
VILLANYSZERELŐ KÉPZÉS

2 0 1 5

ELEKTROTECHNIKA 3.

MÁGNESES TÉR

ÖSSZEÁLLÍTOTTA
NAGY LÁSZLÓ
MÉRNÖKTANÁR

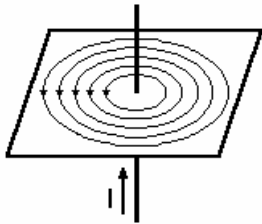
Tartalomjegyzék

Mágneses tér fogalma, jellemzői.....	3
A mágneses tér hatása az anyagokra	4
Elektromágneses indukció.....	6
Mozgási indukció.....	6
Nyugalmi indukció.....	7
Az induktivitás	7
Tekercsek hálózatai.....	8
Induktív fogyasztó be és kikapcsolása.....	9

Mágneses tér fogalma, jellemzői

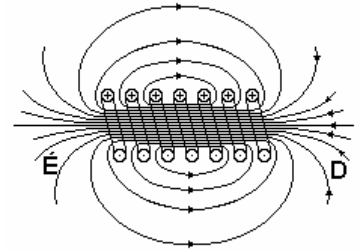
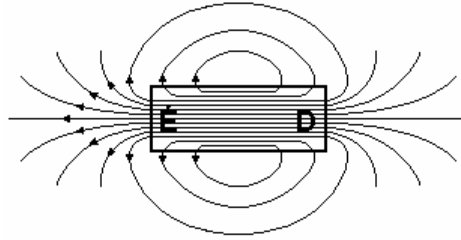
Mágneses alapjelenségek:

Áramjárta vezető körül vasreszeléssel, iránytűvel erővonalakat lehet kimutatni

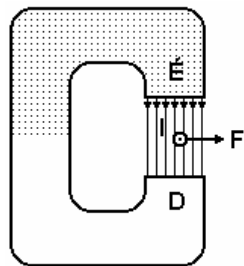


Áramjárta tekercs rúd-mágnesként viselkedik.

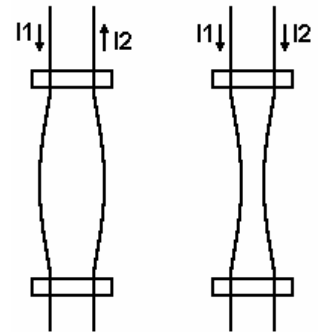
Felfüggesztve, mindkettő a földmágnesség irányába áll be, iránytűvel, vasreszeléssel kimutatható erővonalképük hasonló.



Mágneses térbe helyezett áramjárta vezetőre erő hat.



Két párhuzamos áramjárta vezető között, az áramok nagyságától és irányától függő erő hat.



A jelenségek közös jellemzője:

- mozgó töltések erőhatást hoznak létre,
- állandó mágnesekkel rokon tulajdonságúak.

A térnek azt a részét, ahol a mozgó töltésre erő hat, mágneses térnek nevezzük. A mágneses tér állandó mágnesek és áramjárta vezetők környezetében alakul ki. A mágneses teret erővonalakkal szemléltetjük. A kialakuló erővonal képek közös tulajdonságai alapján a mágneses erővonalak:

- a mozgó töltéseket körülveszik, önmagukban zártak,
- a teret egyenletesen töltik ki,
- irányítottak (megállapodás szerint É pólustól a D pólus felé),
- rövidülni igyekeznek.

A mágneses erővonalak nem léteznek, csak a mágneses térben tapasztalható jelenségeket modellezik.

A mágneses teret az áram hozza létre. Az áram különféle vezeték elrendezéseken folyhat át, de az erővonalak az áramot vagy áramokat minden esetben körülveszik. A mágneses erő-

vonalak által körülzárt áramok összességét gerjesztésnek nevezzük.



A gerjesztés jele: Θ (teta) [Amenet]

Az áramokat körülvevő tér valamely pontjában a gerjesztő hatás erősségét, azaz az egységnyi hosszúságú erővonalra jutó gerjesztést mágneses térerősségnek nevezzük. A mágneses térerősség jele: $H = \Theta / l$ [A / m]

Tetszőleges zárt görbe mentén az azonos nagyságú térerősség szakaszok elemi gerjesztéseinek $H_i \Delta l_i$ összege a teljes gerjesztéssel egyenlő (gerjesztési törvény).

$$H_1 l_1 + H_2 l_2 + \dots + H_i l_i = \Theta$$

Az erővonal (mint zárt görbe) hossza egyenes vezető körül r távolságban az r sugarú kör kerülete ($\Theta / 2r\pi$), hosszú egyenes tekercs esetén a tekercs hossza (Θ / ℓ), gyűrű (toroid) alakú tekercs esetén a gyűrű közepes átmérője ($\Theta / D_k \pi$).

