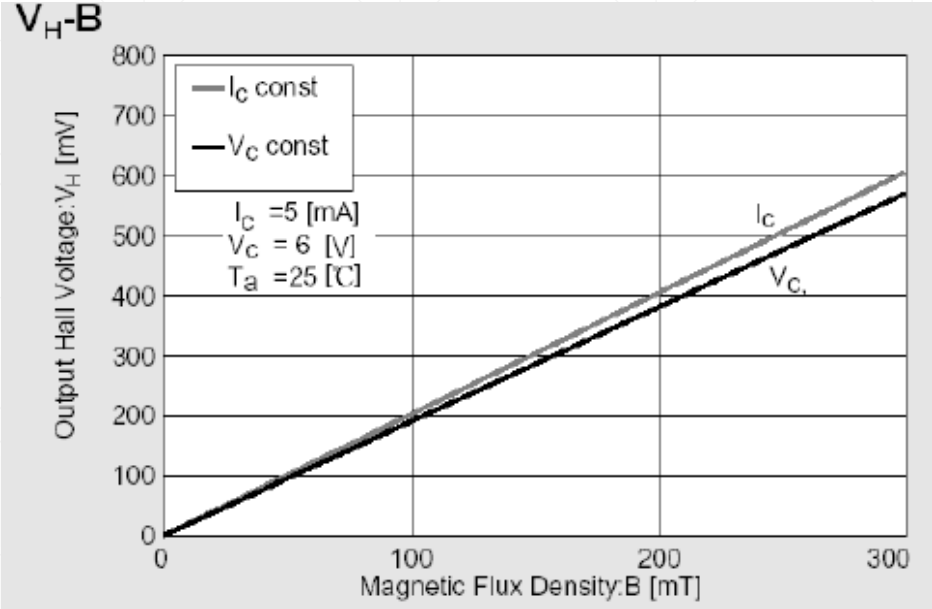
A légrésindukció közvetlen mérésnek eszközei

