

# NAPRAVE ZA POKAZIVANJE LENZOVOG PRAVILA POMOĆU NEODIMIJSKOG MAGNETA

Hudek J.<sup>1</sup>, Srpak D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

**Sažetak:** Smjer struje u prstenu kao i polaritet napona na priključnicama zavojnice pri promjeni magnetskog toka određen je Lenzovim pravilom. U članku je objašnjena izrada naprava za pokazivanje Lenzovog pravila koje prikazuju smjer inducirane struje i polaritet inducirane napona primjenom jakog neodimijskog magneta.

**Ključne riječi:** Lenzovo pravilo, naprava, inducirana struja, magnet, prsten

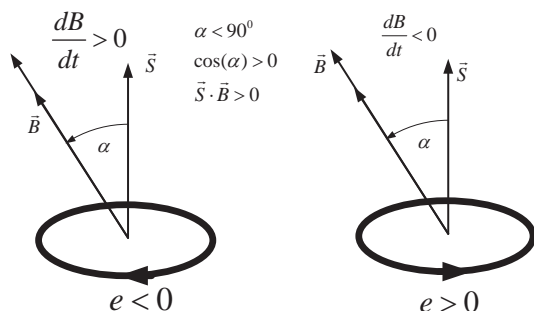
**Abstract:** The direction of current in the ring as well as the polarity of the voltage to the coil connectors when changing the magnetic flux is determined by Lenz's rule. The article explains the production of devices for indicating Lenz's rule, which clearly indicate the direction of induced current and polarity of the induced voltage by applying a strong neodymium magnet.

**Key words:** Lenz's rule, gadgets, induced current, magnet, ring

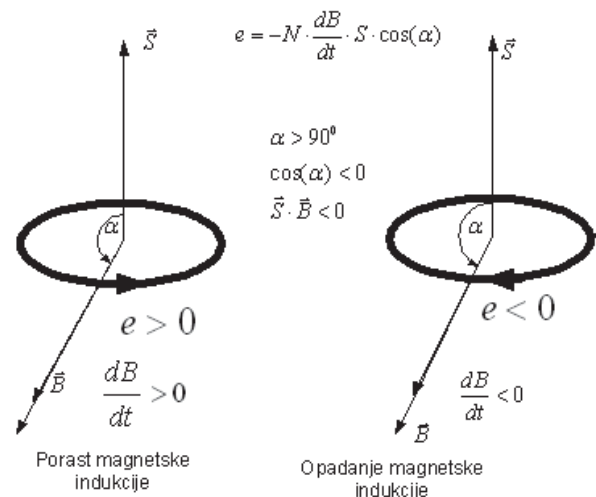
## 1. UVOD

Lenzovo pravilo je jedno od važnijih pravila u elektrotehnici, a objašnjava smjer inducirane struje i nastanak polariteta inducirane napona prilikom elektromagnetske indukcije. Pravilo glasi da je smjer inducirane struje koja je posljedica inducirane EMS u petlji uvijek takav da inducirani magnetski tok kojeg stvara ta struja nastoji spriječiti promjenu magnetskog toka, koji je uzrok inducirane EMS i struje.

Smjer inducirane EMS u zatvorenom prstenu objašnjavaju slike 1. i 2.

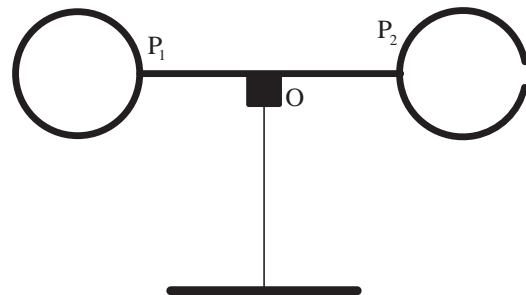


Slika 1. Određivanje smjera inducirane EMS u prstenu pri porastu i smanjenju magnetskog toka kada je  $\vec{S} \cdot \vec{B} > 0$  ( $\alpha < 90^\circ$ )



Slika 2. Određivanje smjera inducirane EMS u prstenu pri porastu i smanjenju magnetskog toka kada je  $\vec{S} \cdot \vec{B} < 0$  ( $\alpha > 90^\circ$ )

Primjenom jakih neodimijskih magneta NdFeB može se prezentirati Lenzovo pravilo napravom čija je skica prikazana na slici 3.