Egy tetszőleges felületen átlépő erővonalak száma, a mágneses fluxus.

A mágneses fluxus jele: Φ (fi) [Vs]

Egységnyi felületen átlépő erővonalak száma, a fluxus sűrűség vagy indukció.

Az indukció jele: $B = \Phi / A$ [Vs / m²]

Ugyanakkora térerősség a különböző anyagokban, különböző fluxus sűrűséget, indukciót hoz létre (pl. hosszú egyenes tekercs belsejébe különböző anyagokat, rezet, alumíniumot, vasat, olajat, műanyagokat, stb. helyezünk és mérjük az indukciót). Az egységnyi térerősség hatására kialakuló indukció a permeabilitás.

A permeabilitás jele: μ (mú) = B / H [Vs / Am]

A permeabilitás értéke vákuumban: $\mu_0 = 12,56 \cdot 10^{-7}$ Vs / Am

A mágneses tér hatása az anyagokra

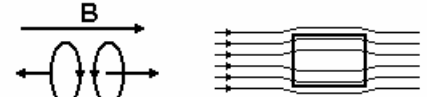
A különféle anyagokban, egységnyi térerősség hatására kialakuló indukció, vákuumbeli indukcióhoz viszonyított értéke a relatív permeabilitás.

A relatív permeabilitás jele: $\mu_r = B_a / B_v$

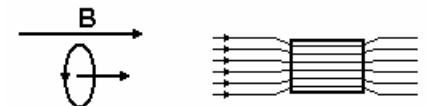
Az anyagok mágneses tulajdonságai az elektronok mozgására vezethetők vissza.

Az atommag körül keringő és saját tengelyük körül pörgő elektronok elemi köráramokat hoznak létre. Az anyagok mágneses tulajdonságait az anyagra jellemző elemi köráramok valamint a külső mágneses tér kölcsönhatása különbözteti meg.

Diamágneses anyagokban ellentétesen keringő elektron párok vannak, melyek a külső tér erővonalait kikerülésre kényszerítik. Az anyagon belül a tér eredőben kisebb. Az indukció csökkenése $n \cdot 10^{-4} - 10^{-7}$ értékű, azaz $\mu_r < 1$. Diamágneses anyagok: Cu, Pb, Ag, Hg, Si, S, P, nemes gázok, szerves vegyületek.



Paramágneses anyagokban páratlan számú elektronok vannak, melyek mint elemi köráramok, a külső tér irányába rendeződve kismértékben növelik az indukciót. Paramágneses anyag a fémek többsége, néhány gáz, (O_2). A $\mu_r > 1$.



Ferromágneses anyagok harmadik elektron pályáján 4-3-2 kiegyenlítetlen, ellenforgó pár nélküli elektron van. Ezek az elektron pörgések mint kiegyenlítetlen köráramok beállnak a külső tér irányába és jelentősen megnövelik az indukciót.

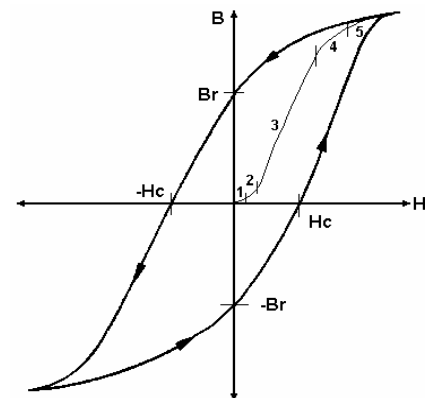


A ferromágneses anyagokban az atomok (ún. WEISS-féle) tartományokat alkotnak, melyen belül $10^2 - 10^6$ db. atom elemi köráramai azonos irányba állnak be és ebben az irányban egymást tartják. Külső tér hatására ezek a tartományok a tér irányába fordulnak át. Jellegzetes ferromágneses anyagok a vas, a kobalt és a nikkelt, illetve ezek ötvöze. A relatív permeabilitásuk $\mu_r \gg 1$, mely nem állandó érték, erősen függ a térerősség pillanatnyi értékétől. Emiatt a ferromágneses anyagok relatív permeabilitását csak grafikusán az ún. B/H görbéjével, a hiszterézis karakterisztikával lehet megadni. A jelleggörbe felvételéhez a vizsgálandó anyagból gyűrű alakú, keskeny légrésű, próbatestet készítenek. A próbatesten elhelyezett toroid tekercsbe vezetett áram állítja elő a térerősséget, a légrésben kialakuló indukciót méréssel veszik fel. Az első mágnesezési, ún. szűz görbe az origóból indul.