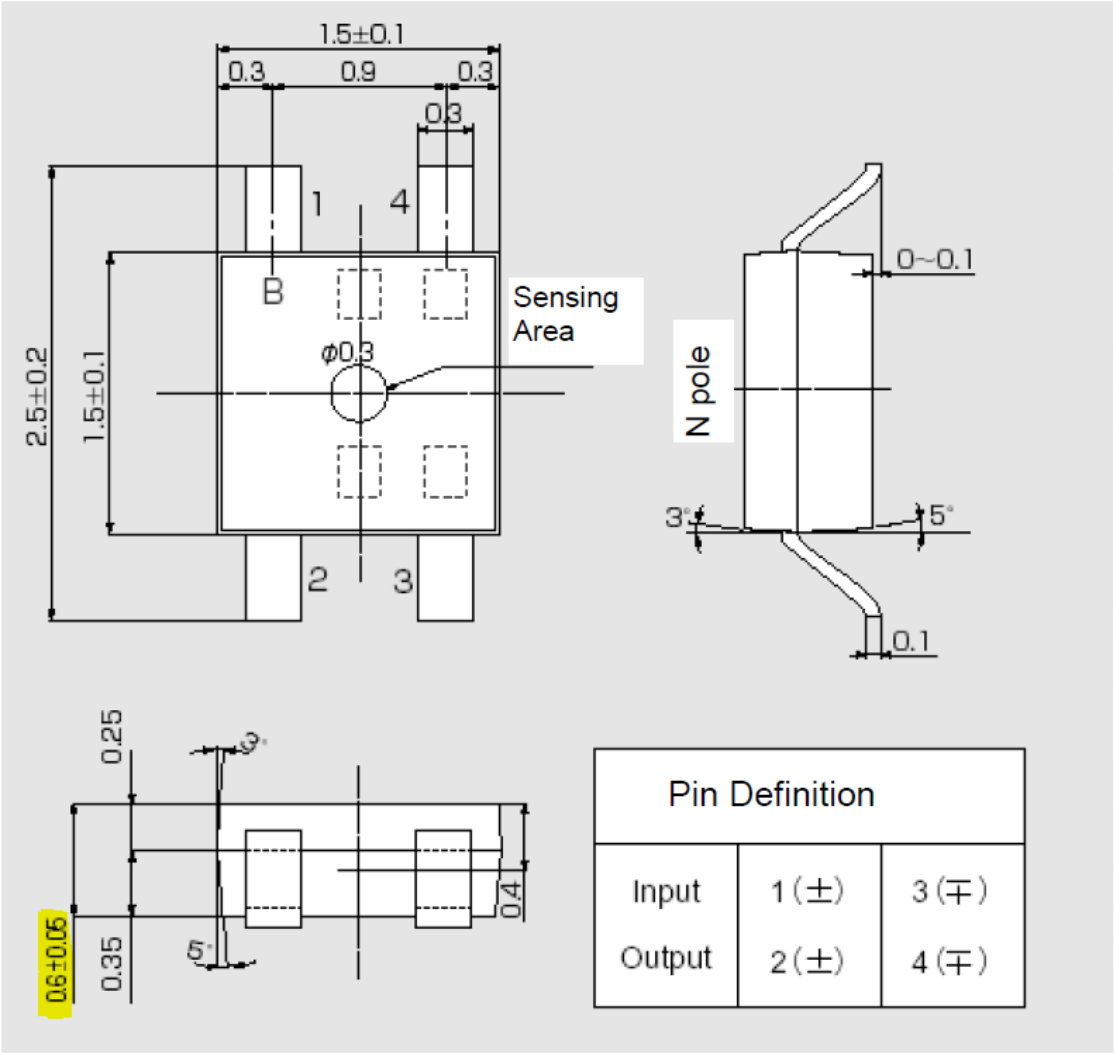


Ábrák forrása: - gyártói katalógus alapján

A légrésindukció közvetlen mérésnek eszközei

ChenYang
Technologies GmbH & Co. KG

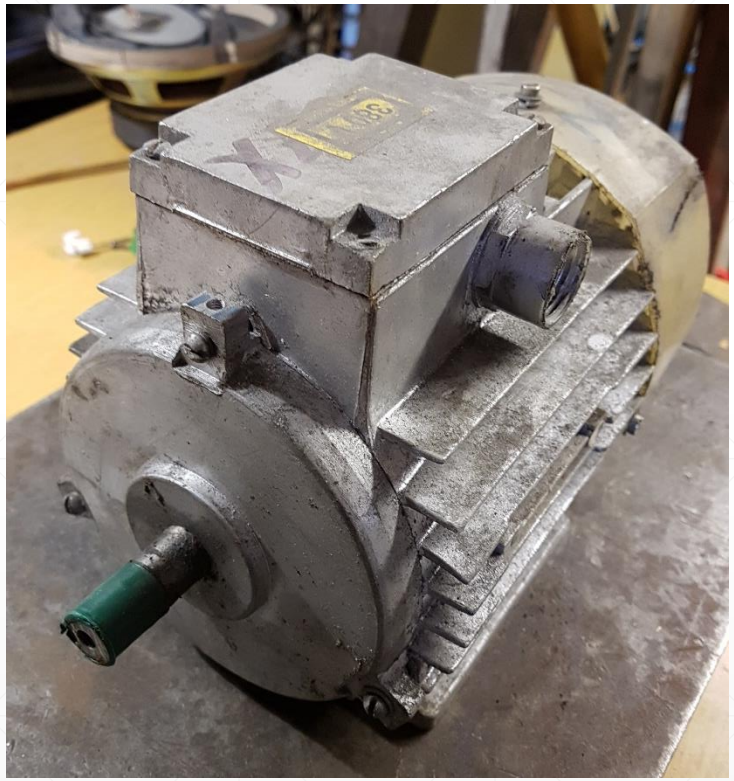




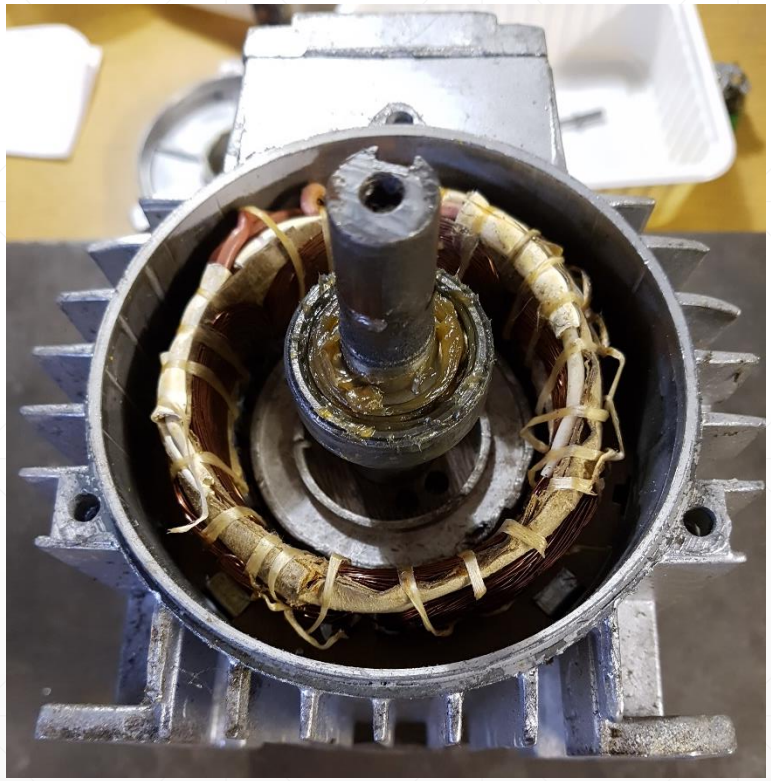
Ábrák forrása: - gyártói katalógus alapján

Saját vizsgálatok és modellek
- I. kiindulás -

A vizsgálatok alapját egy valós, ipari kisméretű kalickás forgórészű 3 fázisú aszinkron motor adta.



$Z_{állór.}$=24, 2p=4, m=3, lépés: 1-6.



Képek: saját készítés

Saját vizsgálatok és modellek
- II. Mit mérünk? -

Általános alakban a gép légrésében lévő mágneses tér erősségét az alábbi összefüggés alapján számíthatjuk a hely és az idő függvényében.

$$H_{(t,\propto)} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \cdot \frac{NI}{\delta} \sum_{c=0}^{c=\infty} \frac{1}{p(6c \pm 1)} \xi_{kv}\, \xi_{rv} \sin[\omega t \pm (6c \pm 1)p \propto]$$

ahol:

N, soros menetek száma,

I, áram [A],

δ, légrés radiális mérete [mm],

c, egész szám,

ξ_{kv}, tekercselési tényező – húrtényező,

ξ_{rv}, tekercselési tényező – eloszlási tényező,

ω, szögsebesség [rad/sec],

p, pólusok száma,

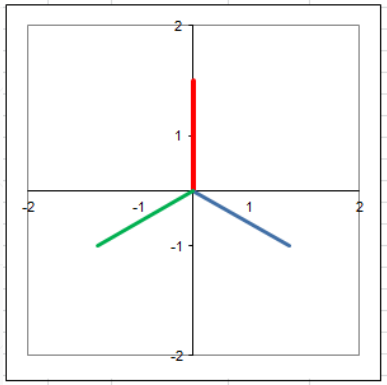
α, kerületi szög a furatban $0<\alpha<2\pi$ tartományban.

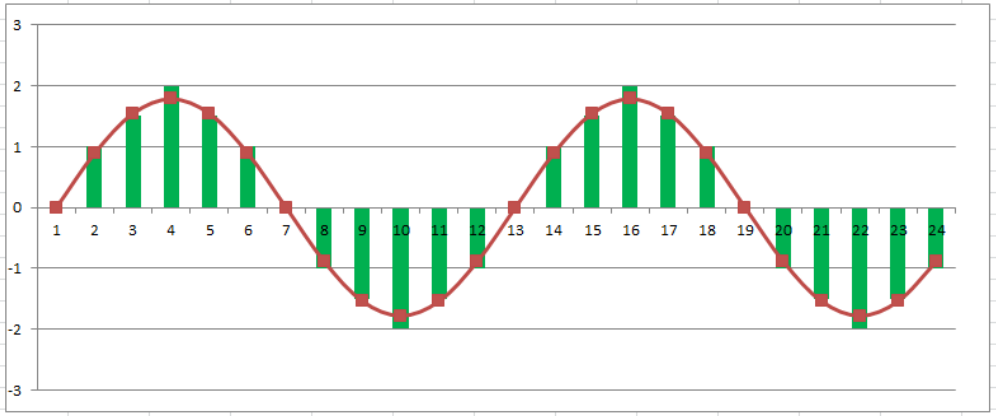
Forrás: B. Heller, V. Hamata, and R. Major, Harmonic field effects in induction machines.