Slika 3. Skica naprave za pokazivanje Lenzovog pravila

Dva bakrena prstena spojena plastičnom polugom mogu se slobodno okretati oko okretišta O. Prsten P<sub>1</sub> je zatvoren (kratko spojen), a prsten P<sub>2</sub> je otvoren i njime ne može teći struja.

Pri pokusu se koristi neodimijski magnet N35/Ni D=20 mm, L=20 mm,  $B_r=0,5$  T

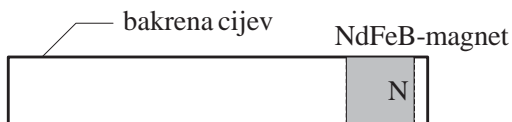
Zbog velike indukcije u odnosu na uobičajene magnete, trenje u okretištu nije poseban problem tako da se može izvesti kugličnim ležajem. Neodimijski magneti (NdFeB) najjači su magneti na Zemlji, poznati i kao magneti treće generacije. Izrađeni su od neodimija, jednog od rijetkih elemenata i jeftinog željeza, NdFeB. Neodimijski

magneti dostupni su u dvije izvedbe: kao sinterirani, s boljim magnetskim svojstvima, te kao metalizirani, sa slabijim magnetskim svojstvima, ali većim izborom veličina i oblika. Površinski mogu biti zaštićeni bakrom, cinkom i niklom.



Slika 4. Neodimijски magneti

Magnet koji je korišten pri napravi za pokazivanje Lenzovog pravila umetnut je u bakrenu cijev kao što prikazuje slika 5. Magnet je upušten u cijev oko 3 mm, čime je onemogućeno „lijepljenje“ magneta za feromagnetike jer naglo privlačenje može mehanički oštetiti magnet.



Slika 5. Neodimijски magnet umetnut u bakrenu cijev

Na taj način je magnet primjereniji za provedbu pokusa. Sam pokus je poznat u teoriji magnetizma, ali se primjenom neodimijских magneta pokus može zornije prezentirati zbog velike magnetske indukcije. Ta promjena rezultira znatno većom induciranom strujom u prstenu, a time i većom silom između magneta i prstena. Zato se okretište može ostvariti kugličnim ležajem, što daje stabilnost okretnom dijelu naprave. Stoga je cilj ovog članka prije svega pokazati konstrukcijsko rješenje naprave koje zorno predočuju Lenzovo pravilo primjenom vrlo jakog neodimijskog magneta.

### Inducirana EMS u prstenu

Za određivanje inducirane EMS u prstenu treba poznavati vremensku promjenu magnetskog toka unutar prstena. Zato je potrebno izmjeriti magnetsku indukciju T-metrom na osi i ravnini prstena. Mjerenje je obavljeno tako da se u os i ravninu prstena postavi Hallova sonda T-metra, te se na jednakim udaljenostima neodimijskog magneta od prstena na intervalu (0-30) mm izmjeri magnetska indukcija. Ako se magnet izvlači jednolikom brzinom, svakoj udaljenosti na kojoj je obavljeno mjerenje indukcije pripada određeno vrijeme.

t(s)	0	0,167	0,33	0,5	0,67	0,83	1
B(T)	0,51	0,44	0,26	0,16	0,11	0,07	0,05

Tablica 1.  $B = f(t)$  -udaljavanje magneta

Rezultati mjerenja se mogu prikazati sljedećim polinomom: (Graphmatica)

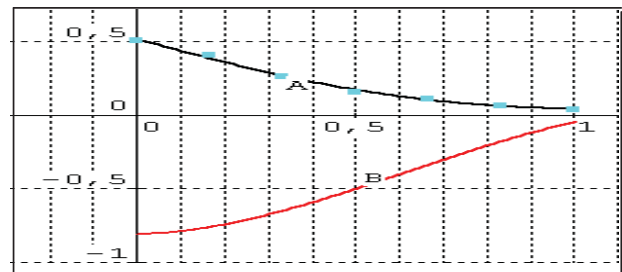
$$B(t) = -0,2031 \cdot t^4 + 0,5021 \cdot t^3 + 0,0321 \cdot t^2 - 0,8074 \cdot t + 0,5208 \quad (1)$$

U trenutku  $t_0 = 0$  magnet se nalazi u ravnini prstena i magnetska indukcija u prstenu iznosi  $B(0) = 0,5208$  T (približno rezultat mjerenja).

