
ELEKTRONIKAI TECHNIKUS KÉPZÉS

2 0 1 3

ELEKTROTECHNIKA II.

VILLAMOS ÉS MÁGNESES TÉR

ÖSSZEÁLLÍTOTTA
NAGY LÁSZLÓ
MÉRNÖKTANÁR

Tartalomjegyzék

A villamos tér	3
A kondenzátor.....	6
Kondenzátorok fontosabb típusai és felépítésük	7
Kondenzátorok hálózatai.....	9
Kondenzátorok számítása nem homogén dielektrikum esetén.....	10
A kondenzátor töltése és kisütése	10
A kondenzátorban tárolt energia.....	12
A mágneses tér.....	13
A mágneses tér hatása az anyagokra.....	15
Elektromágneses indukció.....	18
Az induktivitás.....	18
Tekercsek hálózatai.....	19
Induktív fogyasztó be és kikapcsolása	20
A tekercsben felhalmozott energia.....	22
Mintafeladatok mágneses körök számítására	23

A villamos tér

A térnek azt a részét, amelyben valamely nyugvó töltésre erő hat villamos (elektromos, sztatikus, elektrosztatikus) térnek nevezzük. A villamos tér jellemzője a térerősség. A térerősség az egységnyi töltésre ható erővel arányos.

Jele: $E = \frac{F}{Q} = \frac{W}{d \cdot Q} = \frac{U \cdot I \cdot t}{d \cdot I \cdot t} = \frac{U}{d}$

Mértékegysége: $[E] = \frac{N}{C} = \frac{V}{m}$

(megjegyzés: a mechanikai munka $W = F d$ összefüggéséből az erőt helyettesítve)

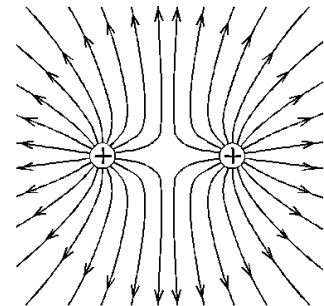
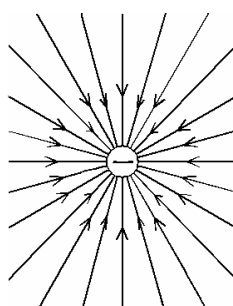
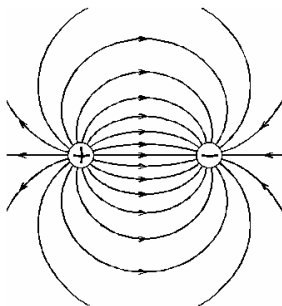
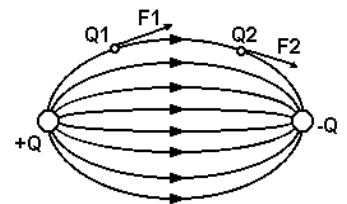
A térerősség vektor mennyiség: iránya és nagysága van.

- a térerősség iránya a töltésre ható erő irányát,
- a térerősség nagysága a töltésre ható erő nagyságát jelenti.

A villamos teret erővonalakkal szemléltetjük (modellezzük).

Az erővonalak olyan görbék (egyenesek) melyeknek bármely pontjában az érintő iránya a térerősség irányát adja meg. A villamos teret töltések hozzák létre. A villamos tér erővonalainak tulajdonságai:

- a pozitív töltésen erednek és a negatív töltésen végződnek,
- a pontszerű töltésnek sugárirányú erőtere van,
- az azonos irányú erővonalak taszítják egymást,



- rövidülni igyekeznek, energiájukat csökkentik,
- a teret egyenletesen töltik ki,
- a párhuzamos erővonalak homogén teret alkotnak,
- a töltött vezető test felületéről merőlegesen lépnek ki,

Az erővonalak nem léteznek csak a villamos térben tapasztalható jelenségeket modellezzik!

A villamosan töltött test felületéből kilépő erővonalak száma a villamos fluxus. Úgy lehet értelmezni, hogy amekkora az elektron hiány vagy többlet annyi erővonal. A villamos fluxus mérőszáma a töltés mérőszámával egyezik meg.

Jele: Φ Mértékegysége: $[\Phi] = As$

Az egységnyi felületen áthaladó erővonalak száma a töltés (fluxus) sűrűség, más néven a dielektromos eltolás. A töltéssűrűséget homogén villamos tér esetén, a felületen, nem homogén tér esetén egy 0-hoz tartó felületen elhelyezkedő töltések számaként értelmezzük. Az eltolás elnevezés a szigetelő anyagok villamos térben mutatott tulajdonságából származik.

Villamos térbe helyezett szigetelő anyagban a molekulán belüli töltések polarizálódnak. Ha változik a tér erőssége, akkor a polarizálódás is változik, ami a töltések - változással ellentétes - eltolódását, mozgását jelenti. Ezt a töltésmozgást nevezzük eltolási áramnak.

Jele: $D = \frac{\Phi}{A} = \frac{Q}{A}$ Mértékegysége: $[D] = \frac{\text{As}}{\text{m}^2}$

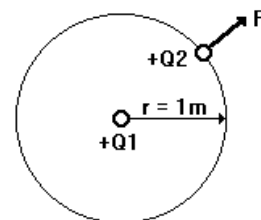
Ugyanakkora térerősség a különböző anyagokban, különböző erővonal sűrűséget hoz létre. Az egységnyi térerősség hatására kialakuló fluxus sűrűség a dielektromos állandó, idegen szóval permittivitás.

Jele: $\varepsilon = \frac{D}{E}$ Mértékegysége: $[\varepsilon] = \frac{\text{As} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{V}} = \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$

A dielektromos állandó vákuumbeli értékének meghatározása:

A +Q1 és +Q2 töltések pontszerűek és egymástól 1 m távolságra vannak. A Q1 töltés erőterében elhelyezett Q2 töltésre erő hat. Coulomb törvénye alapján, két töltés között ható erő:

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Vm}}{\text{As}}$$



A k arányossági tényező azt jelenti, hogy két, egymástól 1 m távolságban elhelyezett pontszerűnek tekintett $Q_1 = Q_2 = 1 \text{ C}$ töltés között, $F = 9 \cdot 10^9 \text{ N}$ erő hat.

A Q_1 töltés köré vont 1 m sugarú gömb felületén a térerősség:

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ N}}{1 \text{ As}} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

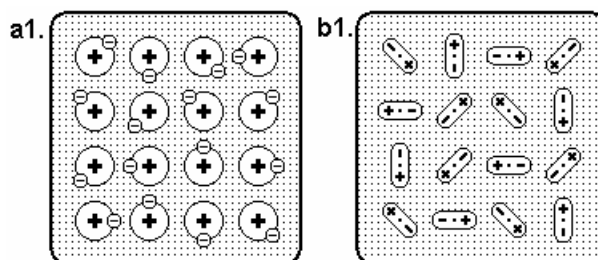
A Q_1 töltés köré vont 1 m sugarú gömb felületén a fluxus sűrűség:

$$D = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{1}{4 \cdot \pi} \frac{\text{As}}{\text{m}^2}$$

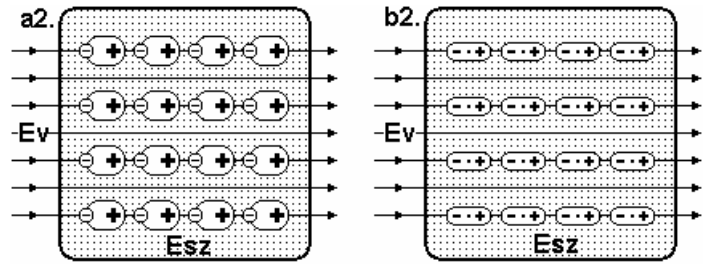
A vákuum dielektromos állandója:

$$\varepsilon_0 = \frac{D}{E} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot 9 \cdot 10^9} = 8,86 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$$

A szigetelő anyagok molekuláris felépítésük alapján lehetnek villamosan semlegesek (a1.) vagy dipólusok (b1.). A szigetelő anyagok a környezetük felé villamosan semlegesek, mert a molekulák villamosan semlegesek (kiegyensúlyozottak), illetve a dipólus molekulák rendezetlenek.



Villamos térbe helyezett szigetelő anyag erővonalakat köt le, mert: az eddig villamosan semleges molekulák villamos súlypontja eltolódik (b2.), az eddig rendezetlen dipólus molekulák rendeződnek. A jelenséget dielektromos polarizációnak nevezzük. A szigetelő anyagban a lekötött erővonalak miatt a térerősség - az adott szigetelő anyagra jellemzően- lecsökken. A szigetelő anyagban kialakuló térerősséget a szigetelő anyagon kívüli (vákuum) térerősséghez viszonya a kapjuk meg a relatív dielektromos állandót.