Saját vizsgálatok és modellek
- II. hagyományos megközelítés -

1. Excel táblázatos számolólap segítségével az elméleti lépcsős görbe számítása és megjelenítése

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		2p=	4	0	0	0	0	0	0						
2					0		0.866025		-0.866025						
3			Áramvektor függőleges vetülete:	1		-0.5		-0.5		1		-0.5		-0.5	
4			Áramirányoknak megfelelő szorzó:	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1
5			Lépcsők:	1	1	0.5	0.5	-0.5	-0.5	-1	-1	-0.5	-0.5	0.5	0.5
6			Horonysorszám:	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
7		Z=	24	A	A	C'	C'	B	B	A'	A'	C	C	B'	B'
8															
9			Összeadások	1	2	2.5	3	2.5	2	1	-8.88E-16	-0.5	-1	-0.5	0
10	Átlag	1	Korrigált:	0	1	1.5	2	1.5	1	-8.88E-16	-1	-1.5	-2	-1.5	-1
11			Transzponálás	1	1	0.5	0.5	-0.5	-0.5	-1	-1	-0.5	-0.5	0.5	0.5
12															

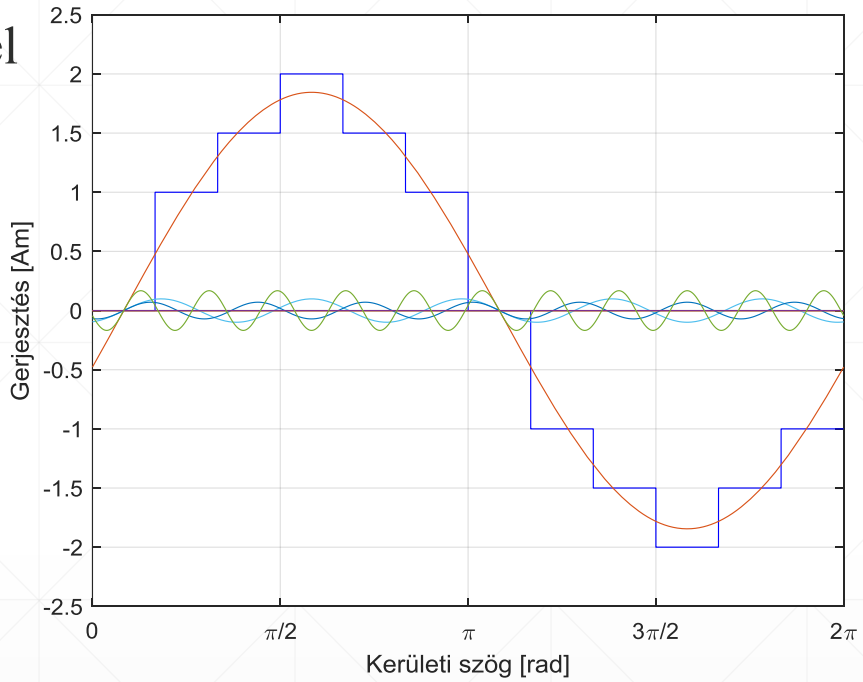




Ábrák forrása: Excel 2016 - saját készítés

Saját vizsgálatok és modellek
- II. hagyományos megközelítés -

2. A kapott lépcsős görbe Fourier analízise Matlab segítségével



$$a_0 = \frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi} f(x)dx$$

$$a_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(x)\cos(nx)dx$$

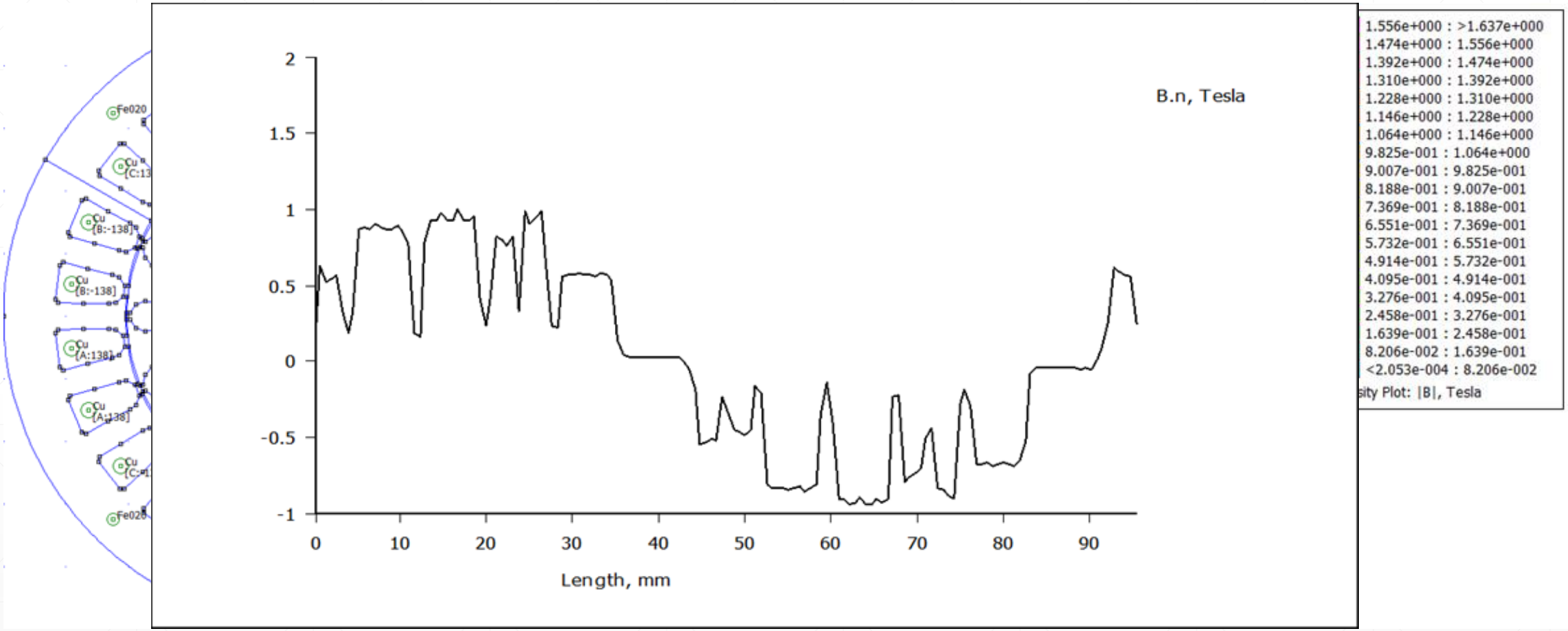
$$b_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} f(x)\sin(nx)dx$$

$$A_n = \sqrt{{a_n}^2 + {b_n}^2}$$

```
a0 = 0

an = [ -3/(2*pi), 0, 0, 0, -3/(10*pi), 0, 3/(14*pi), 0, 0, 0, 3/(22*pi)]

bn = [ ((3*3^(1/2))/2 + 3)/pi, 0, 0, 0, -((3*3^(1/2))/10 - 3/5)/pi, 0, -((3*3^(1/2))/14 - 3/7)/pi,
0, 0, 0, ((3*3^(1/2))/22 + 3/11)/pi]

Harmonikusok_amplitudoi =

   1.8448        0        0        0   0.0989        0   0.0706        0        0        0   0.1677
```