Az első mágnesezési görbe szakaszai:

- lineáris (1),
- négyzetes (2),
- nagy permeabilitású (3),
- telítési (4),
- paramágneses (5).

Az egyszer felmágnesezett anyagban a térerősség megszűnése után is marad vissza indukció, melyet remanens indukciónak (Br) nevezünk. A remanens indukciót a koercitív térerősség (H_c) szünteti meg. A 300 A/m feletti koercitív térerősségű



anyagok az állandó mágnesek. Csökkenő amplitúdójú, periódikusan váltakozó térerősséggel felvett hiszterézis görbék csúcspontjai az első mágnesezési vagy középgörbén helyezkednek el. Az anyagban, a periódikusan csökkenő térerősség miatt csökken a remanens indukció is. A térerősség 0-ra csökkenésekor az anyag remanens indukciója is 0-ra csökken, azaz lemágnesesődik, demagnetizálódik (pl. magnetofon szalag törlése).

A ferromágneses anyagoknak egy adott hőmérsékleten megváltozik a mágneses tulajdonsága, mivel a hőmozgás "szétrázza" a tartományokat. Azt a hőmérsékletet ahol a ferromágneses anyagok paramágneses jellegűvé válnak, Curie pontnak nevezzük. A vas alapú ferromágneses anyagok Curie pontja 780-790 °C. Egy Curie pontig hevített, majd erős külső mágneses térben lassan lehűtött anyag ferromágneses tulajdonságai jelentősen javulnak. Az eljárás -a magnetotermikus kezelés- hatására $2-3 \times 10^6$ relatív permeabilitás érhető el.

Lágymágneses anyagok ($H_c < 300$ A/m):

HIPERSIL: 96,5% Fe, 3,5% Si, $\mu_r = 25-30 \times 10^3$, $H_c \gg 8-40$ A/m

PERMALLOY: 55% Fe, 45% Ni, $\mu_r = 8 \times 10^5$, $H_c \gg 5$ A/m

SUPERMALLOY: 16% Fe, 79% Ni, 5% Mo, (C,S,Si=0%), $\mu_r = 10^6$, $H_c = 0,1$ A/m

Felhasználási terület: transzformátor, jelfogó (relé) vasmag. Nagyfrekvenciás (100kHz-10MHz) alkalmazáshoz a ferromágneses anyagot porrá őrölve, kötő anyaggal formába szítva állítják elő a ferriteket. Kialakításuk alapján: rúd, fazék, EI vasmagok.

Keménymágneses anyagok ($H_c > 10^4$ A/m):

ALNICO: 50% Fe, 8% Al, 24% Co, $H_c \gg 50$ kA/m

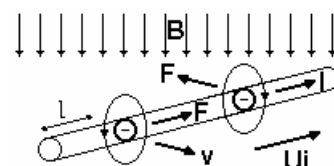
Felhasználási terület: elektromechanikus műszerek, hangszóró, ajtózárs mágnes, léptető motorok, stb.

Elektromágneses indukció

Egy vezetőben feszültség keletkezik, ha mágneses térben mozog vagy környezetében a mágneses tér változik. A jelenséget összefoglaló névvel elektromágneses indukciónak nevezzük.

Mozgási indukció

Egy mozgó vezetőben -a vezetővel együtt- a szabad elektronok is mozognak. A mozgó szabad elektronok mint elmozduló töltések áramnak tekinthetők. Az áramló töltések körül kialakuló, valamint a külső mágneses tér kölcsönhatása miatt fellépő erő az elemi töltéseket azonos irányban elmozgatja, azaz az l hosszúságú vezető végein potenciál különbséget, indukált feszültséget hoz létre. Egy B indukciójú mágneses térben, a tér irányával α szöget bezáró, v sebességgel, mozgó, l hosszúságú vezetőben indukálódó

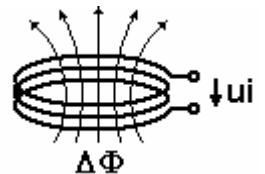


feszültség: $u_i = B \ell v \sin \alpha$

Az indukált feszültségre kapcsolt fogyasztón meginduló áram létrehozza a saját mágneses terét. A mozgó vezető körül kialakuló, valamint a külső mágneses tér kölcsönhatása miatt fellépő erő a vezető mozgását akadályozza. (Lenz törvény) Az ábrán az egyik áram mágneses tere a sebesség irányára, a másik az áram mágneses tere az áram irányára merőleges.