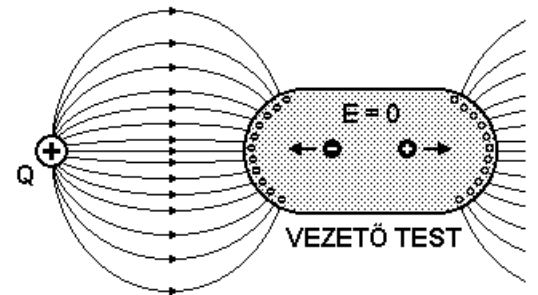


Jele: $\epsilon_r = \frac{E_v}{E_{sz}}$

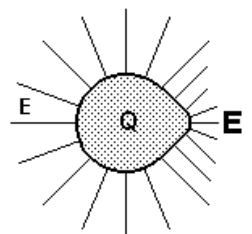
A szigetelő anyagban egységnyi térerősség hatására kialakuló fluxus (töltés) sűrűség:

$$D = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot E$$

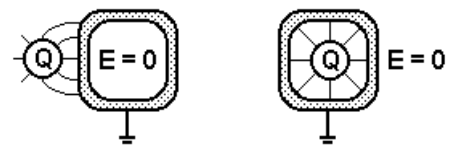
Villamos térbe helyezett vezető elemi töltései a térerősség hatására elmozdulnak. A töltések a vezető test felületén felhalmozódva lekötik a villamos tér erővonalait, így a vezető test belsejében nem alakul ki térerősség. Egy villamosan semleges vezető test elemi töltéseinek - külső tér hatására kialakuló - szétválasztódását villamos megosztásnak, idegen szóval influenziának nevezzük. A +Q töltés erőtere, a vezető test felületére vonzza az elemi töltéseket. Ha az erőter megszűnése előtt a vezető test töltésmennyisége nem változik, akkor az erőter megszűnése után a test az eredeti villamos állapotát veszi fel. Ha az erőter megszűnése előtt a vezető test töltésmennyisége változik, akkor az erőter megszűnése után a test a töltés változással megegyező töltésű lesz.



A töltések egy gömb alakú vezető test felületén egyenletesen oszlanak el. Ugyanakkora töltés nagyobb gömbfelületen kisebb, kisebb gömbfelületen nagyobb térerősséget hoz létre. Ha a töltött vezető test nem gömb alakú, akkor a nagyobb görbületű, csúcsos helyeken nagyobb térerősség alakul ki, mint a felület kisebb görbületű részein. A jelenséget csúcshatásnak nevezzük. Nagy térerősség esetén a levegő molekulái ionizálódnak és átütés, szikrázás (villámlás) keletkezik. A levegő átütési szilárdsága 21 kV/cm. Gyakorlati hasznosítása: villámhárító, gyújtógyertya, szikraköz.



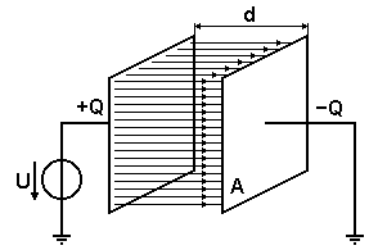
A megosztás miatt, egy vezető anyaggal bezárt tér belseje, külső eredetű villamos tértől védett. Hasonlóan egy vezető anyaggal bezárt tér környezete egy belső eredetű villamos tértől védett. Gyakorlati hasznosítása: belső és külső árnyékolás.



A kondenzátor

Két, szembenálló, azonos méretű, egymástól villamosan elszigetelt, párhuzamos vezető felület síkkondenzátort alkot. A vezető felületeket fegyverzetnek nevezzük. Az egyik fegyverzeten az U feszültség $+Q$ töltést halmoz fel, mely a másik fegyverzeten a megosztás miatt $-Q$ töltést hoz létre. A töltések az A felületen egyenletesen oszlanak el, a fegyverzetek között homogén villamos tér alakul ki. A fegyverzetek d vastagságú levegő ($\epsilon_r=1$) vagy valamilyen más szigetelő ($\epsilon_r>1$) réteget, dielektrikumot fognak közre. Az egységnyi feszültség hatására felhalmozódó töltésmennyiséget kapacitásnak nevezzük.

Jele: $C = \frac{Q}{U}$ Mértékegysége: $[C] = \frac{As}{V} = F(\text{arad})$



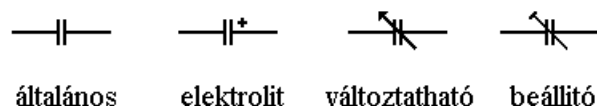
A fegyverzetek között a térerősség: $E = \frac{U}{d}$

A fegyverzetek között a töltés sűrűség: $D = E \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = \frac{U}{d} \epsilon_0 \cdot \epsilon_r = \frac{Q}{A}$

Az elrendezés kapacitása a geometriai adatokkal: $C = \frac{Q}{U} = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{A}{d}$

A kapacitást megvalósító alkatrészeket kondenzátornak nevezzük. A kondenzátor áramkörüleg lineáris passzív kétpólus

Rajzjelei:



A kondenzátorok jellemzői:

- Névleges kapacitás: az a kapacitás érték mely az alkatrészen vagy az adatlapján van feltüntetve. A kondenzátorokat az E sor szerinti névleges értékekkel állítják elő. A névleges értéket szöveggel vagy színkóddal tünteti fel a gyártó. Például: $6n8 = 6,8 \text{ nF}$ $\mu 100 = 100 \text{ nF}$ $n47 = 470 \text{ pF}$.
- Tűrés: a névleges érték megengedett - megtűrt - relatív hibája az E sor szerint előírt értékekben. (E6 - $\pm 20\%$, E12 - $\pm 10\%$, E24 - $\pm 5\%$, E60 - $\pm 2\%$)
- Névleges feszültség: az a feszültség melyet az alkatrész tartósan, üzemszerűen károsodás nélkül elvisel. A névleges feszültség értékét a gyártó az alkatrészen feltünteti. Átütés kb. a névleges érték kétszeresénél következhet be.
- Szigetelési ellenállás: a fegyverzetek között mérhető egyenáramú ellenállás, $1 \mu\text{F}$ -ra vonatkoztatva. Megadása $M\Omega / \mu\text{F}$.

- Vesztségi tényező: a kondenzátor váltakozó áramú üzemére jellemző szám mely a kondenzátorban keletkező wattos és meddő teljesítmény viszonyát fejezi ki. Jele $\text{tg}\delta$.

Kondenzátorok fontosabb típusai és felépítésük

Csillámkondenzátor dielektrikuma a természetben található csillám, amit vékony ($0,05 \div 0,2 \text{ mm}$) lemezekre hasítanak, majd sajtolószerszámban a téglalap alakra kivágják. Csak a teljesen átlátszó, üvegszerű csillám alkalmas. Igen jók a villamos jellemzői és hőállósága. A csillámlemezek mindkét oldalát vákuumban ezüstréteggel vonják be, majd több lemezből állítják elő a kívánt értékű kondenzátort. Védelem céljából viaszburkolattal és lakkréteggel látják el, vagy bakelit tokba sajtolják. A csillámkondenzátorok kis kapacitásértékben ($10 \text{ pF} \div 30 \text{ nF}$) készülnek, jó villamos tulajdonsággal rendelkeznek, stabilak, jóságuk nagy, különösen rádiófrekvencián alkalmazhatók. Műanyag és kerámia kondenzátorok megjelenésével jelentősen csökkent az alkalmazásuk.

Papírkondenzátor dielektrikuma ún. kondenzátorpapír. Vastagsága $8 \div 20 \text{ }\mu\text{m}$, színe szürkésbarna, áttetsző és kissé a celofánra emlékeztet a fogása. A fegyverzet anyaga $7 \div 12 \text{ }\mu\text{m}$ vastagságú alumínium fólia. A kondenzátor gépi vagy kézi tekercseléssel készül. Két fémfóliát egymástól több papírszalag réteggel elszigetelve tekercselik fel. A fémfólia a papírszalagnál néhány mm-rel keskenyebb. A fegyverzet kivezetésére a tekercsbe egy vagy több pár kivezető lemezt helyeznek. A tekercseket vákuumüstben, igen nagy tisztaságú vazelinel, paraffinnal újabban poliészterrel vagy epoxi műgyantával impregnálják, majd tokozzák. A tok anyaga lehet fém, papír, műanyag, porcelán. Alkalmazása hang és rádiófrekvenciás áramkörökben, Értéktartomány $0,1 \text{ nF} \div 47 \text{ nF}$. Előállítás olcsó.

Fémezett papírkondenzátorok fegyverzete nem fémfólia, hanem kiszáritott és impregnált papírra, vákuumban gőzölgtetett fém. A kondenzátor öngyógyuló, a fegyverzet átütésnél, alacsony olvadáspontja miatt elgőzölög a papírról és így a zárlat megszűnik. A horgany fegyverzet felvitele történhet katódporlasztással vagy vákuum elgőzölgtetéssel. A megtekercselt kondenzátorokat villamos impulzusokkal formálásnak vetik alá, a hibahelyek leégetése céljából. A fémezett papírkondenzátorok impregnáló anyaga vazelin vagy szilikon olaj, esetleg szigetelő olaj (olajkondenzátor). A fémréteg és az alkalmazott impregnáló anyag határozzák meg a villamos jellemzőket. Készülnek miniatűr kivitelben és légmentesen lezárt szögletes fémházba szerelve üveggyöngy kivezetőkkel. Az elektrotechnika széles területén használatos, műszerekben, tápegységekben, erősáramú technikában fázisjavításhoz. Jelölése MP.

Műanyag szigetelésű kondenzátor (stiroflex) dielektrikuma polisztirol fólia, a fegyverzet anyaga pedig alumínium fólia. A polisztirol tulajdonságai a magas ($\rho = 10^{15} \Omega \text{ m}$) fajlagos ellenállás, a kiváló ($\text{tg}\delta = 10^{-4}$) nagyfrekvenciás tulajdonság és magas (10^3 kV/cm) átütési szilárdság. A készítése a papírkondenzátorhoz hasonlóan tekercseléssel történik. A kész kon-

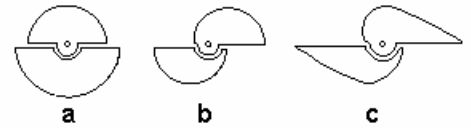
denzátor tekercseket $95\div 105\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletű kemencébe helyezik, ahol a kondenzátorvégek üvegszerűvé olvadnak össze. Ez biztosítja a kondenzátor lezárását. Felhasználási területe a kis veszteségi tényező miatt igen széles.

