

7. Zadatak. Rotaciona električna mašina u procesu elektromehaničke konverzije energije, pri nominalnim uslovima, na svom izlazu daje snagu od 500 kW. Pri tome su gubici: u bakru 20 kW, u gvožđu 6 kW i mehanički 4 kW.

- a) Koliko iznosi stepen korisnog dejstva pri nominalnom opterećenju, a koliko za 70 % i 130 % nominalnog opterećenja?
- b) Pri istim opterećenjima odrediti stepen korisnog dejstva ako se napon napajanja mašine smanji za 15 %.

Napomena: Smatrati da brzina obrtanja mašine ostaje konstantna nezavisno od promene opterećenja i napona napajanja.

Stepen korisnog dejstva mašine određen je odnosom izlazne i ulazne snage:

$$\eta = \frac{P_{izlazna}}{P_{ulazna}}. \quad (7.1)$$

Imajući u vidu da se ulazna i izlazna snaga razlikuju za snagu gubitaka P_g , stepen korisnog dejstva se može izračunati i kao:

$$\eta = \frac{P_{izlazna}}{P_{izlazna} + P_g} = \frac{P_{ulazna} - P_g}{P_{ulazna}}. \quad (7.2)$$

Stepen korisnog dejstva može se odrediti direktno iz ogleda opterećenja ili indirektno putem određivanja gubitaka mašine.

Tokom rada mašine, snaga gubitaka se javlja u svim podsistemima mašine: električnom, magnetnom i mehaničkom, te se na taj način i klasifikuju gubici.

Električni gubici. Postoje zbog proticanja struje kroz namotaje. Snaga Džulovih gubitaka P_J u pojedinim namotajima mašine, proporcionalna je električnoj otpornosti namotaja R , i kvadratu jačine struje kroz taj namotaj I^2 . Kod mašina naizmjenične struje usled pojave potiskivanja struje ka površini provodnika namotaja javlja se povećanje otpornosti namotaja naizmjeničnoj struji u odnosu na vrednost jednosmerne struji, te su električni gubici različiti od Džulovih gubitaka. U literaturi se električni gubici označavaju sa indeksom Cu , jer su namotaji najčešće izrađeni od bakarnih provodnika. Ovaj indeks se zadržava i kada su provodnici izrađeni od drugog materijala. Često se poistovećuju gubici u bakru P_{Cu} sa Džulovim gubicima:

$$P_J = RI^2 = P_{Cu}. \quad (7.3)$$

Zbog mesta svog nastanka – namotaji, električni gubici se često nazivaju i gubici u namotajima.

Gubici u magnetnom kolu. To su gubici u gvožđu P_{Fe} , i njih čine histerezisni gubici i gubici usled vrtložnih struja u različitim delovima magnetskog podsistema mašine (magnetsko kolo statora i rotora).

Histerezisni gubici, P_h , su posledica promene magnetske indukcije u magnetskim delovima mašine koji su okarakterisani B–H histerezisnom petljom. Histerezisni gubici su

proporcionalni površini histerezisne B–H petlje i računaju se primenom sledeće empirijske jednačine:

$$P_h = k_h \cdot f \cdot B_m^n \cdot m_{Fe}; \quad n \in [1,5 \div 2,5]. \quad (7.4)$$

Često se pretpostavlja kvadratna zavisnost histerezisnih gubitaka od magnetne indukcije:

$$P_h = k_h \cdot f \cdot B_m^2 \cdot m_{Fe}, \quad (7.5)$$

gde su:

- f – frekvencija promene magnetne indukcije u gvožđu,
- B_m – maksimalna vrednost magnetne indukcije,
- m_{Fe} – masa magnetnog kola mašine,
- k_h – konstanta proporcionalnosti za histerezisne gubitke.