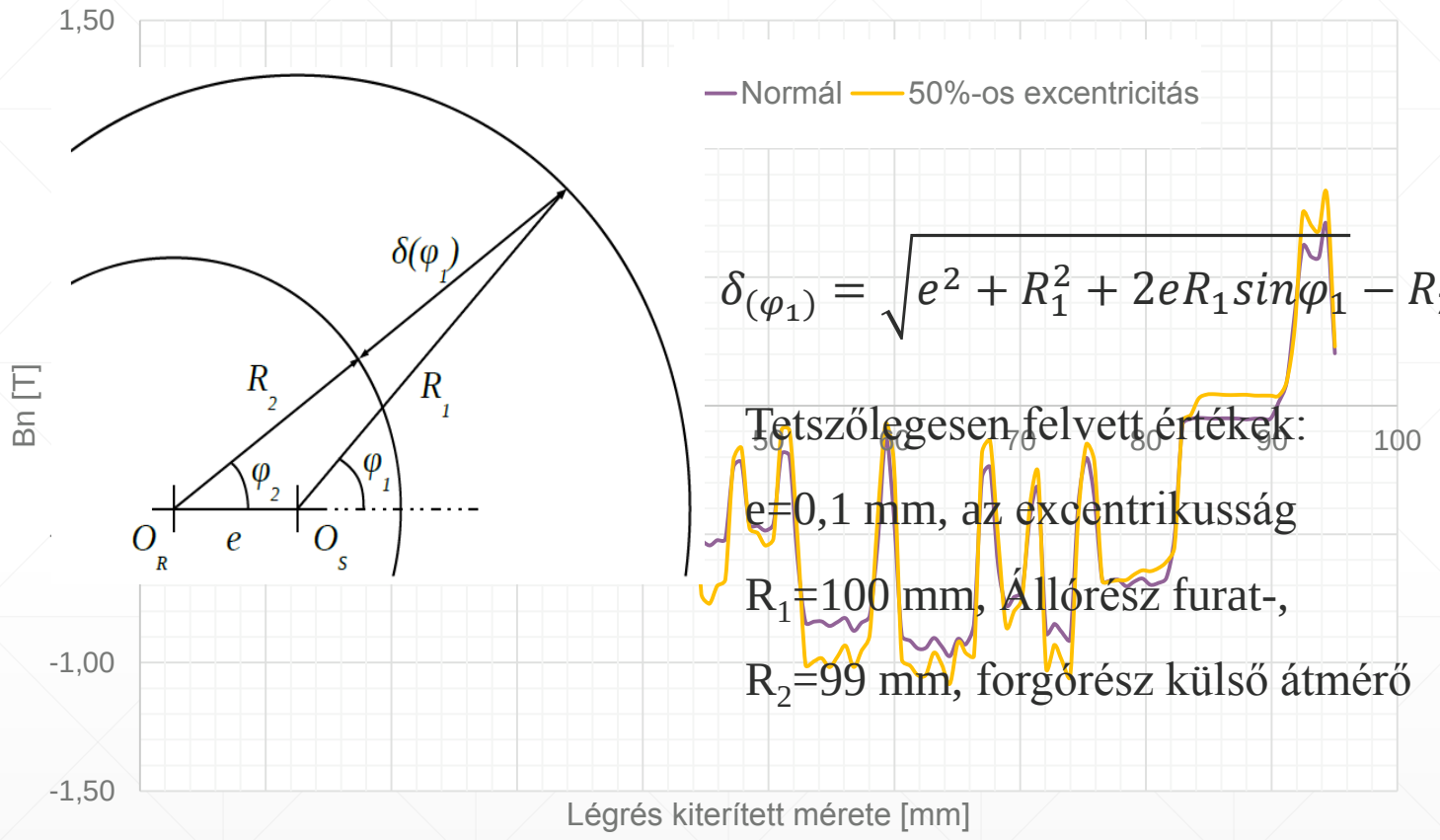
Ábrák forrása: Matlab R2017b - saját készítés

Saját vizsgálatok és modellek
- III. végeselemes vizsgálatok -



Ábrák forrása: FEMM 4.2 - saját készítés

Saját vizsgálatok és modellek
- Excentrikusság -



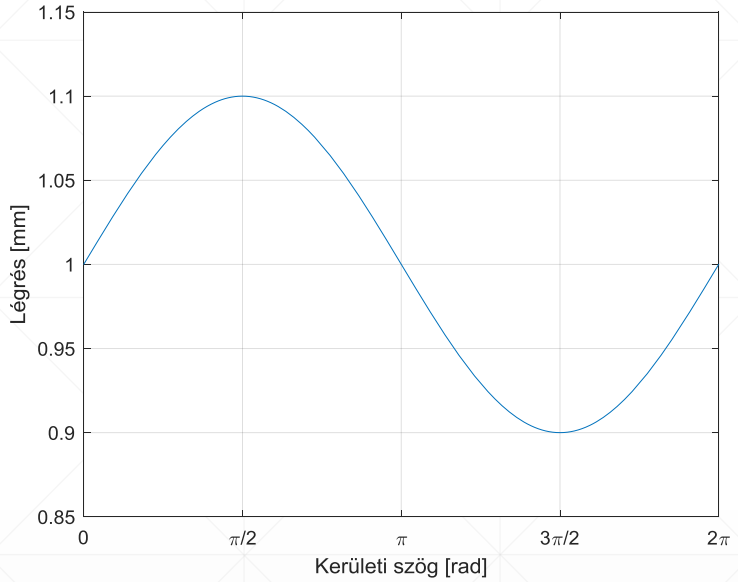
$$\delta_{(\varphi_1)} = \sqrt{e^2 + R_1^2 + 2eR_1 sin\varphi_1} - R_2$$