Kerámiakondenzátor dielektrikuma különleges, kis veszteségi tényezőjű magnéziumszilikát vagy magnéziumtitanát alapanyagú kerámia. Az összeőrölt alapanyagot szerves kötőanyaggal keverik össze, majd csigaprésen csővé öntéssel és préseléssel tárcsává, fröccsöntéssel pedig tetszőleges alakúra alakítják. Jellegzetes a $10\div 20\text{ mm}$ hosszú $2\div 10\text{ mm}$ átmérőjű cső és a $5\div 15\text{ mm}$ átmérőjű tárcsa alak. Ezt követően a kerámiát szárítják, majd kiégetik. A fegyverzet ezüst, amelyet fémgőzölögtetéssel visznek fel a kerámiára. Az ezüstréteget ráforrasztott kivezetésekkel látják el. Értéktartomány $0,4\text{pF}\div 30\text{nF}$. Felhasználási terület nagyfrekvenciás szűrő- és rezgőkörök.

Elektrolit kondenzátor dielektrikuma molekuláris vastagságú oxidréteg, mely a fegyverzeten alakul ki elektrolitikus úton. Ennek az oxidrétegnek nagy a villamos szigetelő képessége és nagy a dielektromos állandója. Az elektrolit kondenzátorok egyik fegyverzete az anód, 99,99%-os tisztaságú alumínium fólia, melynek felületét gyártáskor sósavban megmaratják, ezzel 5-6-szoros felületnövekedést (kapacitásnövekedést) lehet elérni. A másik fegyverzet elektrolit (katód), mert csak ez tudja követni a maratott alumínium lemez szabálytalan felületén létrehozott dielektrikumot. A fóliát mindkét oldalán elhelyezett itatóspapírral együtt lazán feltekercselik és légmentesen lezárható fémházba helyezik. Lezárás előtt elektrolittal, bórsav és ammónium vizes oldatával töltik fel. Az elektrolitnak jól kell vezetnie az áramot valamint fenntartani és regenerálni az oxidréteget. Az alkatrész polaritás függő, azaz működés közben az anódnak mindig pozitívabbnak kell lennie a katódnál, különben a dielektrikum lebomlik. A szigetelő réteg átvezetése átütést, zárlatot okoz, károsítva ezzel az áramkört és a környezetet ezen felül még balesetveszélyes is. Az alkatrész pozitív kivezetése meg van jelölve. Léteznek szeleppel ellátott típusok is, melyekkel a robbanás megelőzhető. Az elektrolit kondenzátorokkal kis méretek mellett nagy kapacitások állíthatók elő. Értéktartomány $1\mu\text{F}\div 10\text{mF}$. A tantál elektrolit kondenzátorok felépítése hasonló, de ugyanakkora kapacitás lényegesen kisebb méretek mellett valósítható meg. Az egyik típus a folyékony elektrolitos, melyben egy tantál fólián hoznak létre oxidréteget. Az elektrolit kénsav vagy lithiumklorid. A tantáloxid dielektromos állandója négyszer nagyobb, mint az alumíniumoxidé. A másik típusnál az elektrolit helyett az elektróda mangándioxid félvezető réteg. Fő jellemzője, hogy károsodás nélkül elviseli az ellentétes polaritású feszültséget. Felhasználási terület elsősorban tápegységekben pufferelés és szűrés, hangfrekvenciás áramkörökben csatolás, hidegítés.

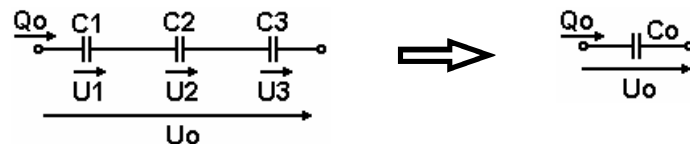
Légszigetelésű kondenzátor dielektrikuma levegő. A fegyverzetek mozgását nem akadályozza a szilárd dielektrikum, így ez a típus alkalmas leginkább a változtatható kapacitású kondenzátorok készítésére. A kapacitás változtatás a szembenálló fegyverzetek felületének változtatásával lehetséges. Szerkezetileg álló és forgórészből állnak. Az állórész adott távolságra elhelyezett, $0,5\div 1\text{ mm}$ vastag, többnyire alumínium lemezek kötege. Az álló leme-

zek közötti légrés akkora, hogy a forgórész lemezkötege érintkezés nélkül beleforgatható. A két lemezköteg között kb. 0,2 mm a távolság marad. Emiatt nagyon körültekintően kell szerelni, mert a lemezek elgörbülése zárlatot okoz. Az állórész egy tartó keretbe vagy házba szigetelten van rögzítve, a forgórész tengelye csapágyazott, ami biztosítja a tengelyirányú kotyogásmentességet. A lemez profiljának kialakításával különböző szögelfordulás- kapacitásváltozás pl. lineáris (a), négyzetes (b) és exponenciális (c) karakterisztikák valósíthatók meg. Általában a kezdő kapacitás $5 \div 10$ pF, a végkapacitás 500 pF. A szélső lemezek hasítékokkal vannak ellátva, kismértékű elgörbítésük a végkapacitás beállítására szolgál. Alkalmazási területe főleg rádióvevő hangolása de mérés-technikai és automatizálási rendszerekben is használatos.



Kondenzátorok hálózatai

Sorosan kapcsolt kondenzátorokon a megosztás miatt azonos a töltés.



A huroktörvény alapján:

$$U_0 = U_1 + U_2 + U_3$$

A töltéssel és a kapacitással kifejezve:

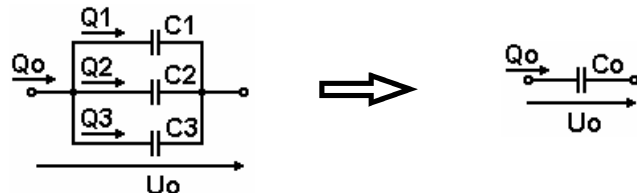
$$\frac{Q_0}{C_0} = \frac{Q_0}{C_1} + \frac{Q_0}{C_2} + \frac{Q_0}{C_3}$$

Az eredő kapacitás:

$$\frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

A sorosan kapcsolt kondenzátorok akkora kapacitással helyettesíthetők, melynek értéke a részkapacitások reciprokok összegének a reciprokával egyezik meg. Két sorosan kapcsolt kondenzátor eredőjének számításához használható a replusz művelet.

Párhuzamosan kapcsolt kondenzátorokon azonos a feszültség.



A csomóponti törvény alapján:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

A feszültséggel és a kapacitással kifejezve:

$$U_0 \cdot C_0 = U_0 \cdot C_1 + U_0 \cdot C_2 + U_0 \cdot C_3$$

Az eredő kapacitás:

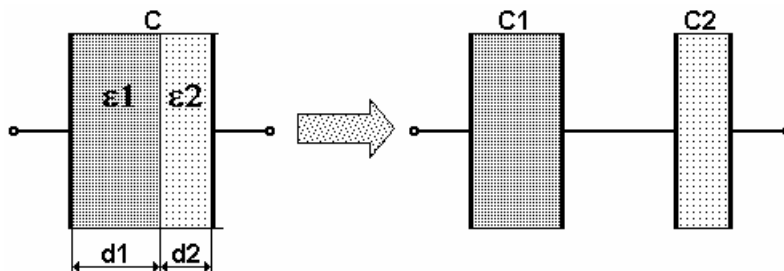
$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3$$

A párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok akkora kapacitással helyettesíthetők, melynek értéke a részkapacitások összegével egyezik meg.

Kondenzátorok számítása nem homogén dielektrikum esetén

Kondenzátorok mérés-technikai vagy automatizálási alkalmazásánál elfordul, hogy a fegyverzetek által közrefogott dielektrikum nem homogén, hanem valamilyen irányban osztott. Az osztás lehet a fegyverzetekkel párhuzamos és lehet a fegyverzetekre merőleges irányú.

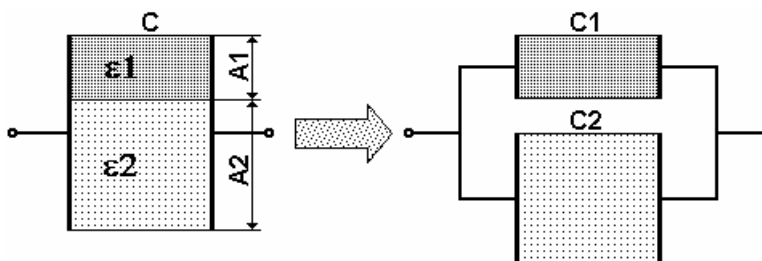
A fegyverzetekkel párhuzamosan osztott dielektrikum esetén a kapacitás úgy számítható ki, hogy az a_1 és a_2 vastagságú dielektrikumokból egyenként kondenzátorokat képezzünk és ezek soros eredőjét határozzuk meg.



Az ábra adataival:

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_1 \frac{A}{d_1}} + \frac{1}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_2 \frac{A}{d_2}}} = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{\frac{d_1}{\epsilon_1} + \frac{d_2}{\epsilon_2}} = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot A}{d_1 \cdot \epsilon_2 + d_2 \cdot \epsilon_1}$$

A fegyverzetekre merőlegesen osztott dielektrikum esetén a kapacitás úgy számítható ki, hogy az A_1 és A_2 felületű dielektrikumokból egyenként kondenzátorokat képezzünk és ezek párhuzamos eredőjét határozzuk meg.