Naizmeničan magnetni fluks indukuje napon u magnetnom kolu – gvožđu, koje je u električnom smislu provodnik. Ovaj indukovani napon potera vrtložne struje kroz magnetno kolo. Usled proticanja vrtložnih struja kroz gvožđe magnetnog kola javljaju se gubici koji su označeni kao gubici u gvožđu usled vrtložnih struja:

$$P_v = \frac{k_v \cdot f^2 \cdot B_m^2 \cdot d^2 \cdot m_{Fe}}{\rho_{Fe}}, \quad (7.6)$$

gde su:

- ρ_{Fe} – specifična električna otpornost magnetnog kola mašine,
- k_v – konstanta proporcionalnosti za gubitke usled vrtložnih struja.

Ako se zanemari omska otpornost namotaja rotacione mašine naizmenične struje, može se smatrati da je indukovani napon u namotaju jednak sa naponom mreže na koju je priključena data mašina pa važi:

$$U \approx E = 2\pi f \cdot \psi = 2\pi f \cdot N_1 \cdot \Phi = 2\pi f \cdot N_1 \cdot B_m \cdot S_{Fe}, \quad (7.7)$$

odakle se može zaključiti da je:

$$\Phi \propto \frac{U}{f} \quad B_m \propto \frac{U}{f}, \quad (7.8)$$

gde su:

- ψ – fluksni obuhvat,
- N_1 – broj navojaka,
- Φ – magnetni fluks,
- S_{Fe} – površina poprečnog preseka gvožđa sa naizmeničnim magnetnim fluksom.

Iz jednačine (7.8) sledi da vrednost magnetne indukcije kod mašina naizmenične struje direktno zavisi od dovedenog napona napajanja i njegove frekvencije. Prema (7.5) i (7.6) gubici u gvožđu zavise od kvadrata magnetne indukcije, a prema (7.8) magnetna indukcija zavisi od napona i frekvencije. Sad se može zaključiti da, pri konstantnoj frekvenciji napajanja, gubici u gvožđu mašine kvadratno zavise od napona napajanja. Ovo važi ako se smatra da je $U \approx E$, odnosno zanemaren je pad napona u mašini.

Mehanički gubici. Posledica su otpora kretanju rotora u samoj mašini i obuhvataju: gubitke usled trenja u ležajevima, trenja rotora o rashladni fluid, snagu potrebnu za ventilaciju mašine, gubitke usled trenja na četkicama. U praksi se pokazuje da se mehanički gubici (gubici na trenje i ventilaciju), P_{trv} , najčešće mogu modelovati jednačinom:

$$P_{trv} = K_{trv} \cdot \omega_m^2. \quad (7.9)$$

Mehanički gubici su kvadratno zavisni od brzine obrtanja rotora ω_m . Dakle, kada je brzina obrtanja konstantna mehanički gubici su takođe konstantni.

a) Na osnovu definicije stepena korisnog dejstva (7.1) i datih podataka o gubicima u nominalnom režimu rada, može se odrediti nominalni stepen korisnog dejstva, η_n :

$$\eta_n = \frac{P_n}{P_n + P_{Cun} + P_{Fen} + P_{trvn}}, \quad (7.10)$$

$$\eta_n = \frac{500}{500 + 20 + 6 + 4} = 94,34 \, \%.$$

Bitna karakteristika koja određuje performanse električne mašine je zavisnost stepena (koeficijenta) korisnog dejstva od opterećenja. Stepenn korisnog dejstva pri nekom datom opterećenju, može se naći imajući u vidu da električni gubici zavise od kvadrata opterećenja, dok se magnetni i mehanički gubici mogu smatrati nezavisnim od opterećenja:

$$\eta_x = \frac{P_x}{P_x + P_{Cux} + P_{Fen} + P_{trvn}}, \quad (7.11)$$

gde je uvedena oznaka x , za odnos snage opterećenja u posmatranom i nominalnom režimu rada:

$$x = \frac{P_x}{P_n}. \quad (7.12)$$

Jasno je da je snaga kod električnih mašina srazmerna proizvodu napona i struje opterećenja:

$$P \propto U \cdot I, \quad (7.13)$$

tako da je pri konstantnom naponu napajanja:

$$P \propto I, \quad (7.14)$$

$$P_{Cux} \propto I_x^2 \Rightarrow P_{Cux} = \left(\frac{I_x}{I_n} \right)^2 \cdot P_{Cun} = \left(\frac{P_x}{P_n} \right)^2 \cdot P_{Cun} = x^2 \cdot P_{Cun}. \quad (7.15)$$