Tetszőlegesen felvett értékek:

e=0,1 mm, az excentrikusság

R_1=100 mm, Állórész furat-,

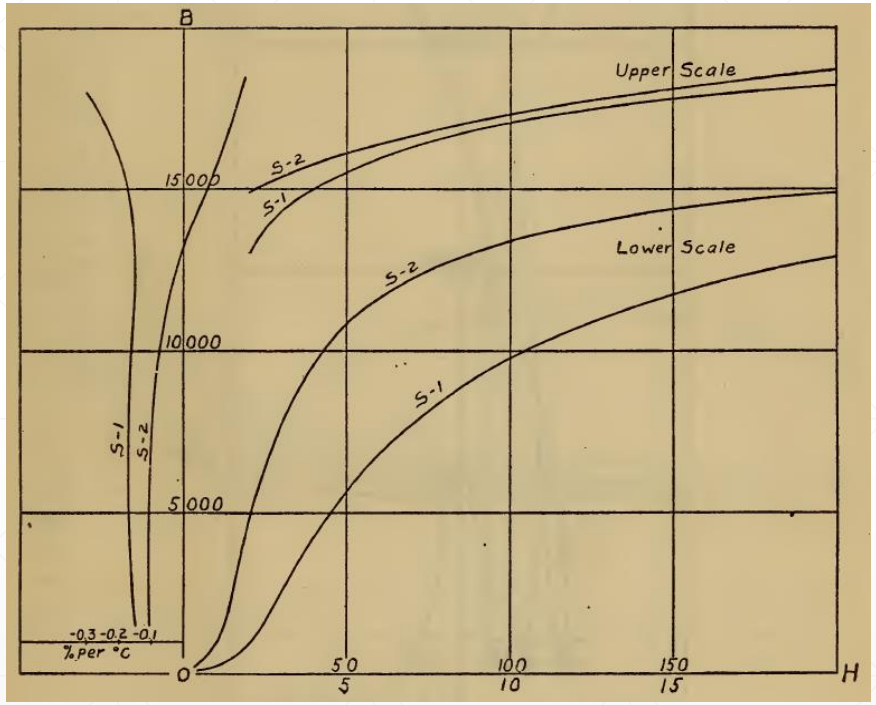
R_2=99 mm, forgórész külső átmérő

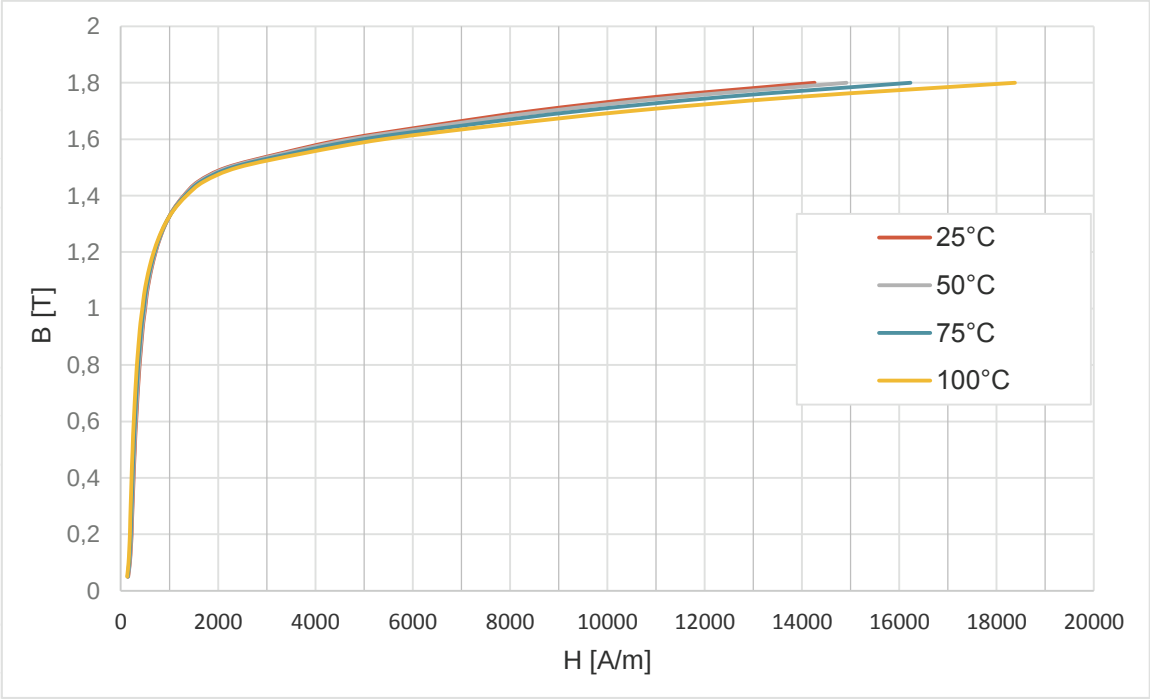


Ábrák forrása: - K. Hruska and V. Kindl, "A comprehensive approach to calculation of the air gap magnetic flux density in induction machines with eccentrically placed rotor," Proc. 16th Int. Conf. Mechatronics, Mechatronika 2014
- Matlab R2017b, FEMM 4.2, Excel 2016 – saját készítés

Saját vizsgálatok és modellek
- Vastest helyi túlmelegedése -

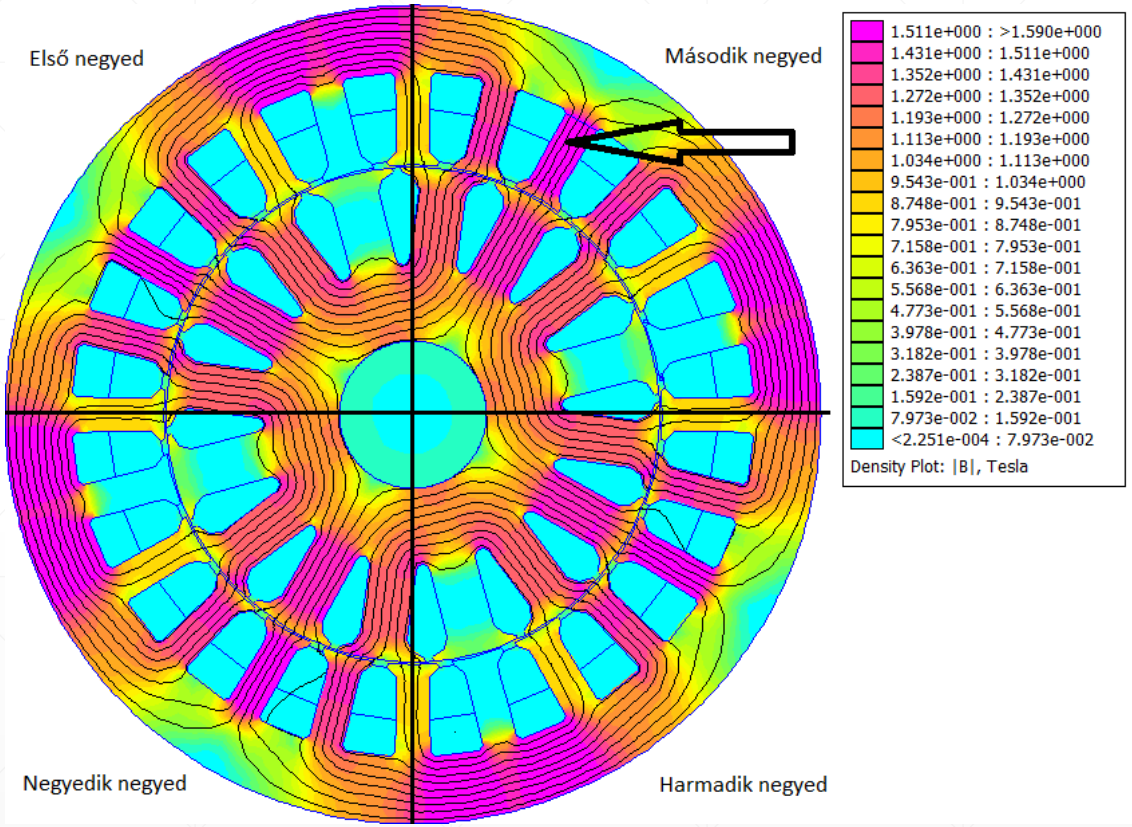
A szigetelőanyagok szempontjából releváns hőmérséklettartományában (0°C < T < 100°C) a permeabilitás változása → B-H görbe módosulása alapján.