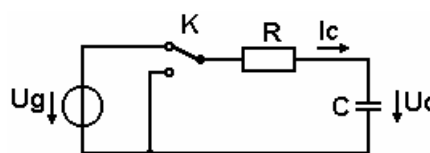


Az ábra adataival:

$$C = C_1 + C_2 = \epsilon_0 \cdot \epsilon_1 \frac{A_1}{d} + \epsilon_0 \cdot \epsilon_2 \frac{A_2}{d} = \frac{\epsilon_0}{d} (\epsilon_1 \cdot A_1 + \epsilon_2 \cdot A_2)$$

A kondenzátor töltése és kisütése

A kapcsoló zárása után a generátorból áram indul meg, melyet a kezdeti szakaszban csak az ellenállás korlátoz. Az I áramerősség t idő alatt Q töltést szállít, ezért a kondenzátor töltődik, a feszültsége növekszik. A töltődési folyamat alatt a kondenzátor növekvő feszültsége szembe kapcsolódik a generátor feszültségével. A csök-



kenő különbségi feszültség a töltő áramot is egyre jobban csökkenti. Amikor a kondenzátor feszültsége eléri a generátor feszültségét, a töltő áram megszűnik, a töltődési folyamat véget ér. A töltődési folyamat "teljes" időtartama kizárólag az ellenállás és a kapacitás értékétől függ: kisebb ellenállással a nagyobb kapacitás ugyanannyi idő alatt töltődik fel, mint nagyobb ellenállással a kisebb kapacitás. A töltődési folyamatra az RC szorzat jellemző, melyet időállandónak nevezünk. Az időállandó a végérték 63%-nak eléréséhez szükséges időtartam. Jele: $\tau = RC$ Mértékegysége: $[\tau] = \text{sec}$

A kondenzátor feszültségének és áramának pillanat értékét leíró összefüggések és időbeli lefolyásuk:

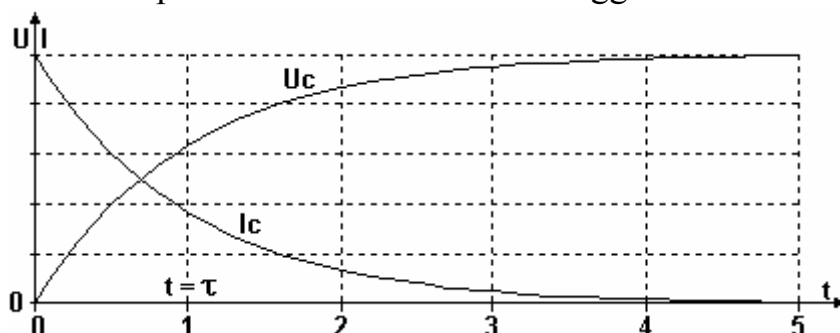
$$u_c = U_g \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

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

($e = 2,718281$ természetes szám)

Ha $t = 0$,	akkor	$u_c = 0$	és	$i_c = U_g / R$
Ha $t = \infty$,	akkor	$u_c = U_g$	és	$i_c = 0$
Ha $t = \tau$,	akkor	$u_c = 0,63 U_g$	és	$i_c = 0,37 U_g / R$

Elméletileg a kondenzátor feszültsége sohasem éri el a generátor feszültségét, gyakorlatilag 3τ időtartam után a kondenzátort feltöltöttnek tekintjük.

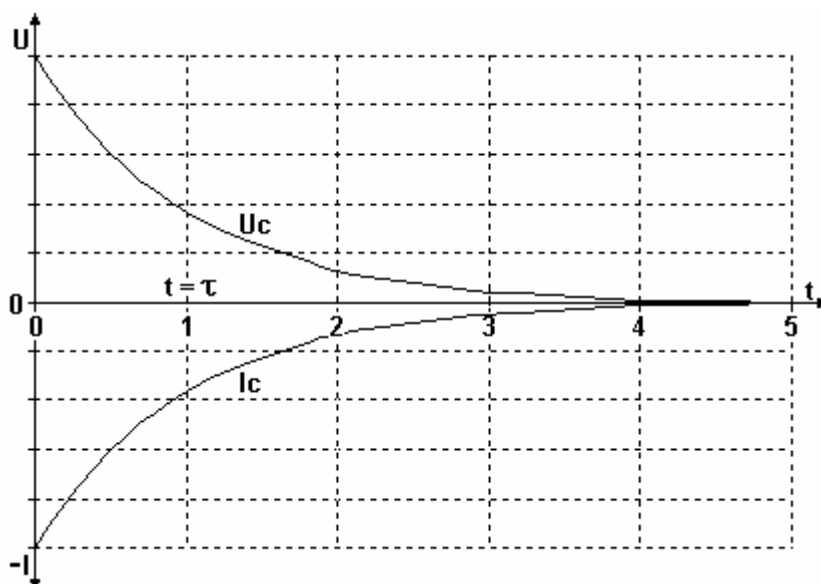


A kapcsoló átkapcsolásakor az U_g feszültségre feltöltődött kondenzátor az R ellenálláson keresztül elveszti a töltését, kisül. A kisülési folyamat során a kondenzátor feszültsége csökken, ezért egyre kisebb áramot hajt át az ellenálláson. Amikor a kondenzátor fegyverzetein a töltések kiegyenlítődnek a kisülési folyamat véget ér. A kondenzátor feszültségének és áramának pillanat értékét leíró összefüggések és időbeli lefolyásuk:

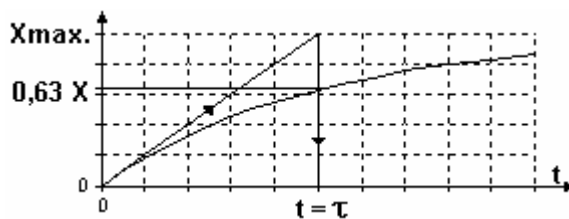
$$u_c = U_g \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

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

Ha $t = 0$, akkor	$u_c = U_g$ és $i_c = -U_g / R$
Ha $t = \infty$, akkor	$u_c = 0$ és $i_c = 0$
Ha $t = \tau$, akkor	$u_c = 0,37 U_g$ és $i_c = -0,37 U_g / R$



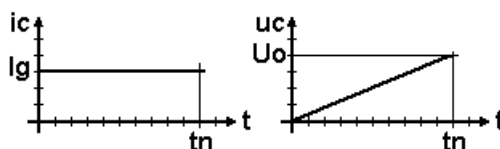
Az időállandó grafikusan is meghatározható. Az exponenciális görbe kezdeti szakaszához húzott érintő metszi a végérték tengelyt. Ebből a pontból az időtengelyre vett merőleges a görbét a végérték 63 %-nál, az időtengelyt $t = \tau$ helyen metszi.



A kondenzátor töltéskor energiát vesz fel, kisütéskor energiát ad le. A kondenzátor tehát töltéskor fogyasztó, kisütéskor generátor jellegű kétpólus. Állandósult állapotban vagy egyenfeszültség esetén töltés mozgás nincs, tehát a kondenzátor egyenáramú szempontból szakadás. Változó vagy váltakozó feszültség esetén, a megosztás miatt töltés mozgás van, tehát a változással szemben, tehát váltakozó áramú szempontból a kondenzátor rövidzár.

A kondenzátorban tárolt energia

Egy kondenzátorban U feszültség hatására Q töltés halmozódik fel. Kisüléskor a töltések az U potenciálú helyről a 0 potenciálú hely felé mozogva munkát $W = U Q$ végeznek. A fel-töltött kondenzátor tehát munkavégző képességgel, energiával rendelkezik, mely megegyezik a töltésre fordított munkával. A kondenzátorban tárolt energia az előző összefüggéssel nem határozható meg, mert a kisülés folyamán a feszültség nem állandó. Egy állandó árammal (áramgenerátorral) töltött kondenzátoron a feszültség lineárisan növekszik, mivel Δt időtartamok alatt ΔQ töltések adódnak össze. A kondenzátor feszültsége egy t_n időpillanatban U_0 , melyet a $Q = I_g t_n$ töltés hoz létre.



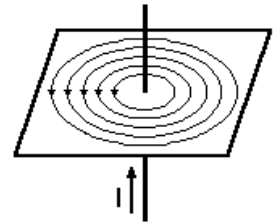
A kondenzátor töltésekor végzett munka, az áram állandó értéke miatt az uc feszültség alatti területtel, azaz $U_0/2$ - vel arányos. A kondenzátorban tárolt energia:

$$W = \frac{1}{2} U_0 \cdot I_g \cdot t_n = \frac{1}{2} U_0 \cdot Q = \frac{1}{2} C \cdot U_0^2$$

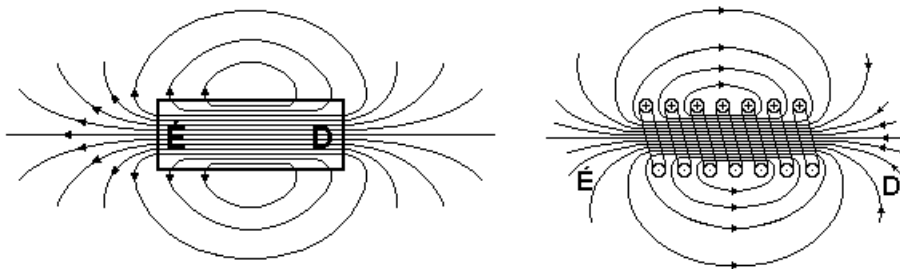
A mágneses tér

Mágneses alapjelenségek:

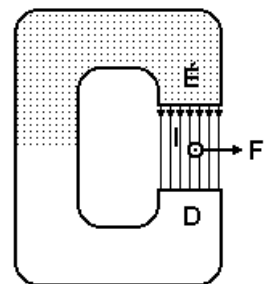
Áramjárta vezető körül iránytűvel, vasreszeléssel erővonalakat lehet kimutatni. A zárt erővonalak az áramot körülveszik, az irányukat jobb kéz szabállyal lehet meghatározni. A vezetőt jobb kézzel úgy kell megmarkolni, hogy a hüvelykujj az áram irányába mutasson, akkor a begömbített ujjak a tér $\vec{E} \rightarrow \vec{D}$ irányát mutatják. A szakirodalomban dugóhúzó szabálynak is nevezik.