Sada primenom (7.11) i (7.15) možemo odrediti stepen korisnog dejstva pri datom opterećenju:

$$\eta_x = \frac{x \cdot P_n}{x \cdot P_n + x^2 \cdot P_{Cun} + P_{Fen} + P_{trvn}}. \quad (7.16)$$

Stepen korisnog dejstva za 70 % i 130 % nominalnog opterećenja pri nominalnom naponu napajanja iznosi:

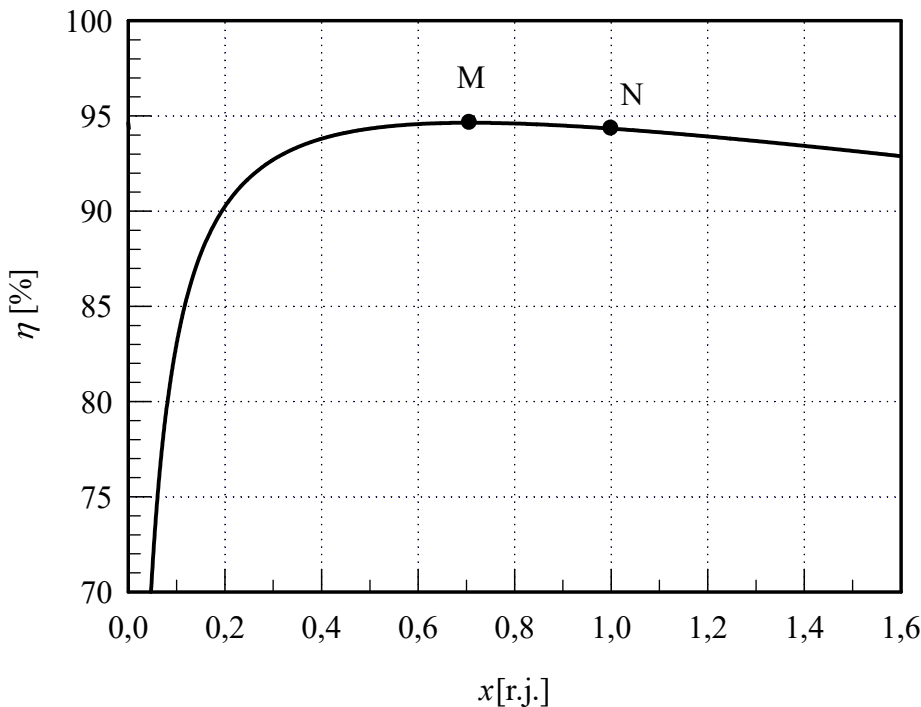
$$\eta_{70\%} = \frac{0,7 \cdot 500}{0,7 \cdot 500 + 0,7^2 \cdot 20 + 6 + 4} = 94,65\%,$$

$$\eta_{130\%} = \frac{1,3 \cdot 500}{1,3 \cdot 500 + 1,3^2 \cdot 20 + 6 + 4} = 93,69\%.$$

Stepen korisnog dejstva može se odrediti za bilo koje relativno opterećenje x primenom jednačine (7.16) što je i prikazano na slici 7.1. Na slici 7.1. su naznačene tačke M u

kojoj je koeficijent korisnog dejstva maksimalan i tačka N koja odgovara nominalnoj radnoj tački. Koordinate radnih tačaka označenih na slici 7.1. su:

M:	$x = 0,7$ r.j.	$\eta = 94,65 \%$
N:	$x = 1$ r.j.	$\eta = 94,34 \%$



Slika 7.1. Stepen korisnog dejstva za različita opterećenja pri nominalnom naponu napajanja.

