LASTNA IN MEDSEBOJNA INDUKTIVNOST (11)

Lastna induktivnost. O lastni induktivnosti smo že nekaj povedali. Ugotovili smo, da je za določitev lastne induktivnosti potrebno določiti fluks skozi (lastne) ovoje, ki jih povzroča tok v lastnem navitju. Upoštevati je potrebno magnetni sklep, torej fluks skozi ovoje pomnožiti s številom ovojev, kar da

$$L = \frac{\Psi}{I} = \frac{N\Phi}{I}\,. \tag{11.1}$$

SLIKA: Lastna induktivnost določa zvezo med tokom v (lastnem) navitju in fluksom skozi to navitje.

Induktivnost je torej zveza med tokom v navitju in fluksom skozi navitje. Ugotovili bomo, da je pojem induktivnosti tudi neposredno povezan z energijo magnetnega polja in z inducirano napetostjo.

Kot smo že ugotovili, dobimo za navitje na jedru z linearno magnetilno krivuljo (s konstantnim μ_r) s srednjo dolžino gostotnice l preprosto enačbo

$$L = \frac{\mu_r \mu_0 N^2 A}{l} \tag{11.2}$$

ali pa za jedro z zračno režo $L = \dfrac{\mu_{ref}\mu_0 N^2 A}{l}$, kjer je $\mu_{ref} = \dfrac{\mu_r}{1+\mu_r \dfrac{l_{zr}}{l}}$.

To induktivnost imenujemo tudi totalna induktivnost, saj je vezana na linearno magnetilno krivuljo oziroma predpostavlja konstantno permeabilnost. Poznamo tudi dinamično induktivnost, ki je odvisna od točke na magnetilni krivulji in je $L = \dfrac{d\Psi}{dI}$.

Medsebojna induktivnost. Če nas zanima fluks v navitju, ki je posledica vzbujanja v drugem (ne lastnem) navitju, govorimo o medsebojni induktivnosti. Definiramo jo kot

$$M_{21} = \frac{N_2 \cdot \Phi_{21}}{I_1}, \qquad (11.3)$$

kjer je Φ_{21} fluks skozi drugo tuljavo zaradi toka skozi prvo tuljavo. Analogno lahko definiramo M_{12} kot $M_{12} = \frac{N_1 \cdot \Phi_{12}}{I_2}$. Poglejmo si razmere na sliki.

SLIKA: Medsebojna induktivnost določa zvezo med tokom v drugem navitju in fluksom, ki ga ta tok povzroča v lastnem navitju.

Če imamo opravka z linearnimi magnetnimi materiali (če je μr konstanten), sta M21 in M12 kar enaka, torej $M = M_{21} = M_{12}$.

Primer 1: Vzemimo zopet naše znano jedro brez zračne reže s srednjo dolžino gostotnice enako 24 cm in N_1= 150 ovoji in tokom 1,2 A. Dodajmo takemu jedru še eno navitje z N_2=200 ovoji. Določimo medsebojno induktivnost in preverimo, če velja M21=M12.

$M_{21} = \frac{N_2 \cdot \Phi_{21}}{I_1}$. Določimo $\Phi_{21} = \frac{N_1 I_1}{R_m} = \frac{N_1 I_1}{\frac{l_m}{\mu_r \mu_0 A}} = \frac{\mu_r \mu_0 N_1 I_1 A}{l_m}$ in vstavimo v enačbo. Tok se »pokrajša« in dobimo $M_{21} = \frac{\mu_r \mu_0 N_1 N_2}{l_m}$. Če je pri lastni induktivnosti nastopal kvadrat števila ovojev tuljave, pri medsebojni induktivnosti nastopa produkt števila ovojev obeh tuljav. Hitro se da preveriti, da za naš primer resnično velja $M = M_{21} = M_{12}$.

POZOR: Pri računanju medsebojne induktivnosti moramo en od virov »odklopiti«. Če računamo M_{21}, skozi navitje 1 »spustimo« tok I_1 in določimo fluks, ki gre skozi tuljavo 2.

SLIKA: Jedro brez zračne reže z dvema tuljavama.

Faktor sklopa. Če je magnetna povezava med tuljavama 1 in 2 linearna, ima smisel določiti faktor sklopa. Če sta magnetni sklep skozi lastno tuljavo in sosednjo določena z linearno zvezo

$$\Psi_{21} = k\Psi_1$$
$$\Psi_{12} = k\Psi_{12},$$

bo veljalo

$$M_{21} \cdot M_{12} = M^2 = \frac{\Psi_{21}}{I_1} \cdot \frac{\Psi_{12}}{I_2} = \frac{k \cdot \Psi_1}{I_1} \cdot \frac{k \cdot \Psi_2}{I_2} = k^2 L_1 L_2$$

in iz tega

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \qquad (11.4)$$

ali faktor sklopa

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$

Primer 2: Na tristebernem jedru s srednjimi dolžinami 6a, a in 6a sta dve navitji. Na levem stebru s 50 ovoji, na desnem pa z 200 ovoji. Površina je 1 cm^2, a = 2 cm, μ_r=500. Določite medsebojno induktivnost in faktor sklopa. Slika.