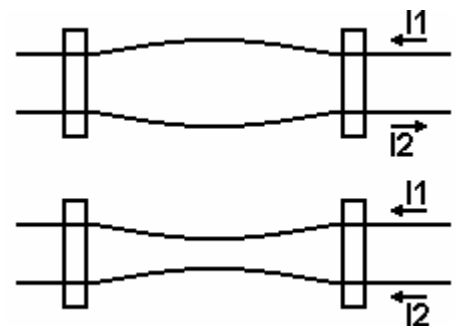
Áramjárta tekercs rúd mágnesként viselkedik. Felfüggesztve, mindkettő a földmágnesség irányába áll be, iránytűvel, vasreszeléssel kimutatható erővonalképük hasonló. A pólusok az északi-déli elnevezést a mágneses viselkedésük alapján kapták. Egy rúd mágnes súlypontjában felfüggesztve úgy áll be, hogy ugyanaz a vége mindig ugyanabba az irányba mutat. A rúd mágnesnek a Föld északi pólusa felé mutató véget északinak a másikat délinek neveztük el. Az Északi sarkon a Földnek mint mágnesnek a déli pólusa található.



Mágneses térbe helyezett áramjárta vezetőre erő hat. Az erőhatás iránya az áram iránya és a mágneses tér iránya is merőleges egymásra. Az irányok közötti kapcsolatot (egy másik) jobb kéz szabállyal lehet meghatározni. Ha a mutatóujj az áram irányába, a behajlított középsőujj a mágneses tér (déli pólus felé) mutat, akkor a hüvelykujj az erő irányába mutat.



Két párhuzamos áramjárta vezető között, az áramok nagyságától és irányától függő erő hat. Ha az áramok iránya azonos akkor az erőhatás egyesíteni akarja az egyes vezetőket. Ha az áramok iránya különböző, akkor az erőhatás távolítani akarja az egyes vezetőket. Az erő annál nagyobb minél nagyobbak az áramok és minél közelebb vannak a vezetők.



A jelenségek közös jellemzője: - mozgó töltések erőhatást hoznak létre
- állandó mágnesekkel rokon tulajdonságúak.

A térnek azt a részét, melyben a mozgó töltésre erő hat, mágneses térnek nevezzük. A mágneses tér állandó mágnesek és áramjárta vezetők környezetében mutatható ki.

A mágneses teret erővonalakkal szemléltetjük. A kialakuló erővonal képek közös tulajdonságai alapján az erővonalak:

- a mozgó töltéseket körülveszik,
- önmagukban zártak,
- a teret egyenletesen töltik ki,
- irányítottak (megállapodás szerint $\vec{E}$ pólustól a D felé),
- rövidülni igyekeznek.

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

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 erővonalak által körülzárt áramok összességét gerjesztésnek nevezzük.

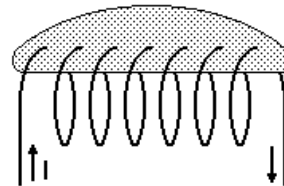
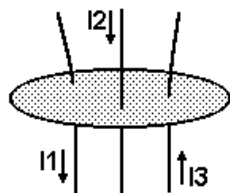
Jele: Θ Mértékegysége: $[\Theta] = \text{A}$, tekercs esetén: Ampermenet.

Áramokat körülzáró hurok esetén:

$$\Theta = I_1 + I_2 - I_3 \text{ A}$$

Tekercs esetén:

$$\Theta = 6 I \text{ Am}$$



Az egységnyi hosszúságú erővonal létrehozásához szükséges gerjesztést térerősségnek nevezzük. Az erővonal hossza egyenes vezető körül r távolságban az r sugarú kör kerülete, egyenes tekercs esetén a tekercs hossza, gyűrű (toroid) alakú tekercs esetén a gyűrű közepe átmérője.

Jele: $H = \frac{\Theta}{\ell}$

Mértékegysége: $[H] = \frac{\text{A}}{\text{m}}$

Egy tetszőlegesen kiválasztott felületen áthaladó erővonalak számát mágneses fluxusnak nevezzük.

Jele: Φ Mértékegysége: $[\Phi] = \text{Vs}$

Az egységnyi felületen áthaladó erővonalak számát erővonal sűrűségnek vagy mágneses indukciónak nevezzük.

Jele: $B = \frac{\Phi}{A}$

Mértékegysége: $[B] = \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$

Az egységnyi térerősség hatására kialakuló indukció a permeabilitás.

Jele: $\mu = \frac{B}{H}$

Mértékegysége: $[\mu] = \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \frac{\text{m}}{\text{A}} = \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$

A permeabilitás vákuumbeli értékének meghatározása:

Egyenes vezető körül $r = 1 \text{ m}$ távolságban 2π hosszúságú erővonal alakul ki. A vezetőben folyó 1 A áram hatására, az 1 m sugarú kör mentén a térerősség értéke:

$$H = \frac{\Phi}{\ell} = \frac{1}{2\pi} \frac{A}{m}$$

Az 1 m sugarú kör mentén az indukció értéke két, mágneses térben fellépő erőhatás egybevetése alapján lehet meghatározni. Az egyik összefüggés szerint két végtelen hosszúnak tekinthető, $d = 1$ m távolságra, párhuzamosan elhelyezett vezetők $\ell = 1$ m hosszúságú szakaszai között $2 \cdot 10^{-7}$ N erő lép fel, ha a vezetőkben $I_1 = I_2 = 1$ A erősségű áram folyik.

$$F = k \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot \ell}{d} \quad \left(k = 2 \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am} \text{ vákuumban} \right)$$

A másik összefüggés egy B indukciójú térbe helyezett áramjárta vezető ℓ hosszúságú szakaszára ható erőt adja meg: $F = B I \ell$

A két összefüggés egybevetéséből, az egységnyi adatok behelyettesítésével, az I árammal átjárt egyenes vezetőtől $d = r = 1$ m távolságban kialakuló indukció értéke vákuumban:

$$B = k \frac{I_1}{d} = 2 \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{m^2}$$

A térerősség és az indukció értékei alapján a vákuum permeabilitása tehát:

$$\mu_0 = \frac{B}{H} = \frac{2 \cdot 10^{-7}}{\frac{1}{2\pi}} = 4\pi \cdot 10^{-7} = 12,56 \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

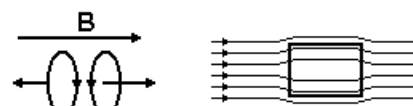
A mágneses tér hatása az anyagokra

A különféle anyagokban, ugyanakkora térerősség hatására különböző mértékű indukció alakul ki. Az anyagok mágneses térben mutatott viselkedésének jellemzésére, a bennük létrehozható indukció és a vákuumban létrehozható indukció aránya alkalmas. A relatív permeabilitás tehát azt mutatja meg, hogy egy anyag a vákuumhoz viszonyítva, hányszorosára növeli meg az indukciót.

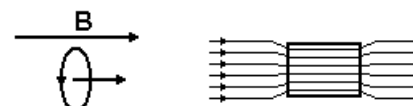
Jele: $\mu_r = \frac{B_{\text{anyag}}}{B_{\text{vákuum}}}$

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 tulajdonságai az anyagra jellemző elemi köráramokra, valamint a külső mágneses tér kölcsönhatására vezethetők vissza.

Diamágneses anyagokban ellentétesen keringő elektronpárok vannak. Külső tér hatására az egymást kompenzáló elemi köráramok egyensúlya megbomlik. A külső térrel azonos irányba mutató köráram elektronja lelassul, az ellentétesen mutató párja felgyorsul. A külső térrel azonos irányú köráram lecsökken, az ellenkező irányú köráram növekszik, a tér eredőben csökken. Az indukció csökkenése $n \times 10^{-4} - 10^{-7}$ értékű, azaz $\mu_r < 1$. Diamágneses anyagok: Cu, Pb, Ag, Hg, Si, S, P, nemes gázok, szerves vegyületek.



Paramágneses anyagokban páratlan számú elektronok vannak, ezért az elemi köráramok kompenzálatlanok. Külső tér hatására a rendezetlen köráramok a tér irányába állva kismértékben növelik az indukciót. Paramágneses anyag a fémek többsége, néhány gáz, (O_2).



A $\mu_r \approx 1$.

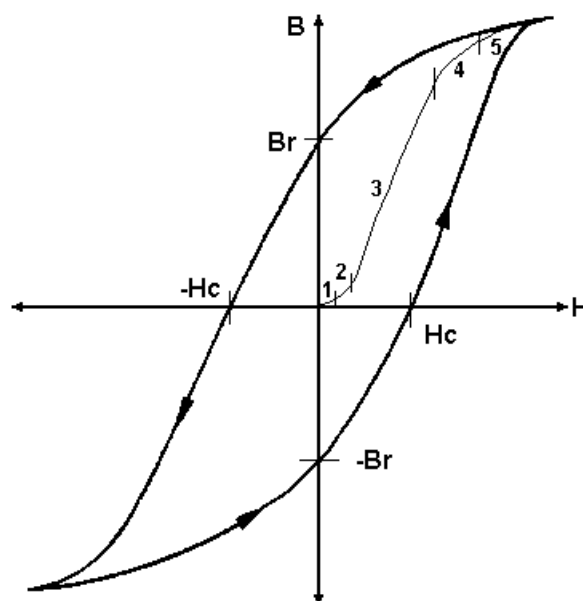
Ferromágneses anyagok harmadik elektron pályáján 4-3-2 kiegyenlített, ellenforgó pár nélküli elektron van. Ezek az elektronpörgések, mint kiegyenlített köráramok beállnak a külső tér irányába és jelentősen megnövelik az indukciót.