b) Smanjenjem napona napajanja mašine smanjiće se magnetna indukcija, a sa njome i gubici u gvožđu. Ako se napon smanji na 85 % nominalne vrednosti, gubici u gvožđu u odnosu na nominalnu vrednost ovih gubitaka iznose:

$$P_{Fe} = \left(\frac{U}{U_n} \right)^2 \cdot P_{Fen} = (0,85)^2 \cdot P_{Fen}. \quad (7.17)$$

Treba razmotriti šta će biti sa strujom mašine ukoliko dođe do promene napona napajanja u odnosu na nominalnu vrednost. Ukoliko se pretpostavi konstantna snaga opterećenja, jednostavno se može zaključiti da će doći do povećanja struje opterećenja:

$$P \propto UI, \quad P = const. \Rightarrow \frac{I}{I_n} = \frac{U_n}{U}. \quad (7.18)$$

Električni gubici će se promeniti pri smanjenju napona napajanja, a razmatrano u odnosu na istu snagu opterećenja, električni gubici su:

$$P_{Cux} = x^2 \cdot P_{Cu}|_{U=0,85U_n} = x^2 \cdot \left(\frac{U_n}{U} \right)^2 \cdot P_{Cun}. \quad (7.19)$$

Primenom jednačina (7.16), (7.17) i (7.19) može se odrediti stepen korisnog dejstva:

$$\eta_x = \frac{x \cdot P_n}{x \cdot P_n + x^2 \cdot \left(\frac{U_n}{U}\right)^2 \cdot P_{Cun} + \left(\frac{U}{U_n}\right)^2 \cdot P_{Fen} + P_{trvn}}. \quad (7.20)$$

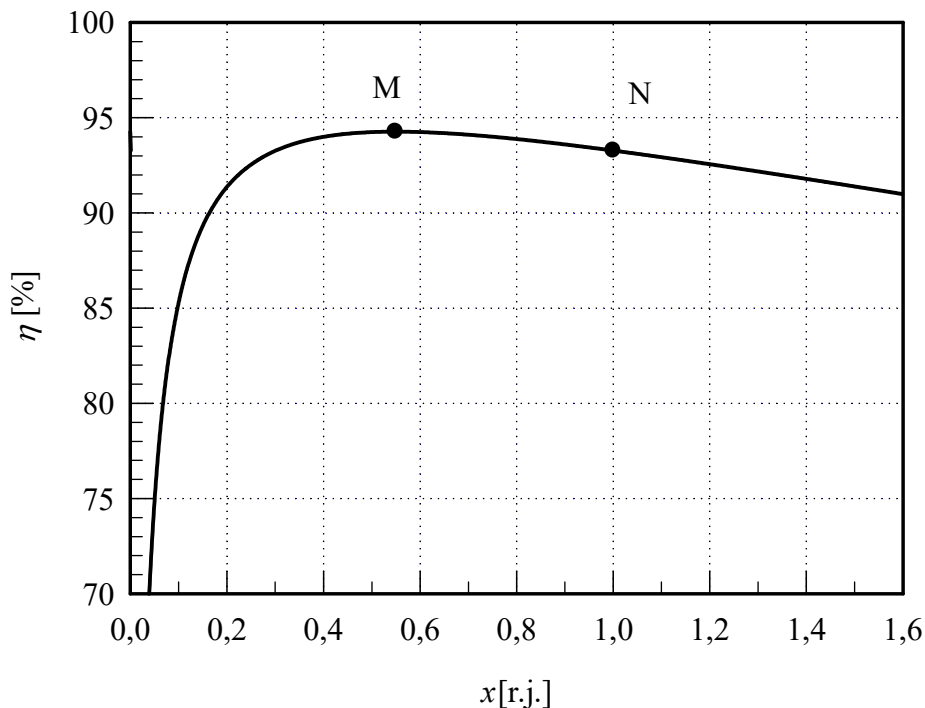
Za tražene snage opterećenja, stepen korisnog dejstva iznosi:

$$\eta_{100\%} = \frac{1 \cdot 500}{1 \cdot 500 + 1^2 \cdot \left(\frac{1}{0,85}\right)^2 \cdot 20 + (0,85)^2 \cdot 6 + 4} = 93,28\%,$$

$$\eta_{70\%} = \frac{0,7 \cdot 500}{0,7 \cdot 500 + 0,7^2 \cdot \left(\frac{1}{0,85}\right)^2 \cdot 20 + (0,85)^2 \cdot 6 + 4} = 94,11\%,$$

$$\eta_{130\%} = \frac{1,3 \cdot 500}{1,3 \cdot 500 + 1,3^2 \cdot \left(\frac{1}{0,85}\right)^2 \cdot 20 + (0,85)^2 \cdot 6 + 4} = 92,18\%.$$

Stepen korisnog dejstva može se odrediti za bilo koje relativno opterećenje x primenom jednačine (7.20), što je i prikazano na slici 7.2.



Slika 7.2. Stepen korisnog dejstva za različita opterećenja pri sniženom naponu napajanja od $U = 0,85 U_{nom}$.

Na slici 7.2. su naznačena tačke M u kojoj je koeficijent korisnog dejstva maksimalan i tačka N koja odgovara nominalnom opterećenju. Koordinate radnih tačaka označenih na slici 7.2. su:

$$\begin{array}{ll} \text{M:} & x = 0,55 \text{ r.j.} \quad \eta = 94,27 \% \\ \text{N:} & x = 1 \text{ r.j.} \quad \eta = 93,28 \% \end{array}$$

Prema rezultatima sa slike 7.1. i 7.2. se vidi da stepen korisnog dejstva električne mašine zavisi od opterećenja i da nije najveći za nominalno opterećenje. Maksimalan stepen korisnog dejstva se ima pri opterećenju manjem od nominalnog. Opterećenje pri kome se ima maksimalan stepen korisnog dejstva može se odrediti iz (7.16) tako što se nađe prvi izvod i izjednači sa nulom:

$$\frac{d\eta_x}{dx} = 0, \quad (7.21)$$

pa se kao uslov za rad sa maksimalnim stepenom korisnog dejstva dobija:

$$x^2 \cdot P_{Cum} = P_{Fen} + P_{trvn}. \quad (7.22)$$

Na osnovu prethodnog pokazano je da se maksimalan stepen korisnog dejstva mašine postiže pri opterećenju – x kod koga će se promenljivi električni gubici (zavisni od struje opterećenja) izjednačiti sa gubicima nezavisnim od opterećenja (gubici u magnetnom kolu i mehanički gubici). Jednakost ovih gubitaka se može iskoristiti za određivanje relativnog opterećenja pri kojem će se imati najveći stepen korisnog dejstva:

$$x = \frac{P_x}{P_n} = \sqrt{\frac{P_{Fen} + P_{trvn}}{P_{Cum}}}. \quad (7.23)$$

9. Zadatak: Sinhroni generator nominalne snage 850 MVA ima vremensku konstantu pobudnog namotaja $L/R = 5,5$ s. U nominalnom režimu rada, usled prolaska struje kroz pobudni namotaj u njemu se disipira snaga džulovih gubitaka od 2,5 MW. Odrediti energiju električne akumulacije pobudnog namotaja?

Električna akumulacija, energija sprežnog polja, energija magnetnog polja su sinonimi. Energija sprežnog polja je:

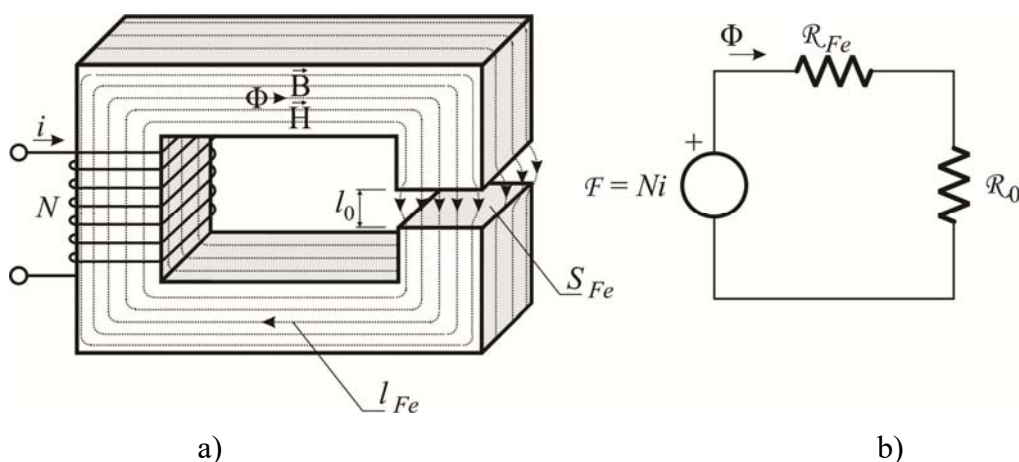
$$W_p = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \frac{L}{R} \cdot I^2 R = \frac{1}{2} \frac{L}{R} P_J = \frac{1}{2} 5,5 \cdot 2,5 = 6,875 \text{ MJ} = 1,91 \text{ kWh} . \quad (9.1)$$

U slučaju nekih havarijskih stanja sinhronog generatora potrebno je pristupiti njegovom brzom razmagnetisanju što se svodi na to da je energiju sprežnog polja potrebno što pre potrošiti – odvesti iz mašine ("gašenje polja"). Obično se ta energija na neki način disipira na dodatnom otporniku. Podatak o veličini energije sprežnog polja merodavan je za dimenzionisanje opreme koja je potrebna za realizaciju brzog razmagnetisanja. Na primer, ako bi u jednoj sekundi želeli da se razmagnetise ovaj generator onda bi otpornik morao da prihvati snagu od 6,875 MW, što je nedopustivo puno. Dok ako bi razmagnetisanje trajalo 1 h (što bi bilo neprihvatljivo sporo), onda bi bio dovoljan i otpornik od 1,91 kW.

10. Zadatak: Magnetno kolo prigušnice sastoji se od feromagnetnog jezgra dužine 30 cm i vazdušnog zazora dužine 0,05 cm. Poprečni presek magnetnog kola je konstantan i iznosi 9 cm^2 . Relativna permeabilnost feromagnetnog materijala je 70000. Na jezgru je namotaj sa 500 navojaka. Odrediti:

- Impedansu prigušnice pri napajanju frekvencijom 60 Hz.
- Magnetnu energiju u prigušnici ako je indukcija u jezgru 1 T.

U postavci zadatka je navedeno da se magnetno kolo sastoji od feromagnetnog jezgra – gvožđa i vazdušnog zazora. Magnetno kolo sa vazdušnim zazorom prikazano na slici 10.1a, uobičajeno se zove prigušnica.



Slika 10.1. Prigušnice sa vazdušnim zazorom: a) izgled i b) ekvivalentno električno kolo.

Magnetopobudna sila:

$$F = Ni,$$

stvara magnetni fluks Φ u ovom magnetnom kolu. Proticanju magnetnog fluksa Φ , suprostavlja se magnetna otpornost kola (reluktansa). Kako se magnetno kolo sastoji od gvožđa i vazdušnog zazora to se u ekvivalentnom električnom kolu, slika 10.1b. pojavljuje redna veza reluktansi gvožđa i vazdušnog zazora.