Unutarnji promjer prstena je  $D_{pu} = 34$  mm, što znači da je površina prstena jednaka

$$S = \frac{D_{pu}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{(30 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \pi}{4} = 7,0686 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Grafovi funkcija  $B(t)$  i  $\frac{dB}{dt}$



Slika 6. A)  $B(t)$ ; B)  $\frac{dB}{dt}$  -udaljavanje magneta od prstena

$$\frac{dB}{dt} = -0,8124 \cdot t^3 + 1,51 \cdot t^2 + 0,0642 \cdot t - 0,8074$$

Inducirani napon ili EMS se u svakom trenutku može odrediti prema izrazima:

$$u_{ind} = N \cdot S \cdot \frac{dB}{dt}; e = -N \cdot S \cdot \frac{dB}{dt} \quad (2)$$

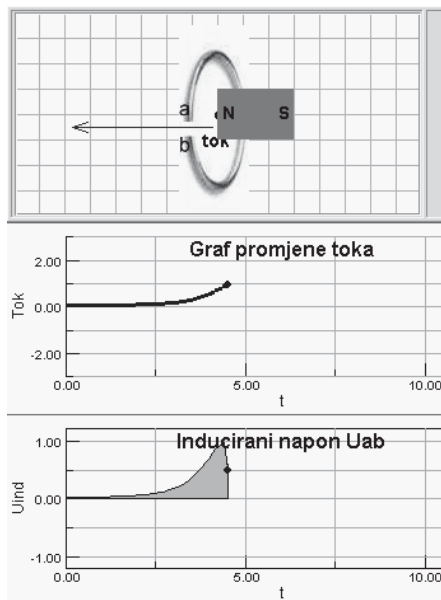
Za prsten vrijedi da je  $N = 1$ .

Tako je npr. u vremenu  $t = 0,1$  s iznos inducirano napona jednak:

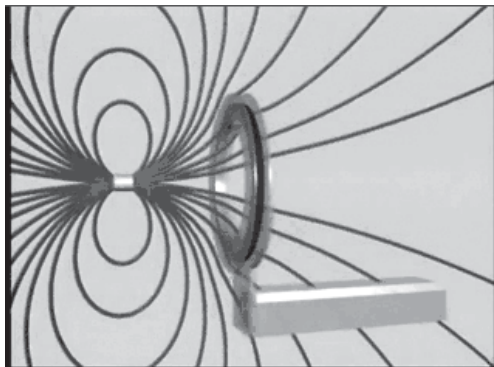
$$t=0,1; S=7,0686e-4;$$

$$U_{ind} = S \cdot (-0,8124 \cdot t^3 + 1,51 \cdot t^2 + 0,0642 \cdot t - 0,8074)$$

$$U_{ind} = -5,5608e-004 \text{ V} = -556 \text{ } \mu\text{V}.$$



Slika 7. Promjena magnetskog toka i induciranog napona pri približavanju magneta prstenu



Slika 8. Magnetski tok unutar i izvan prstena

Iz slike je vidljivo da se približavanjem magneta prstenu sve veći broj silnica zatvara unutar prstena. To znači da se gibanjem magneta ostvaruje promjena magnetskog toka, a što ima za posljedicu induciranu EMS u prstenu.

To znači da prilikom uvlačenja magneta prstenom poteče struja kao posljedica inducirane EMS u prstenu. Iznos struje je znatan jer je otpor prstena mali. U našem slučaju iznosi:

$$R_1 = 17e-3; R_2 = 18e-3; r_0 = 0.0175e-6; a = 8e-3;$$

$$R_{pr} = r_0 \cdot \pi \cdot (R_1 + R_2) / (a \cdot (R_2 - R_1))$$

$$R_t = 2 \cdot \pi \cdot r_0 / (a \cdot \log(R_2 / R_1))$$

Otpor prstena računat po približnom i točnom izrazu

$$R_{pr} = 2.4053e-004 \approx 240 \mu\Omega$$

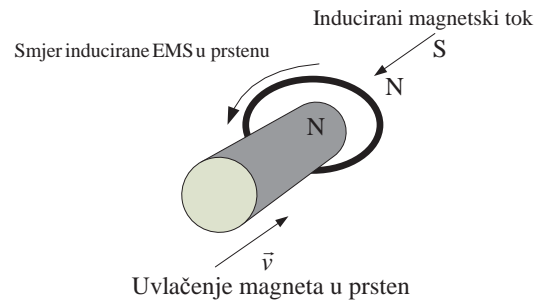
$$R_t = 2.4046e-004 \approx 240 \mu\Omega$$

Na osi prstena i u ravnini prstena ta struja ostvari magnetsku indukciju

$$B_p = \frac{i \cdot \mu_0}{D_p} \quad (T) \quad (3)$$

$B_p$  je inducirana magnetska indukcija na osi i ravnini prstena, a vektor te magnetske indukcije je shodno Lenzovom pravilu suprotno orijentiran od vektora magnetske indukcije neodimijskog magneta kojim je

izazvana promjena magnetskog toka. Inducirani magnetski tok nastoji pri uvlačenju spriječiti promjenu (rast) magnetskog toka neodimijskog magneta.

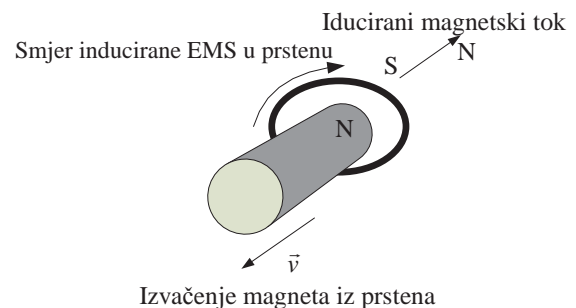


Slika 9. Inducirana EMS u prstenu pri uvlačenju magneta

Iz slike se vidi da se neodimijski magnet i prsten odbijaju (prsten „bježi“ od neodimijskog magneta - istoimeni magnetski polovi se odbijaju).

Sada se može odrediti smjer inducirane EMS u prstenu. Ispruženi palac postavimo paralelno s induciranim magnetskim tokom tako da pokazuje njegovu orijentaciju, a savijeni prsti pokazuju smjer inducirane EMS u prstenu.

U skladu s Lenzovim pravilom, pri izvlačenju magneta inducirani magnetski tok se opet suprotstavlja promjeni magnetskog toka neodimijskog magneta. Promjena toka sada nastupa zbog smanjivanja toka unutar prstena, pa inducirani tok ima istu orijentaciju kao i tok neodimijskog magneta.



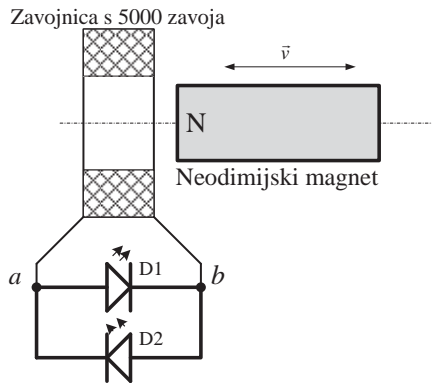
Slika 10. Inducirana EMS u prstenu pri izvlačenju magneta

Vidi se da je smjer inducirane EMS sada suprotno orijentiran u odnosu na stanje pri uvlačenju magneta. Kako se suprotni magnetski polovi privlače, prsten će pri izvlačenju neodimijskog magneta „ići“ za njim.

Ako se uvlačenje i izvlačenje magneta izvede razrezanim prstenom, opisanih efekata nema jer prstenom ne može poteći struja kao posljedica inducirane EMS pa nema ni induciranog toka. Zbog toga između neodimijskog magneta i prstena nema sile i prsten miruje pri uvlačenju i izvlačenju magneta. Polaritet induciranog napona na otvorenom prstenu se mijenja pri uvlačenju i izvlačenju magneta, opet u skladu s Lenzovim pravilom.

Mijenjanje polariteta pri uvlačenju i izvlačenju magneta može se provjeriti napravom 2 na sljedeći način.