A ferromágneses anyagokban az atomok ún. WEISS féle tartományokat alkotnak, melyeken 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 nikkel, illetve ezek ötvöze. A relatív permeabilitásuk $\mu_r \gg 1$. A ferromágneses anyagok permeabilitása nem lineáris mennyiség, tehát kétszer akkora térerősséghez nem tartozik kétszer akkora indukció. Emiatt a ferromágneses anyagok ún. B / H görbét, a histerézis karakterisztikát, csak grafikusán lehet megadni. A histerézis görög szó, késlekedést jelent.

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 határozzák meg. Az első mágnesezési, ún. szűz görbe az origóból indul. Az első mágnesezési görbe szakaszai:

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



Az egyszer felmágnesezett anyagban a térerősség megszűnése után is marad vissza indukció, melyet remanens indukciónak (Br) nevezünk. A remanens indukciót a koercitív térerősség (Hc) 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 lemágneseződik, demagnetizálódik (pl. magnetofonszalag törlése).

A ferromágneses anyagoknak egy adott hőmérsékleten megváltozik a mágneses tulajdonsága, mivel a hő mozgás "szétrázza" a tartományokat. Azt a hőmérsékletet ahol a ferromágneses anyagok paramágneses jellegűvé válnak ($\mu_r \approx 1$), 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 $2-3 \cdot 10^6$ relatív permeabilitás érhető el.

Lágymágneses anyagok hiszterézis görbéje keskeny. Koercitív térerősségük $H_c < 300$ A/m. Az elemi mágneses tartományok átforgatásához szükséges energia a hiszterézis veszteség, ami az anyagban elnyelődik, azaz az anyag hőmérsékletét növeli. A veszteséget a nagyobb H_c érték és az átmágnesezés gyakorisága növeli. Lágymágneses anyagok:

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

PERMALOY: 55% Fe, 45% Ni, $\mu_r = 8 \cdot 10^5$, $H_c \approx 5$ A/m

SUPERMALOY: 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 sajtolva állítják elő a ferriteket. Kialakításuk alapján lehetnek: rúd, fázék, EI vasmagok.

Az utolsó fejezetben, lágymágneses anyagokból felépített mágneses körök számítására, mintafeladatok találhatók.

Keménymágneses anyagok hiszterézis görbéje széles, a nagy koercitív térerősség miatt a remanens indukciójukat nehéz megváltoztatni. A $H_c > 10^3$ A/m anyagok az állandó vagy permanens mágnesek. A gyártáshoz korábban szénötvöztetésű acélt, majd króm, kobalt és wolfram ötvözeteket is használtak. A kohászati úton előállított alkatrészeket csak megmunkálás után mágnesezik fel, mivel az alkatrészre tapadó forgács akadályozná a megmunkálást. Különleges állandó mágnes: ALNICO: 50% Fe, 8% Al, 24% Co, $H_c \approx 50$ kA/m

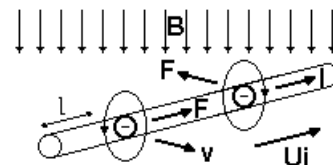
Felhasználási terület: elektromechanikus műszerek, hangszóró, stb.

Elektromágneses indukció

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

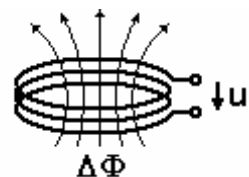
Mozgási indukció akkor jön létre, ha egy vezető és az őt körülvevő mágneses tér egymáshoz viszonyítva elmozdul. Egy B indukciójú mágneses térben, a tér irányával α szöget bezáró, v sebességgel mozgó, ℓ hosszúságú vezetőben indukálódó feszültség:

$$u_i = B \ell v \sin \alpha.$$



A 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. 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 mozgatását akadályozza. (Lenz törvény)

Nyugalmi indukció akkor jön létre, ha egy vezető körül megváltozik a mágneses tér és elmozdulás nem történik. A mágneses tér változását vagy a vezetőben folyó áram megváltozása vagy egy másik, közelben lévő, vezetőben folyó áram megváltozása idézheti elő. Egy vezető hurokban feszültség indukálódik, ha az általa körülvelt térben a mágneses fluxus megváltozik. Az indukált feszültség a fluxus megváltozásának sebességével arányos.



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

Ha a vezető hurok n -szer veszi körül a teret (n menetű tekercs), akkor az indukált feszültség is n szerez 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 mozgatására illetve a fluxus változásra fordított munkával.

Az induktivitás

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

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

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

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

A $\Delta\Phi$ -t a nyugalmi indukció összefüggésbe helyettesítve:

$$u_i = n^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \frac{A}{\ell} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

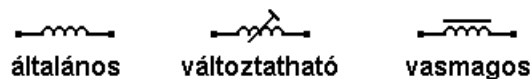
A tekercsben indukált feszültség az áramváltozás sebességétől és a tekercs adatait tartalmazó arányossági tényezőtől függ. Ezt az arányossági tényezőt nevezzük önindukciós tényezőnek vagy induktivitásnak.

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

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.

Rajz jele:

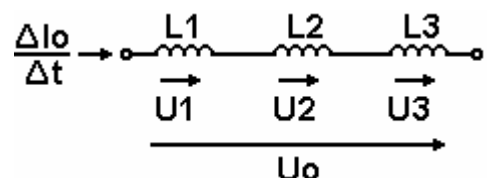


A tekercsek típusai: a közrefogott anyag alapján: légmagos és vasmagos
a felhasználás alapján: szűrő és hangoló

A tekercsek jellemzői: névleges induktivitás
tűrés
névleges egyenáram
jósági tényező

Tekercsek hálózatai

A sorosan kapcsolt induktivitásokon azonos az áram.



A huroktörvény alapján: $U_o = U_1 + U_2 + U_3$

Az inductivitással és áramváltozással kifejezve:
$$L_0 \cdot \frac{\Delta I_0}{\Delta t} = L_1 \cdot \frac{\Delta I_0}{\Delta t} + L_2 \cdot \frac{\Delta I_0}{\Delta t} + L_3 \cdot \frac{\Delta I_0}{\Delta t}$$

Az eredő inductivitás:
$$L_0 = L_1 + L_2 + L_3$$

A sorosan kapcsolt inductivitások egyetlen inductivitással helyettesíthetők, melynek értéke a rész inductivitások összegével egyezik meg.

A párhuzamosan kapcsolt inductivitásokon azonos a feszültség.

A csomóponti törvény alapján:

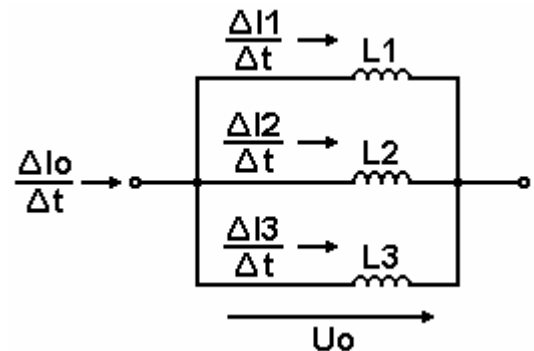
$$\frac{\Delta I_0}{\Delta t} = \frac{\Delta I_1}{\Delta t} + \frac{\Delta I_2}{\Delta t} + \frac{\Delta I_3}{\Delta t}$$

Az inductivitással és a feszültséggel kifejezve:

$$\frac{U_0}{L_0} = \frac{U_0}{L_1} + \frac{U_0}{L_2} + \frac{U_0}{L_3}$$

Az eredő inductivitás:

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

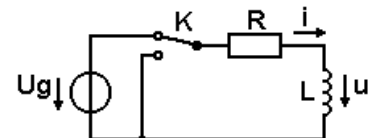


A párhuzamosan kapcsolt inductivitások egyetlen inductivitással helyettesíthetők, melynek értéke a rész inductivitások reciprokok összegének a reciprokával egyezik meg. Két párhuzamos inductivitás esetén használható a replusz művelet.

Induktív fogyasztó be és kikapcsolása

Az induktív fogyasztó - Lenz törvénye értelmében - bekapcsoláskor az áram kialakulását, kikapcsoláskor az áram megszűnését gátolja.

A kapcsoló zárásakor a meginduló áram fluxus változást hoz létre a tekercsben. A fluxus változás feszültséget indukál, mely a generátor feszültségével szembe kapcsolódva akadályozza az áram kialakulását. Amikor a tekercsben folyó áram és így a fluxus is állandósul, a feszültség indukálása megszűnik. Ebben az esetben a tekercsben nem esik feszültség, rövidzárként viselkedik. A bekapcsolási áram és feszültség változás időbeli lefolyása csak az ellenállás és az inductitás által együttesen meghatározott $\tau = L / R$ időállan-



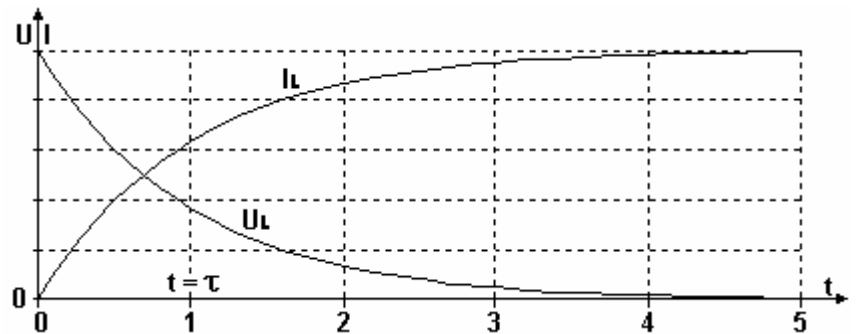
dó értékétől függ. Az időállandót az ellenállás ellenkező értelemben befolyásolja, mint a kondenzátor esetében. Kisebb ellenállás nagyobb végértékű áramot enged meg az inductivitáson. A nagy áramváltozás nagy önindukciós feszültséget kelt, tehát a nagyobb akadályozó hatás időben jobban elhúzódó folyamatot eredményez. Az időállandó ebben az esetben is a

végérték 63%-nak eléréséhez szükséges időtartamot jelenti.