- Magnetna otpornost fluksu, kroz gvožđe i vazdušni zazor, ove prigušnice iznosi:

$$\mathcal{R} = \mathcal{R}_{Fe} + \mathcal{R}_0 = \frac{1}{\mu_r \mu_0} \frac{l_{Fe}}{S_{Fe}} + \frac{1}{\mu_0} \frac{l_0}{S_0}, \quad (10.1)$$

$$\mathcal{R} = \frac{1}{70000 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} \frac{0,3}{9 \cdot 10^{-4}} + \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7}} \frac{0,0005}{9 \cdot 10^{-4}} = 3789 + 442097 = 445886 \text{ H}^{-1}.$$

Kako je magnetna permeabilnost gvožđa mnogo veća od permeabilnosti vazduha, $\mu_{Fe} \gg \mu_0$, to se pomoću jednačine (10.1) može zaključiti da je reluktansa gvožđa znatno manja od reluktanse vazdušnog zazora, $\mathcal{R}_{Fe} \ll \mathcal{R}_0$. U proračunima se često reluktansa feromagnetnog materijala zanemaruje u odnosu na reluktansu vazdušnog zazora. Najveći otpor uspostavljanju fluksa kroz magnetno kolo predstavlja vazdušni zazor, $\mathcal{R} \approx \mathcal{R}_0$. Induktivnost date prigušnice je:

$$L = \frac{\psi}{i} = \frac{N\Phi}{i} = \frac{N \frac{F}{\mathcal{R}}}{i} = \frac{N \frac{Ni}{\mathcal{R}}}{i} = \frac{N^2}{\mathcal{R}} = \frac{500^2}{445886} = 0,561 \text{ H}. \quad (10.2)$$

Ako se zanemari magnetna otpornost gvožđa, odnosno uvaži samo magnetna otpornost vazdušnog zazora, induktivnost prigušnice iznosi:

$$L \approx \frac{N^2}{\mathcal{R}_0} = \frac{500^2}{442097} = 0,565 \text{ H}.$$

Može se zaključiti da je induktivnost prigušnice sa vazdušnim zazorom dominantno određena magnetnom otpornošću vazdušnog zazora:

$$L \approx \mu_0 S_0 \frac{N^2}{l_0},$$

i da se induktivnost prigušnice smanjuje, kako se veličina vazdušnog zazora l_0 povećava.

Impedansa prigušnice, ako se zanemari aktivna otpornost namotaja i gubici u magnetnom jezgru, je:

$$Z = X = \omega \cdot L = 2\pi \cdot 60 \cdot 0,56 = 211,1 \, \Omega. \quad (10.3)$$

b) Energija magnetnog polja u prigušnici je:

$$W_{mag} = \int_0^{\psi} i \cdot d\psi. \quad (10.4)$$

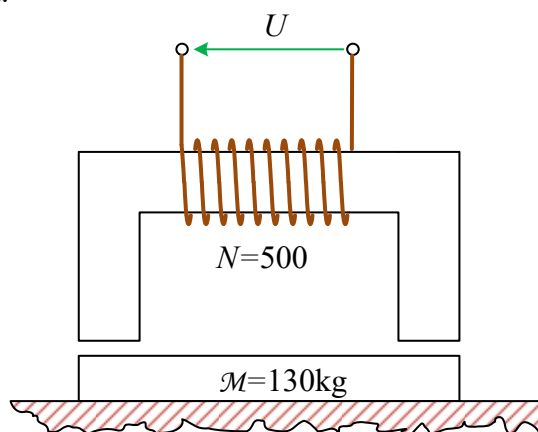
Ako se zanemari nelinearnost magnetnog kola, energija magnetnog polja prigušnice je:

$$W_{mag} = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} L \cdot \left(\frac{\mathcal{R} \cdot \Phi}{N} \right)^2 = \frac{1}{2} L \cdot \left(\frac{\mathcal{R} \cdot BS}{N} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,56 \cdot \left(\frac{445886 \cdot 1 \cdot 9 \cdot 10^{-4}}{500} \right)^2 = 0,18 \text{ J}.$$

16. Zadatak: Elektromagnet na slici 16.1. se koristi za prenošenje gvozdениh predmeta. Mase predmeta koji se prenose je $\mathcal{M} = 130 \text{ kg}$. Površine predmeta su tako obrađene da u slučaju kada gvozdeni predmet dodiruje elektromagnet postoji minimalni vazdušni zazor od $x = 0,015 \text{ cm}$. Otpornost namotaja je 3Ω . Poprečni presek magnetnog kola je konstantan i iznosi 35 cm^2 . Na jezgru je namotaj sa 500 navojaka. Odrediti:

- Minimalnu vrednost potrebnog napona da bi elektromagnet držao gvozdeni predmet navedene mase.
- Kolika je indukcija u prigušnici?

