

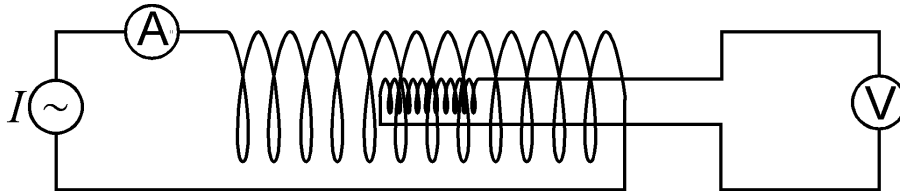
FP1–V8. Magnetska indukcija

Ključni pojmovi

Magnetsko polje zavojnice, magnetski tok, Faradayjev zakon indukcije

I. TEORIJSKI UVOD

U ovoj vježbi proučavat ćemo Faradayjev zakon indukcije na primjeru induciranog napona u zavojnici koja se nalazi u vremenski promjenjivome magnetskom polju. Promatrat ćemo napon induciran u maloj zavojnici koja je uložena u veliku zavojnicu čije je polje homogeno u prostoru, ali vremenski promjenjivo (Slika 1).



Slika 1: Shema sklopa za proučavanje magnetske indukcije.

Velika zavojnica napaja se strujom iz generatora izmjeničnog signala promjenjive frekvencije:

$$I = I_0 \sin \omega t \quad (1)$$

Polje u njoj određeno je strujom I , gustoćom zavoja $n = N/L$ i geometrijom zavojnice:

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (2)$$

gdje su θ_1 i θ_2 kutovi pod kojima se "vide" otvori zavojnice s mjesta na kojem promatramo polje. Za točku u središtu zavojnice, vrijedi $\theta_1 = \pi - \theta_2$ pa možemo pisati:

$$\cos \theta_1 = -\cos \theta_2 = \frac{L/2}{\sqrt{(L/2)^2 + b^2}} \quad (3)$$

gdje je L duljina zavojnice, a b njezin polumjer. Slijedi da je polje u središtu zavojnice jednako:

$$B = \mu_0 n I \frac{L/2}{\sqrt{(L/2)^2 + b^2}} \quad (4)$$

Ako je zavojnica mnogo dulja od svojeg promjera, možemo zanemariti b^2 u prethodnoj jednadžbi pa za polje u njezinu središtu približno vrijedi izraz za beskonačnu zavojnicu:

$$B = \mu_0 n I = \mu_0 I \frac{N}{L} \quad (5)$$

To polje usmjereno je duž osi zavojnice i prilično je homogeno tako dugo dok se ne približimo krajevima. Budući da je struja I izmjenična, polje B mijenja se u vremenu:

$$B(t) = \mu_0 \frac{N}{L} I_0 \sin \omega t \quad (6)$$

Ako je u središte velike zavojnice umetnuta mala zavojnica poprečnog presjeka A i broja zavoja N_z , magnetski tok kroz jedan njezin zavoj jednak je: $\Phi_1 = BA$, što znači da je ukupan tok kroz N_z zavoja male zavojnice:

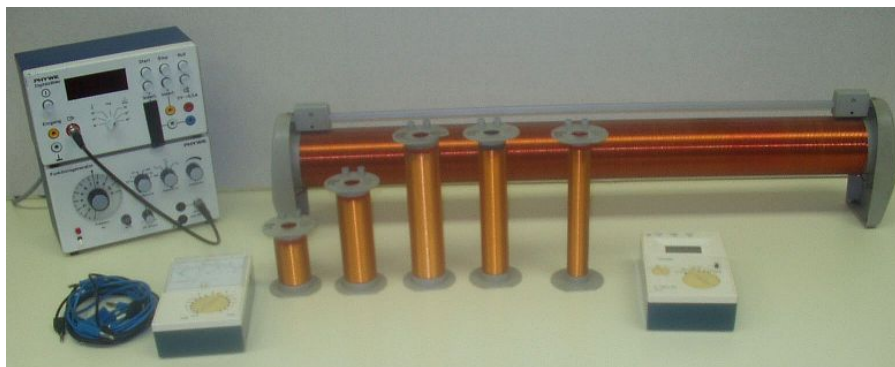
$$\Phi = BAN_z \quad (7)$$

Faradayjev zakon indukcije kaže nam da će inducirani napon na krajevima male zavojnice iznositi:

$$U = -\frac{d\Phi}{dt} = -\mu_0 \frac{N}{L} AN_z I_0 \omega \cos \omega t \quad (8)$$

Uočavamo da će uz istu amplitudu struje kroz veliku zavojnicu, napon induciran u maloj zavojnici ovisiti o frekvenciji izmjenične struje te o broju zavoja i poprečnom presjeku male zavojnice.