Az induktivitás feszültségének és áramának pillanat értékét leíró összefüggések és időbeli lefolyásuk bekapcsoláskor:

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

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

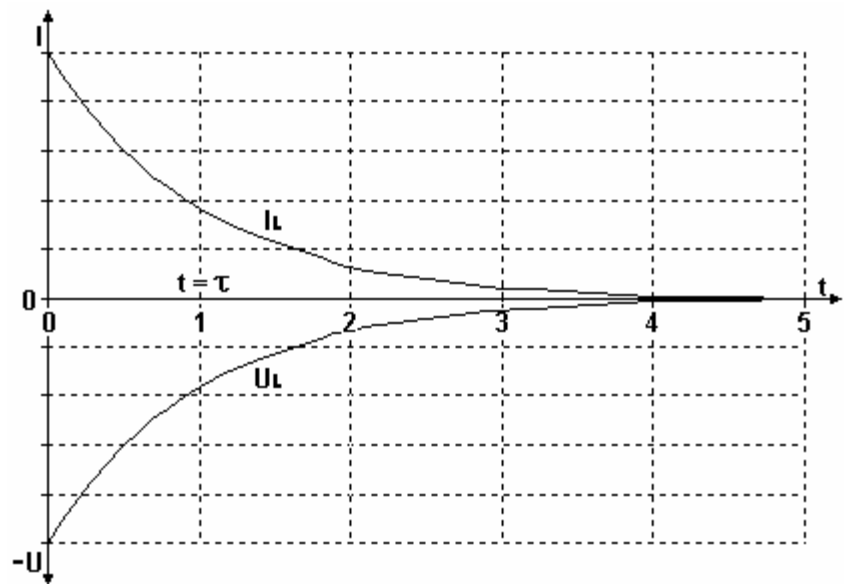


Ha $t = 0$,	akkor	$u_L = U_g$	és	$i_L = 0$
Ha $t = \infty$,	akkor	$u_L = 0$	és	$i_L = U_g / R$
Ha $t = \tau$,	akkor	$u_L = 0,37 U_g$	és	$i_L = 0,63 U_g / R$

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 tekercsrel párhuzamosan kapcsolódó ellenálláson áramot hajt át, azaz a tekercsben felhalmozott mágneses energia az ellenálláson hővé alakul. 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. Védekezés gyors szétválású érintkezőkkel, nagyobb teljesítmények esetén ívöltő kamrával lehetséges. Az induktivitás feszültségének és áramának pillanat értékét leíró összefüggések és időbeli lefolyásuk kikapcsoláskor:

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

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

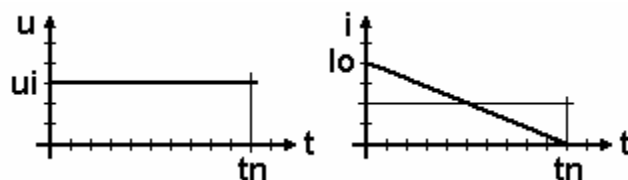


Ha $t = 0$, akkor	$u_L = - U_g$ és $i_L = U_g / R$
Ha $t = \infty$, akkor	$u_L = 0$ és $i_L = 0$
Ha $t = \tau$, akkor	$u_L = - 0,37 U_g$ és $i_L = 0,37 U_g / R$

Az induktivitás bekapcsoláskor energiát vesz fel, azaz fogyasztó, kikapcsoláskor energiát ad le, azaz generátor jellegű kétpólus. Állandósult állapotban vagy egyenáram esetén az indukált feszültség nulla, a tekercs egyenáramú szempontból rövidzár. Változó vagy váltakozó áram esetén az ellentétes irányú indukált feszültség miatt, a tekercs, váltakozó áramú szempontból szakadás.

A tekercsben felhalmozott energia

Egy ideális, veszteségmentes tekercsben tárolt energia a kikapcsolási időfüggvény alapján a $W = U I t$ összefüggéssel nem határozható meg, mert sem az áram sem a feszültség nem állandó. Egy tekercsben indukálódó feszültség értéke állandó, ha a benne folyó áram egyenletesen változik, azaz az időegység alatti áramváltozás állandó.



A tekercsben tárolt energia az áramgörbe alatti területtel, $t_n \cdot I_o / 2$ -vel és az indukált feszültséggel kifejezve:

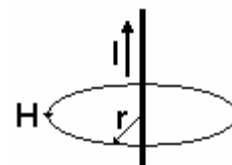
$$W = \frac{1}{2} u_i \cdot I_o \cdot t_n = \frac{1}{2} L \frac{\Delta I_o}{\Delta t_n} I_o \cdot t_n = \frac{1}{2} L \cdot I_o^2$$

Mintafeladatok mágneses körök számítására

1. Mekkora a térerősség és a mágneses indukció egy egyenes vezetőtől 5 cm távolságban, ha abban $I = 25$ A áram folyik?

$$H = \frac{\Theta}{\ell} = \frac{I \cdot n}{2 \cdot r \cdot \pi} = \frac{25}{2 \cdot 0,05 \cdot \pi} = 79,5 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

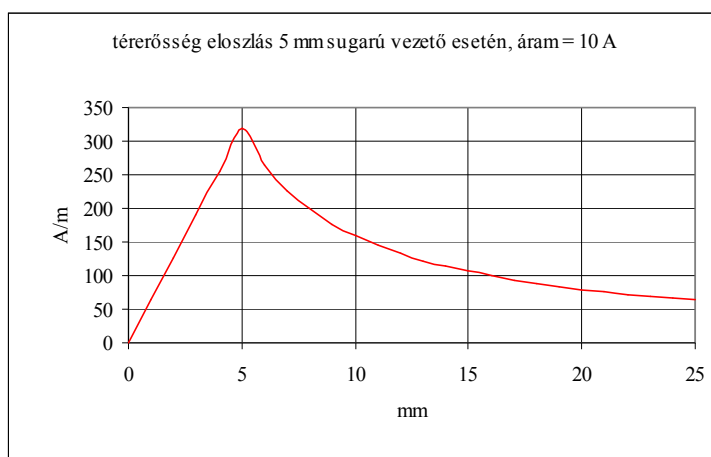
$$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = 12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 79,5 = 9,9 \cdot 10^{-5} \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$$



2. Egy kör keresztmetszetű 1 cm átmérőjű egyenes vezetőben 10 A áram folyik. Mekkora a térerősség a vezeték felszínén és a vezeték tengelyétől mért 2 mm távolságban?

$$H_{\text{felszín}} = \frac{\Theta}{\ell} = \frac{I \cdot n}{D \cdot \pi} = \frac{10}{0,01 \cdot \pi} = 318,3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$H_{2\text{mm}} = \frac{\Theta}{\ell} \cdot \frac{r'}{r} = \frac{I \cdot n}{2 \cdot r \cdot \pi} \cdot \frac{r'}{r} = \frac{10}{2 \cdot 0,005 \cdot \pi} \cdot \frac{0,002}{0,005} = 127,3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$



3. Egy 5 cm átmérőjű, 0,6 m hosszú, 1600 menetes egyenes tekercsben 3 A áram folyik. Mekkora a légmagos tekercs belsejében a fluxus?

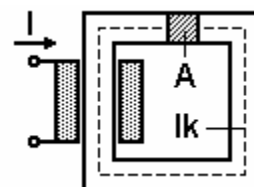
$$\Phi = B \cdot A = \mu \cdot H \cdot A = \mu \cdot \frac{I \cdot n}{\ell} \cdot A = \mu \cdot \frac{I \cdot n}{\ell} \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = 12,56 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{3 \cdot 1600}{0,6} \cdot \frac{0,05^2 \cdot \pi}{4}$$

$$\Phi = 1,97 \cdot 10^{-5} \text{ Vs}$$

4. Mekkora a mágneses térerősség abban a kör keresztmetszetű, gyűrű alakú légmagos tekercsben, melynek belső átmérője 5 cm, külső átmérője 7 cm, és a gerjesztése 50 Amenet? [265,26 A/m]

$$H = \frac{\Theta}{\ell} = \frac{\Theta}{D_{\text{közepes}} \cdot \pi} = \frac{\Theta \cdot 2}{(D_{\text{külső}} + D_{\text{belső}}) \cdot \pi} = \frac{50}{(0,07 + 0,05) \cdot \pi} = 265,25 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

5. Az ábrán látható zárt vasmag közepes erővonal hossza $\ell_k = 400$ mm, keresztmetszete $A = 4 \text{ cm}^2$. A tekercs menetszáma $N = 288$, a gerjesztő áram $I = 0,5 \text{ A}$. Mekkora lesz a vasban az indukció és fluxus, ha a relatív permeabilitás $\mu_r = 3100$. Mekkora lesz az indukció, ha a permeabilitást a dinamólemez B-H görbéje alapján határozzuk meg?



$$B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot \frac{I \cdot n}{\ell_k} = 12,56 \cdot 10^{-7} \cdot 3100 \cdot \frac{0,5 \cdot 288}{0,4} = 1,4 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$$

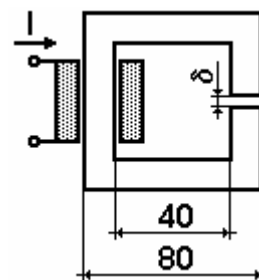
$$\Phi = B \cdot A = 1,4 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0,56 \text{ mVs}$$

A ferromágneses anyagok B-H görbéje nem lineáris, ezért a vasban kialakuló térerősség alapján kell az indukciót megkeresni a B-H görbén! A térerősség az előzőből:

$$H = 0,5 \cdot 288 / 0,4 = 360 \text{ A/m}$$

A csatolt B-H görbe alapján a 360 A/m térerősséghez kb. 1,1 Vs/m² indukció tartozik. (az alsó görbék mutatják a B-H görbe kezdeti szakaszát!)