Nyugalmi indukció

Egy vezető hurokban feszültség indukálódik ha az általa körülvelt térben, a mágneses fluxus megváltozik. Az indukált feszültség a fluxus megváltozásának sebességével arányos.



$$u_i = n \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Ha a vezető hurok n-szer veszi körül a teret (n menetű tekercs), akkor az indukált feszültség is n-szeres lesz. A vezető hurokban olyan irányú feszültség indukálódik, melynek hatására kialakuló áram mágneses tere a külső tér fluxus változását akadályozza.

A mozgási és a nyugalmi indukció közös jellemzője, hogy az indukált feszültség létrehozásához vagy fenntartásához szükséges munka, megegyezik a vezető mozgására illetve a fluxus megváltoztatásra fordított munkával.

Az induktivitás

Egy tekercsben folyó állandó áram, a tekercsben mágneses teret hoz létre. A tekercsben kialakuló fluxus:

$$\Phi = B \cdot A = \mu \cdot H \cdot A = \mu \cdot \frac{I \cdot n}{\ell} \cdot A$$

Az áram változásának hatására a tekercsben változik a fluxus is, mely a nyugalmi indukció alapján feszültséget indukál a tekercsben. Mivel az indukciót a tekercs saját fluxus változása hozza létre, a jelenséget önindukciónak, a keletkező feszültséget önindukciós feszültségnek nevezzük.

$$u_i = n \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

A nyugalmi indukció által indukálódó feszültség:

A $\Delta \Phi$ fluxus változást a tekercsben folyó ΔI áramváltozás hozza létre, tehát:

$$\Delta \Phi = \mu \cdot \frac{\Delta I \cdot n}{\ell} \cdot A$$

A tekercsben indukálódó feszültség az áramváltozás sebességétől és a tekercs adatait tartalmazó önindukciós tényezőtől, vagy más néven induktivitástól függ.

$$u_i = n^2 \cdot \mu \cdot \frac{A}{\ell} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Az induktivitás jele: $L = n^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{A}{\ell}$ Mértékegysége: $[L] = \frac{Vs}{A} = H(\text{enry})$

1 H annak a tekercsnek az induktivitása, melyben 1 A áram, 1 sec. alatti egyenletes megváltozása 1 V feszültséget indukál.

Egy tekercsben az áram változás mindig olyan irányú feszültséget indukál, mely az áram változását akadályozza. Csökkenő áram esetén az áram irányával megegyező, növekvő áram esetén az áram irányával ellentétes irányú az indukált feszültség. Az induktivitás áramköri szempontból lineáris passzív kétpólus.

A tekercsek típusai:

a közrefogott anyag alapján:

- légmagos
- vasmagos

a felhasználás alapján:

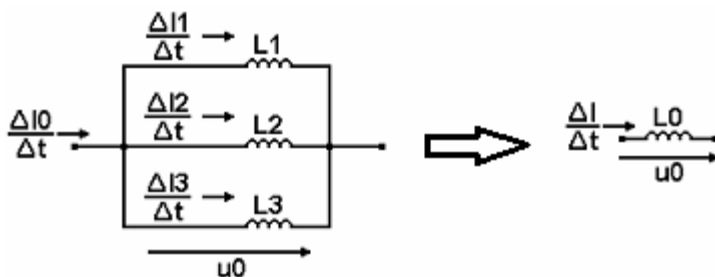
- állandó értékű: szűrő tekercs
- változtatható: hangoló tekercs

A tekercsek jellemzői:

- névleges induktivitás
- tűrés
- névleges egyenáram
- jósági tényező ($\tan\phi$ - a veszteségi tényező reciproka)

Tekercsek hálózatai

A párhuzamosan kapcsolt induktivitásokon azonos a feszültség.