Napomena: Permeabilnost feromagnetnog materijala je $\mu \rightarrow \infty$, tj. zanemaruje se reluktansa feromagnetnog materijala.



Slika 16.1. Elektromagnet podiže gvozdeni predmet.

- Induktivnost datog elektromagneta se može izraziti sledećom jednačinom:

$$L = \frac{\psi}{i} = \frac{N\Phi}{i} = \frac{N \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}}}{i} = \frac{N \frac{Ni}{\mathcal{R}}}{i} = \frac{N^2}{\mathcal{R}} = N^2 \frac{\mu_0 S}{2x}, \quad (16.1)$$

te je moguće odrediti elektromagnetnu silu kojom elektromagnet deluje na gvozdeni predmet:

$$f_c = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{dx} = -\frac{1}{2} i^2 \frac{N^2 \mu_0 S}{2x^2}. \quad (16.2)$$

Ovoj sili se suprotstavlja sila teže gvođenog predmeta, pa važi da je:

$$\mathcal{M} \cdot g = \frac{1}{2} i^2 \frac{N^2 \mu_0 S}{2x^2}. \quad (16.3)$$

Iz (16.3) moguće je odrediti minimalno potrebnu vrednost struje, odnosno napona, da bi elektromagnet podigao dati gvozdeni predmet. Ako se namotaj elektromagneta napaja jednosmernom strujom, tada je:

$$I = \sqrt{\frac{4\mathcal{M} \cdot g \cdot x^2}{N^2 \mu_0 S}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 130 \cdot 9,81 \cdot 0,00015^2}{500^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 35 \cdot 10^{-4}}} = 0,323 \text{ A}. \quad (16.4)$$

Vrednost potrebnog jednosmernog napona iznosi:

$$U = RI = 3 \cdot 0,323 = 0,969 \text{ V} . \quad (16.5)$$

Da je struja u namotaju elektromagneta bila naizmenična, $i = \sqrt{2}I\sin(\omega t)$ tada bi elektromagnetna sila bila vremenski promenljiva, a njena srednja vrednost je:

$$F_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T f_c \cdot dt = -\frac{N^2 \mu_0 S}{4x^2} \left(\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt \right) = -\frac{N^2 \mu_0 S}{4x^2} I^2 , \quad (16.6)$$

gde je sada I efektivna vrednost struje kroz namotaj.

Da bi se odredila potrebna efektivna vrednost naizmeničnog napona potrebno je prethodno izračunati induktivnost prigušnice:

$$L = N^2 \frac{\mu_0 S}{2x} = 500^2 \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 35 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 0,0015} = 0,366 \text{ H} , \quad (16.7)$$

odnosno reaktansu:

$$X = \omega \cdot L = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,366 = 114,9 \Omega . \quad (16.8)$$

Potreban naizmenični napon da bi se elektromagnetom podigao dati teret iznosi:

$$U = I \cdot Z = I \sqrt{R^2 + X^2} = 0,323 \cdot \sqrt{3^2 + 114,9^2} = 37,125 \text{ V} . \quad (16.9)$$

b) Iz Amperovog zakona za ovo magnetno kolo važi:

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} = \sum_{kroz C} i , \quad (16.10)$$

$$\frac{B}{\mu_0} 2x + \frac{B}{\mu_{Fe}} l_{Fe} = Ni . \quad (16.11)$$

Kada se u (16.11) uvaži da ja permeabilnost feromagnetika $\mu_{Fe} \rightarrow \infty$, dobija se vrednost indukcije u prigušnici:

$$B = \mu_0 \frac{Ni}{2x} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{500 \cdot 0,323}{2 \cdot 0,00015} = 0,676 \text{ T} . \quad (16.12)$$