II. MJERNI UREĐAJ I MJERENJE



Slika 2: Elementi mjernog postava.

Mjerni uređaj (Slika 2) sastoji se od generatora izmjeničnog signala, mjerača frekvencije, ampermetra, voltmetra, velike zavojnice i pet malih zavojnica. Gustoća zavoja velike zavojnice iznosi $n = N/L = 485 \text{ m}^{-1}$. Tri male zavojnice imaju po 300 zavoja ($N_z = 300$), a njihovi promjeri ($2r$) jesu 41 mm, 33 mm i 26 mm. Postoje još dvije zavojnice promjera $2r = 41 \text{ mm}$ sa 100 i 200 zavoja.

Sklop se spaja prema shemi na Slici 1. Treba voditi računa da se mala zavojnica uložiti što bliže središtu velike. Iz generatora signala napaja se velika zavojnica. Jakost struja kroz nju mjeri se analognim ampermetrom za izmjeničnu struju. Frekvencija signala mjeri se mjeračem frekvencija koji se priključuje paralelno s velikom zavojnicom. Signal za mjerač frekvencije dovodi se iz izvora koaksijalnim kabelom. Kad se na izvoru namjesti određena frekvencija, treba je izmjeriti nekoliko puta da bi se dobila preciznija vrijednost. Napon induciran u maloj zavojnici mjeri se digitalnim voltmetrom. Treba napomenuti da voltmetar i ampermetar mjere efektivne vrijednosti izmjeničnog napona i struje:

$$U_{\text{eff}} = \frac{|U|}{\sqrt{2}} \quad \text{i} \quad I_{\text{eff}} = \frac{|I|}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

pa da stoga za očitane vrijednosti jednadžba (8) postaje:

$$U_{\text{eff}} = \mu_0 \frac{N}{L} AN_z \omega I_{\text{eff}} \quad (10)$$

Točnost mjernih instrumenata nije zajamčena iznad 12 kHz pa više frekvencije treba izbjegavati. Izbjegavati treba i frekvencije niže od 1 kHz jer se tada impedancija velike zavojnice jako smanji pa ona predstavlja gotovo kratki spoj za generator signala, što ga može oštetiti.

Napomenimo da se generator ponaša kao naponski izvor (izvor napona stalne amplitude). Budući da se promjenom frekvencije mijenja impedancija zavojnice, mijenja se i amplituda struje. U zadacima u kojima amplituda struje treba biti konstantna, potrebno je prilikom svake promjene frekvencije ponovno namjestiti izlazni napon izvora tako da amplituda struje bude ista kao prije.

Zadaci

- Odaberite jednu malu zavojnicu, priključite voltmetar na njezine krajeve i umetnite je u veliku zavojnicu. Odaberite neku jakost struje kroz veliku zavojnicu. Izmjerite ovisnost napona induciranoga u maloj zavojnici o frekvenciji struje kroz veliku zavojnicu. Nacrtajte graf ovisnosti induciranog napona o frekvenciji. Je li ovisnost linearna? Izračunajte permeabilnost vakuumu. Kako se dobiveni rezultat slaže s poznatom vrijednosti? ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$)
- Odaberite neku amplitudu i frekvenciju struje kroz veliku zavojnicu. Izradite jedan od zadataka:
 - Izmjerite napon induciran u trima zavojnicama istog promjera ($2r = 41 \text{ mm}$), a različitih brojeva zavoja. Odredite ovisnost induciranog napona o broju zavoja N_z . Unesite podatke u $\log N_z - \log U$ dijagram i provjerite linearnu ovisnost u jednadžbi (10).
 - Izmjerite napon induciran u trima zavojnicama istog broja zavoja ($N_z = 300$), a različitih poprečnih presjeka. Odredite ovisnost induciranog napona o polumjeru zavojnice. Unesite podatke u $\log r - \log U$ dijagram i provjerite kvadratičnu ovisnost napona o polumjeru.