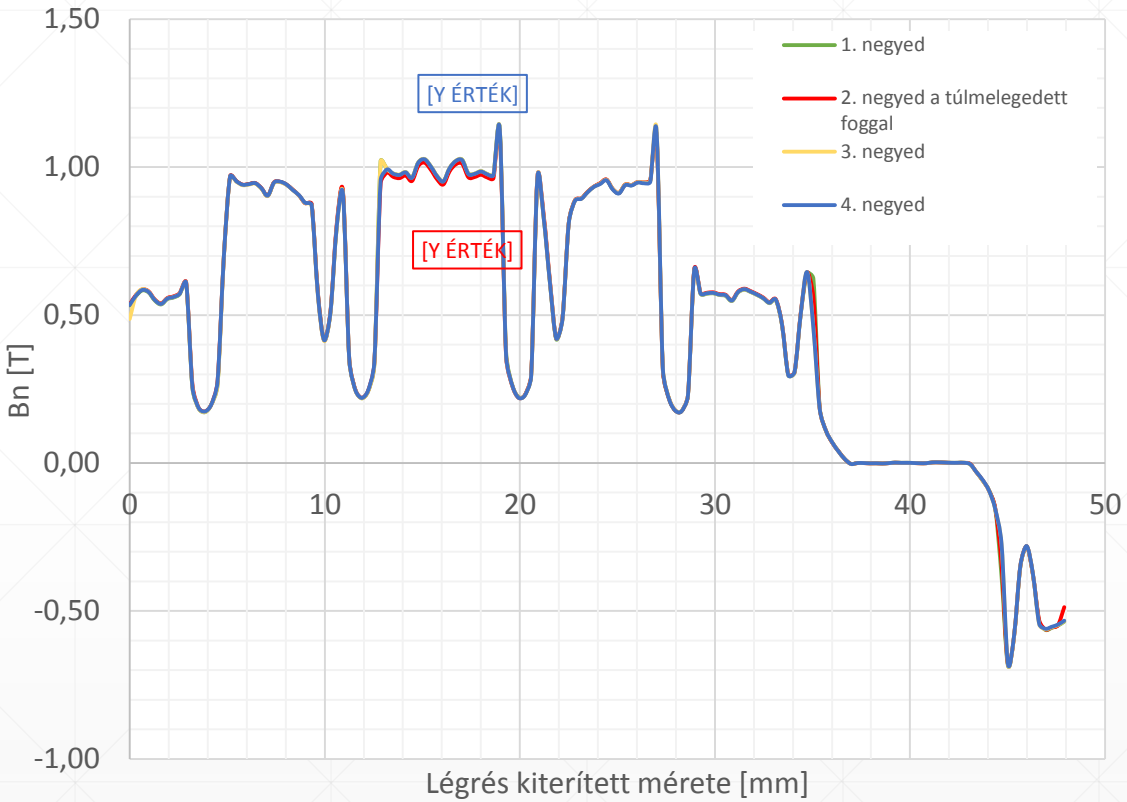




Ábrák forrása: - R. L. Sanford, "Temperature Coefficient of Magnetic Permeability Within the Working Range," Bull. Bur. Stand, 1914.
- Excel 2016 – saját szerkesztés