A csomóponti törvény alapján:

$$\frac{\Delta I_0}{\Delta t} = \frac{\Delta I_1}{\Delta t} + \frac{\Delta I_2}{\Delta t} + \frac{\Delta I_3}{\Delta t}$$

A feszültséget és az induktivitásokat helyettesítve:

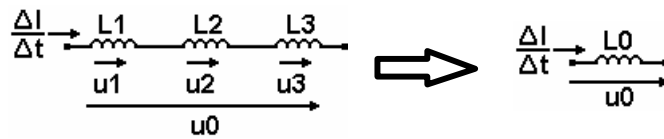
$$\frac{u_0}{L_0} = \frac{u_0}{L_1} + \frac{u_0}{L_2} + \frac{u_0}{L_3}$$

Az eredő induktivitás:

$$\frac{1}{L_0} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

A párhuzamosan kapcsolt induktivitások akkora induktivitással helyettesíthetők, melynek értéke a rész induktivitások reciprok összegének reciprokával egyezik meg. Két párhuzamos induktivitás esetén használható a replusz művelet.

A sorosan kapcsolt induktivitásokon azonos az áram.



A huroktörvény alapján:

$$u_0 = u_1 + u_2 + u_3$$

Az induktivitást és az áramot helyettesítve:

$$L_0 \frac{\Delta I}{\Delta t} = L_1 \frac{\Delta I}{\Delta t} + L_2 \frac{\Delta I}{\Delta t} + L_3 \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

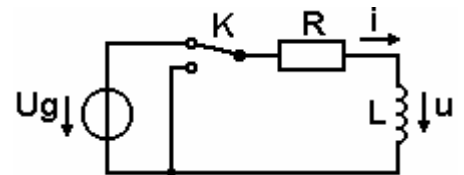
Az eredő induktivitás:

$$L_0 = L_1 + L_2 + L_3$$

A sorosan kapcsolt induktivitások akkora induktivitással helyettesíthetők, melynek értéke a rész induktivitások összegével egyezik meg.

Induktív fogyasztó be és kikapcsolása

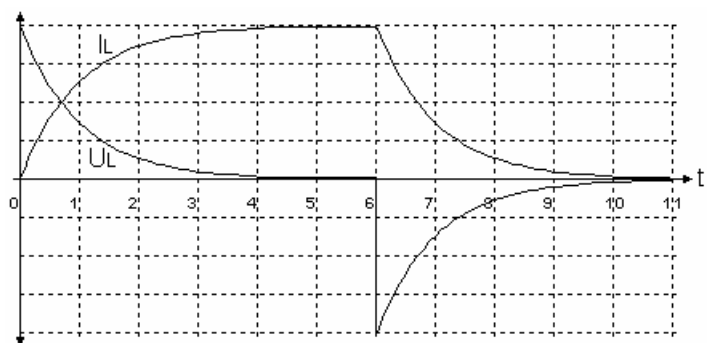
A kapcsoló zárásakor a meginduló áram fluxus változást hoz létre a tekercsben. A fluxus változás feszültséget indukál, mely - Lenz törvénye értelmében - a generátor feszültségével szembe kapcsolódva akadályozza az áram kialakulását. Amikor a tekercsben folyó áram és így a fluxus is állandósul, a feszültség indukció megszűnik. Ilyenkor a tekercsben nem esik feszültség, rövidzárként viselkedik. A bekapcsolási áram és feszültség változás időbeli lefolyása csak az ellenállás és az induktivitás által együttesen meghatározott $\tau = L/R$ időállandó értékétől függ. Az időállandó ebben az esetben is a végérték 63%-nak eléréséhez szükséges időtartamot jelenti. Kikapcsoláskor a tekercsben az áram és a fluxus is csökken. A fluxus csökkenés a tekercsben a generátor feszültségével sorba kapcsolódó feszültséget indukál. Ez a feszültség a tekercssel párhuzamosan kapcsolódó ellenálláson áramot hajt át, azaz a tekercsben felhalmozott energia az ellenálláson hővé alakul.



bekapcsolás kikapcsolás

$$u_L = U_g \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} = -I_L \cdot R \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$i_L = \frac{U_g}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) = \frac{U_g}{R} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$



Induktív fogyasztó áramának egyszerű megszakítása esetén, a kapcsoló érintkezői között fellépő indukciós feszültség - a levegőt ionizálva - szikrát, villamos ívet hoz létre, mely a kapcsoló érintkezőit károsítja.

Az induktivitás bekapcsoláskor fogyasztó, kikapcsoláskor generátor jellegű kétpólus. Az induktivitás egyenáramúlag rövidzár, váltakozó áramúlag szakadás.