**Naprava 2**



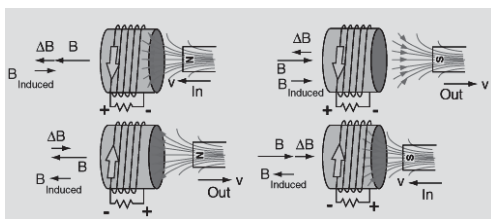
Slika 11. Naprava za određivanje polariteta inducirano napona

Ako se na zavojnicu s velikim brojem zavoja priključe dvije LED diode u antiparalelnom spoju kao što prikazuje slika, moguće je pokazati da se polaritet inducirano napona u zavojnici mijenja pri uvlačenju i izvlačenju magnetu sukladno Lenzovom pravilu. Naime, pri uvlačenju magnetu zasvijetli jedna dioda, a pri izvlačenju druga. Budući da dioda može zasvijetliti samo ako se na anodi pojavi + pol, proizlazi da se polaritet inducirano napona mijenja pri uvlačenju i izvlačenju magnetu.

Pri promjeni magnetske indukcije od  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0,5 \frac{T}{s}$  lako se može ostvariti inducirani napon oko 2 V u zavojnici koja ima promjer oko  $D = 30 \text{ mm}$  i 5000 zavoja. To je dovoljno da dioda intenzivno zasvijetli i na taj način definira polaritet inducirano napona.

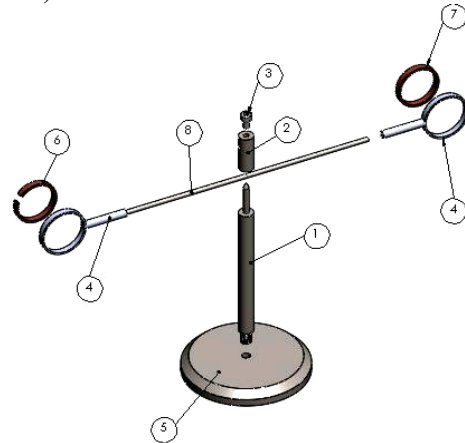


Slika 12. Naprava za određivanje polariteta inducirano napona



Slika 13. Formiranje polariteta kod približavanja i udalžavanja magnetu

**Opis izrade naprave za pokazivanje Lenzovog pravila (slika 14.)**



Slika 14. Dijelovi naprave za pokazivanje Lenzovog pravila

Glavni dio naprave su dva bakrena prstena (6,7) od kojih je jedan „zatvoren“ (7), a drugi otvoren (6). Poluga (8) na koju su pričvršćeni prsteni je plastična tako da magnet na nju ne djeluje. Okretište (2) je izvedeno tako da se što više izbjegne trenje (vidi sliku 14.), iako zbog jakog neodimijskog magnetu trenje nije kritično za funkcioniranje naprave. Nosač poluge (1) i samo postolje (5) je izrađeno od nehrđajućeg čelika. Postolje je izvedeno dosta masivno, što cijeloj napravi daje stabilnost. Nosač poluge i sama poluga su rastavljivi tako da se cijela naprava može rastaviti i spremiti u kutiju. To pokazuje slika 15.



Slika 15. Naprava u kutiji

Ovako izgleda sastavljena naprava



Slika 14. Izgled naprave pripremljene za pokus

### Izvedba okretišta naprave s kugličnim ležajem



Slika 15. Izvedba naprave s kugličnim ležajem

### 4. LITERATURA

- [1] Kuzmanović, B. Osnove elektrotehnike I i II. Element : Zagreb, 2004.
- [2] Pinter, V. Osnove elektrotehnike I i II. Tehnička knjiga : Zagreb, 1994.
- [3] [www.artas.hr](http://www.artas.hr)  
<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>

#### **Kontakti:**

Josip Huđek, dipl. ing.  
Križanićeva 33, 42000 Varaždin  
Tel: 099/317 3218  
e-mail: [josip.hudjek@velv.hr](mailto:josip.hudjek@velv.hr)

Dunja Srpak, dipl. ing.  
Križanićeva 33, 42000 Varaždin  
Tel: 099/317 3218  
e-mail: [dunja.srpak@velv.hr](mailto:dunja.srpak@velv.hr)