Saját vizsgálatok és modellek
- Vastest helyi túlmelegedése -

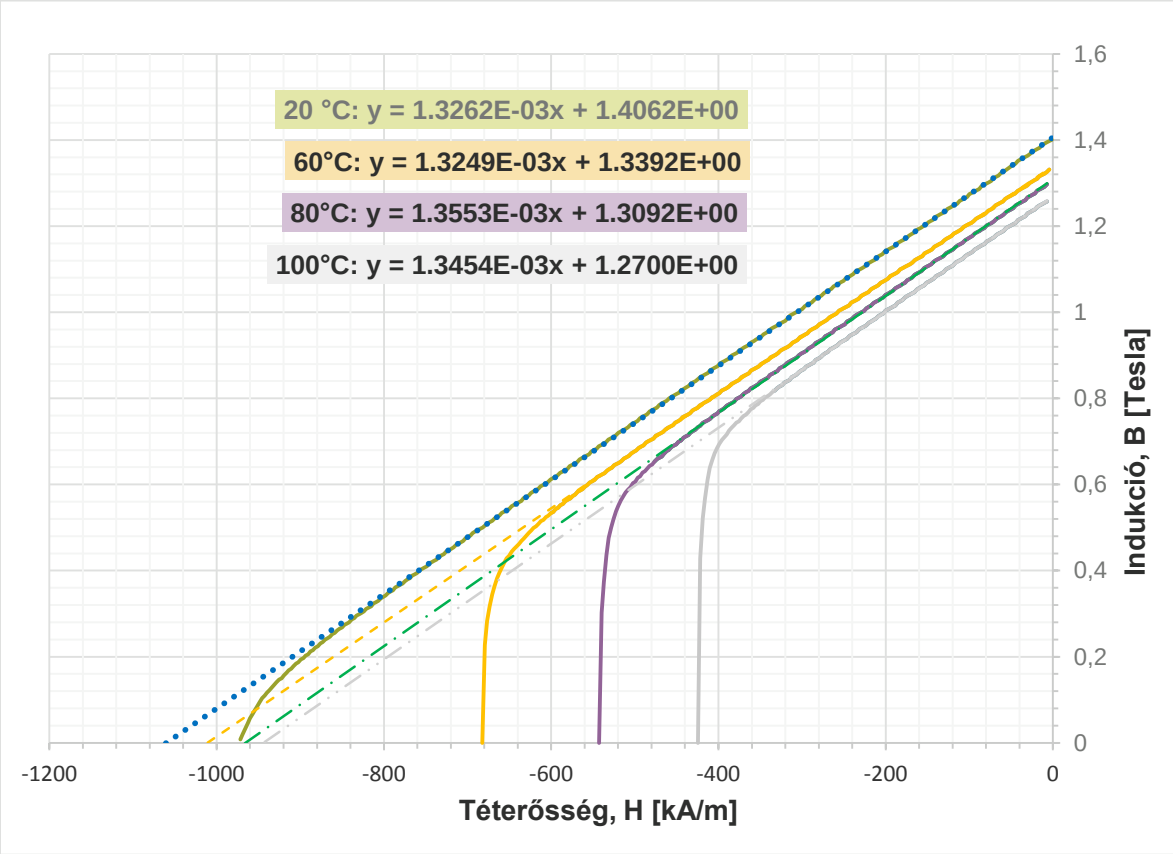


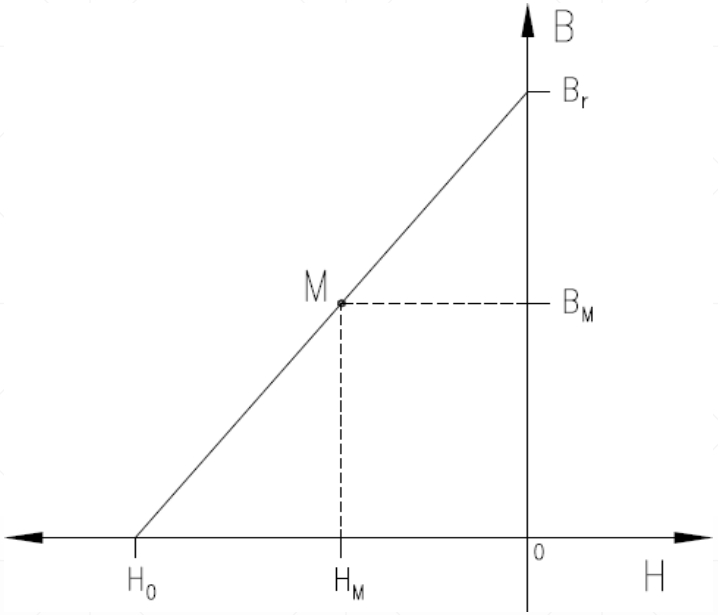


Ábrák forrása: - FEMM 4.2 - saját készítés
- Excel 2016 – saját szerkesztés

A felső, magasabb érték a 25°C-os fogak alatt egy pontban vett indukció értéke, az alsó pedig a 100°C-os túlmelegedett fog alatti indukció érték.
Az eredmény közelítőleg 1%-os légrésindukció csökkenést mutat.

Saját vizsgálatok és modellek
- Áttérés állandómágneses szinkronmotor vizsgálatára -





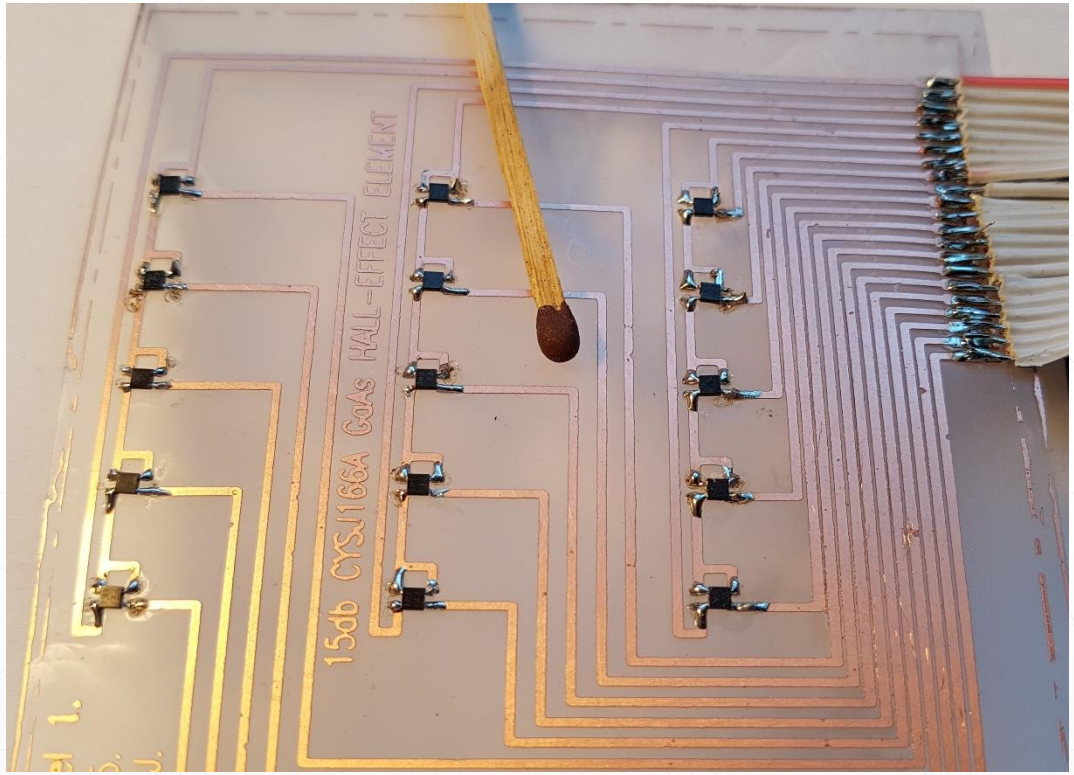
$$B'_\delta = \frac{B_r \cdot l_M}{\sigma \cdot l_M + \mu_r \cdot k_c \cdot k_s{}' \cdot \delta} = \frac{B_r \cdot l_M}{\sigma \cdot l_M + \mu_r \cdot \delta_e{}'}$$

$$= \frac{1{,}406\ T \cdot 5\ mm}{1{,}32 \cdot 5\ mm + 1{,}055 \cdot 4\ mm} = 0{,}6498\ T$$