M=2.58 μH, k=1/7.

Časovno spreminjajoči fluks v tuljavi – inducirana napetost. Kaj pa, če se v tuljavi fluks časovno spreminja? Michael Faraday je prvi ugotovil, da tedaj dobimo inducirano napetost na sponkah tuljave, ki je direktno proporcionalna časovni spremembi fluksa skozi tuljavo, matematično torej $N\dfrac{d\Phi}{dt}$. Ta napetost je takega predznaka, da bi po sklenjeni zanki (kratko sklenjeni tuljavi) pognala tok, katerega fluks bi nasprotoval fluksu, ki jo povzroča. Temu »pravilu« rečemo tudi Lentzovo pravilo, ki ga v enačbi upoštevamo s predznakom minus:

$$u_i = -N\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d\Psi}{dt}. \tag{11.5}$$

SLIKA: Zanka znotraj katere fluks s časom narašča v določeni smeri. Smer inducirane napetosti je taka, da požene v zanki (inducirani) tok katerega fluks skozi zanko nasprotuje prvotni spremembi fluksa v zanki. Inducirana napetost je porazdeljena po zanki.

Kot smo videli, pa magnetni sklep lahko izrazimo z induktivnostjo tuljave, torej lahko za inducirano napetost tuljave zapišemo $u_{iL} = -\dfrac{d\Psi}{dt} = -\dfrac{d(L\cdot i)}{dt} = -L\dfrac{di}{dt}$.

Inducirana napetost izražena z medsebojno induktivnostjo. Ker gre fluks ene tuljave lahko tudi skozi drugo tuljavo, se bo tudi v drugi tuljavi ob spreminjanju fluksa inducirala napetost. Izrazimo jo s produktom medsebojne induktivnosti in toka v prvi tuljavi $u_{iM_{21}} = -\dfrac{d\Psi_{21}}{dt} = -\dfrac{d(M\cdot i_1)}{dt} = -M\dfrac{di_1}{dt}$.

Če gledamo na tuljavo s svojo induktivnostjo kot na koncentriran element, ugotovimo, da bo padec napetosti na njej kot posledica spremembe toka enak $u_L = \dfrac{d\Psi_L}{dt} = L\dfrac{di}{dt}$. Običajno bo potrebno upoštevati tudi padec napetosti zaradi Ohmske upornosti, ki pa je preprosto proporcionalen toku skozi tuljavo. Celoten padec napetosti bo zato $u_L = i\cdot R + L\cdot\dfrac{di}{dt}$. Če si zamislimo harmonično spreminjajoč se tok (sinusni) skozi tuljavo, ugotovimo, da bo časovna sprememba toka največja tedaj, ko tok zamenja predznak: Tedaj bo tudi padec napetosti na tuljavi največji zaradi največje spremembe fluksa. Ko bo tok okoli ničle, bo napetost maksimalna, kar opišemo s sinusnim potekom toka in kosinusnim potekom napetosti. Oba se torej spreminjata z enako frekvenco, vendar časovno zamaknjeno. Ta časovni zamik označimo s fazo signala, ki je v tem primeru 90^0.

Če imamo na jedru dve navitji, potem tok skozi eno navitje povzroča padec napetosti v lastnem, pa tudi drugem navitju. Slednji je proporcionalen spremembi toka v prvem navitju in medsebojni induktivnosti. Vpliv pa je v obe smeri. Torej, če spreminjajoči fluks v drugi tuljavi povzroča tok v drugem navitju, pride do vzajemnega učinka. Pišemo lahko

$u_1 = R_1 \cdot i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} \pm M \frac{di_2}{dt}$, pa tudi

$u_2 = R_2 \cdot i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} \pm M \frac{di_1}{dt}$. Predznak, ki je pred členom z medsebojno induktivnostjo je potrebno določiti glede na konkreten primer in sicer glede na to, ali se fluksa skozi tuljavi med seboj podpirata ali izničujeta. Ugotovili smo, da smo zapisali enačbi, ki sta primerni za obravnavo dveh magnetno sklopljenih elementov – recimo kar za transformator.

SLIKA: Vezje s koncentriranimi elementi in povezavo med tuljavama z medsebojno induktivnostjo. Podpiranje fluksov med tuljava označimo (po dogovoru) tako, da postavimo piko na obeh začetnih (ali končnih) delih simbola tuljave glede na smer toka. Če gre torej v obeh primerih tok najprej »v piko« in nato skozi element ali pa v obeh primerih najprej tok skozi element in potem »v piko« se fluksa PODPIRATA, kar se odraža v dodatnem padcu napetosti na obeh tuljavah, ki je enaka produktu medsebojne induktivnosti in časovni spremembi toka skozi nasprotno tuljavo.