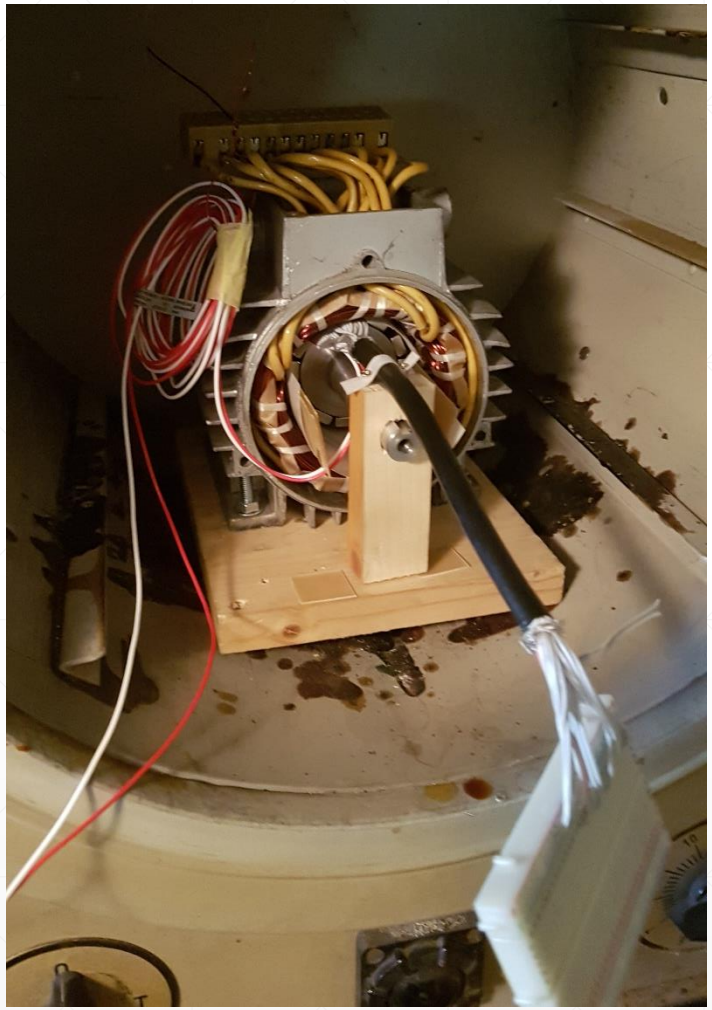
Ábrák forrása: - Excel 2016 – saját szerkesztés
- AutoCAD– saját szerkesztés

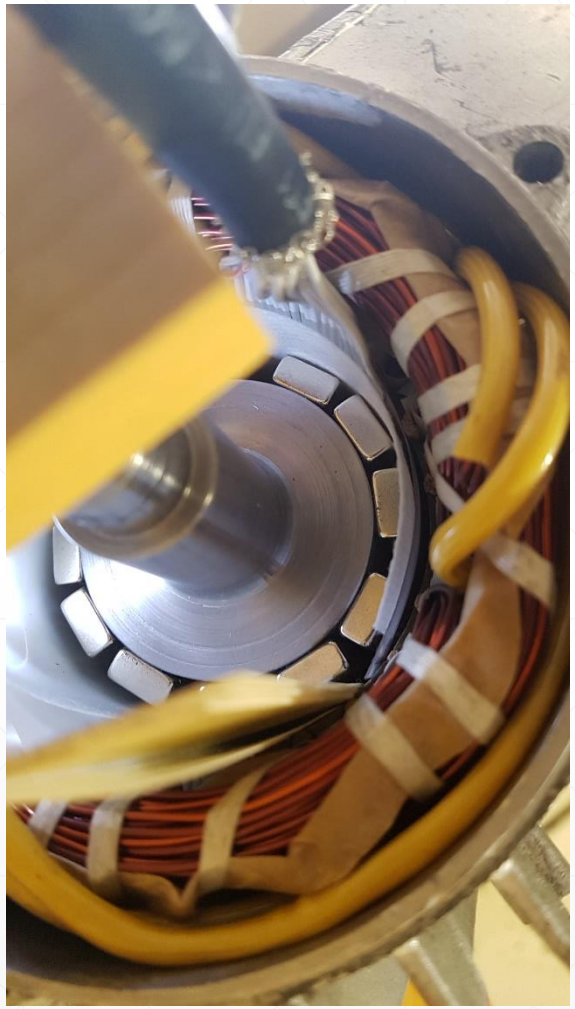
Számítás alapja: D. Basic & J. Varga, Permanens felületmágneses forgórészű szinkron szervomotorok tervezésének irányelvei - Villamosság, 1991

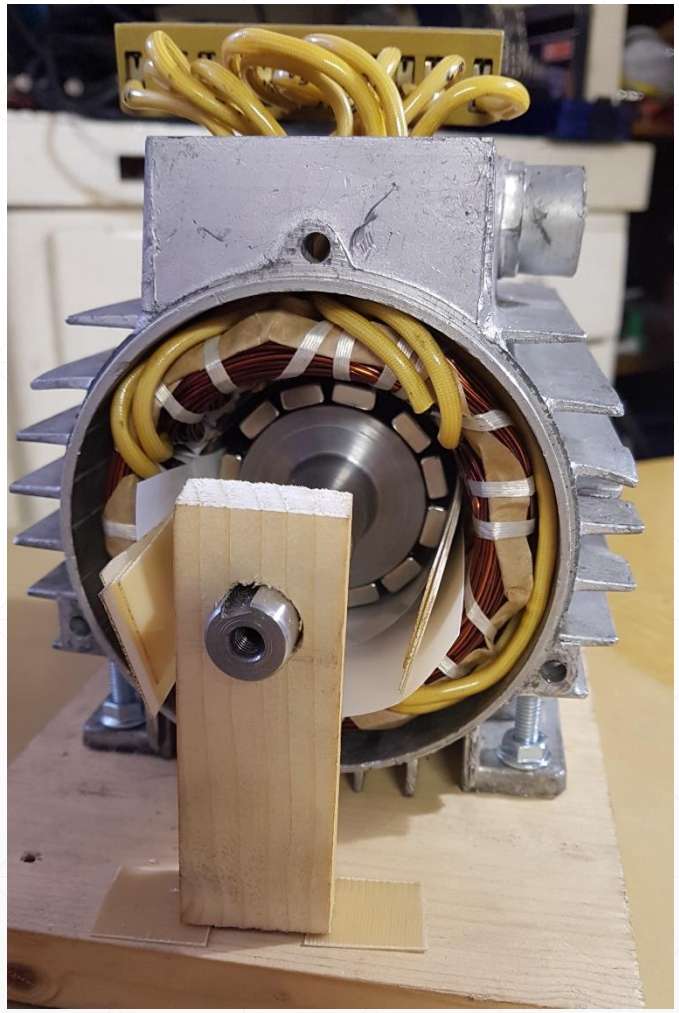
Saját vizsgálatok és modellek
- Áttérés állandómágneses szinkronmotor vizsgálatára -



Saját vizsgálatok és modellek
- Áttérés állandómágneses szinkronmotor vizsgálatára -







Köszönöm a figyelmet!