6. Mekkora gerjesztő árammal lehet az ábrán adott méretű, négyzetes keresztmetszetű, vasmag, $\delta = 3 \text{ mm}$ légrésében 0,5 T mágneses indukciót létrehozni, ha a tekercs menetszáma 500 és a vasmag relatív permeabilitása 10^5 ? Mekkora árammal lehet létrehozni a vasmagban ugyanekkora indukciót légrés nélkül?



A vasmag közepes hossza: $4 \cdot (\text{Belső} + \text{Külső}) / 2$ - a légrés = 0,237 m !

A gerjesztési törvény alapján:

$$\Theta = H_{\text{vas}} \cdot \ell_{\text{vas}} + H_{\delta} \cdot \ell_{\delta} = \frac{B \cdot \ell_{\text{vas}}}{\mu_0 \cdot \mu_{\text{vas}}} + \frac{B \cdot \ell_{\delta}}{\mu_0 \cdot \mu_{\delta}} = \frac{B}{\mu_0} \left(\frac{\ell_{\text{vas}}}{\mu_{\text{vas}}} + \frac{\ell_{\delta}}{\mu_{\delta}} \right) = \frac{0,5}{12,56 \cdot 10^{-7}} \left(\frac{0,237}{10^5} + \frac{0,003}{1} \right)$$

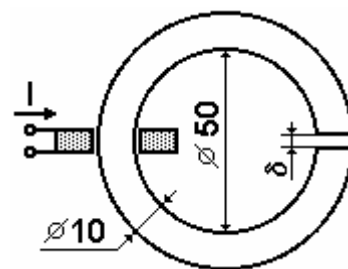
$$\Theta = I \cdot n = 1195,2 \text{ Amenet}$$

$$I = \frac{\Theta}{n} = \frac{1195,2}{500} = 2,39 \text{ A}$$

A légrés nélküli vas gerjesztéséhez szükséges áram az előző képlettel, a légrés adatok elhagyásával és 0,24 m közepes erővonal hosszal számítható. $I = 1,91 \text{ mA}$!

7. Mekkora lesz a kör keresztmetszetű, gyűrű alakú vasmag $\delta = 2$ mm légrésében az indukció, ha vasmag relatív permeabilitása 715 és a 120 menetes gerjesztő tekercsben 1,2 A áram folyik? Mekkora lesz a légrés indukció, ha a légrést kétszeresére növeljük? 42,5 mT]

A vasban az erővonal hossz: $(0,06 \cdot \pi) - \delta = 0,1865$ m



Az előző feladatból a gerjesztési törvényt az indukcióra kifejezve:

$$B = \frac{I \cdot n \cdot \mu_0}{\frac{\ell_{\text{vas}}}{\mu_{\text{vas}}} + \frac{\ell_{\delta}}{\mu_{\delta}}} = \frac{1,2 \cdot 120 \cdot 12,56 \cdot 10^{-7}}{\frac{0,1865}{715} + \frac{0,002}{1}} = 79,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \cong 80 \text{ mT}$$

Megjegyzés: A fluxus a vasmag keresztmetszetétől függetlenül mindenhol állandó, amelyik erővonal elindul az meg is érkezik. Ha a vas keresztmetszete állandó, akkor az indukció is állandó.

A kétszeres légrés indukciója ugyanezzel a képlettel számolható, de a vas erővonal hossz 2 mm-el kevesebb és a légrés 2 mm-el több! A végeredmény: $B' = 42,5$ mT

8. Mekkora gerjesztő áram hozza létre, a transzformátor lemezből készült vasmag 10 mm széles részében a 0,8 T indukciót? A vasmag vastagsága 14 mm. A gerjesztő tekercs menetszáma $N = 100$.

Közepes erővonal hosszúságok:

$$\ell_{10} = 2 \times 100 \text{ mm} = 0,2 \text{ m}$$

$$\ell_8 = 2 \times 50 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$$

A fluxus állandósága alapján:

$$\Phi_{10} = \Phi_8 = B_{10} \cdot A_{10} = B_8 \cdot A_8 \quad \text{amiből} \quad B_8 = 1 \text{ T}$$

A csatolt B-H görbe alapján:

$$B_{10} = 0,8 \text{ Vs/m}^2 \text{ indukcióhoz} \quad H_{10} = 205 \text{ A/m térerősség,}$$

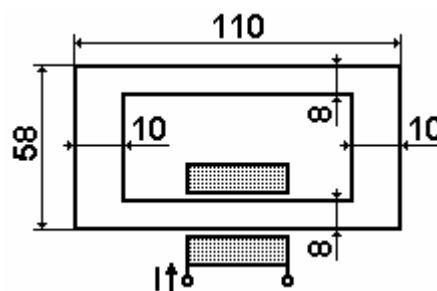
$$B_8 = 1 \text{ Vs/m}^2 \text{ indukcióhoz} \quad H_8 = 315 \text{ A/m térerősség tartozik.}$$

A gerjesztési törvényt használva:

$$\Theta = H_{10} \cdot \ell_{10} + H_8 \cdot \ell_8 = 205 \cdot 0,2 + 315 \cdot 0,1 = 83,5 \text{ Amenet}$$

A gerjesztő áram:

$$I = \Theta / N = 83,5 / 100 = \underline{\underline{0,835 \text{ A}}}$$



9. Az előző feladatban adott elrendezés esetén, mekkora lesz az indukció a vasmag 10 mm széles részében, ha a gerjesztő áram $I = 750$ mA.

Mivel az indukció, a térerősség és így a permeabilitás is ismeretlen, ezért a feladat csak próbálkozással oldható meg. Első nekifutásban feltételezünk egy fluxust vagy indukciót, majd kiszámoljuk, hogy ehhez mekkora gerjesztés kell. Ha a kapott gerjesztés kisebb vagy

nagyobb, mint a feladatban előírt, akkor a feltételezett fluxus vagy indukció megnövelt vagy csökkentett értékével újra számítást végzünk, egészen addig, amíg a számított és az előírt gerjesztések közötti eltérés egy adott értéknél kisebb nem lesz. Az ehhez tartozó indukció értéke a feladat megoldása!

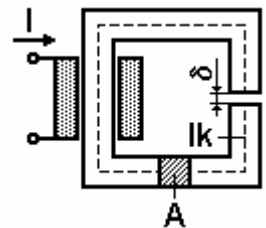
Első próba legyen az indukció 0,5 T!
 $B_{10} = 0,5 \text{ T}$ térősség a B-H görbéből $H_{10} = 125 \text{ A/m}$
 $B_8 = 0,625 \text{ T}$ $H_8 = 155 \text{ A/m}$
 a térerősségekből a gerjesztő áram: $I_1 = 0,43 \text{ A} \ll 0,75 \text{ A}$

Második próba: legyen az indukció 0,75 T!
 $B_{10} = 0,75 \text{ T}$ térősség a B-H görbéből $H_{10} = 190 \text{ A/m}$
 $B_8 = 0,94 \text{ T}$ $H_8 = 265 \text{ A/m}$
 a térerősségekből a gerjesztő áram: $I_2 = 0,72 \text{ A} < 0,75 \text{ A}$

Harmadik próba: legyen az indukció 0,76 T!
 $B_{10} = 0,76 \text{ T}$ térősség a B-H görbéből $H_{10} = 195 \text{ A/m}$
 $B_8 = 0,95 \text{ T}$ $H_8 = 280 \text{ A/m}$
 a térerősségekből a gerjesztő áram: $I = 0,755 \text{ A} \approx 0,75 \text{ A}$

A keresett indukció: $B_{10 / 075A} = \underline{\underline{0,76 \text{ Vs/m}^2}}$.

10. Az ábrán látható állandó keresztmetszetű vasmag anyaga dinamólemez. A közepes erővonal hosszúság $\ell_k = 0,45 \text{ m}$, a légrés szélessége $\delta = 1 \text{ mm}$. Az $N = 92$ menetes tekercsben $I = 5,9 \text{ A}$ áram folyik. Mekkora lesz a légrésben az indukció? A megoldáshoz a használja a dinamólemez B-H görbét!



A $\Theta = I \cdot N = 5,9 \cdot 92 = 542,8$ Amperet gerjesztés nagyobb része a légrésben, kisebb része a vasban oszlik meg.

Tegyük fel, hogy a teljes gerjesztés 80%-a a légrésre jut, tehát: $\Theta_\delta = 0,8 \cdot \Theta = 434,24 \text{ Am}$
A légrés indukció:

$$\Theta_\delta = \frac{B_\delta}{\mu_0} \cdot \delta \Rightarrow B_\delta = \frac{0,8 \cdot \Theta \cdot \mu_0}{\delta} = \frac{0,8 \cdot 542,8 \cdot 12,56 \cdot 10^{-7}}{0,001} = 0,5454 \text{ T}$$

A vas keresztmetszete állandó, tehát a $B_\delta = B_{\text{vas}}$!

A B-H görbe alapján:

$$B_{\text{vas}} = 0,5454 \text{ T} \quad \text{indukcióhoz} \quad H_{\text{vas}} = 135 \text{ A/m} \quad \text{térerősség tartozik.}$$

A vasra jutó gerjesztés: $\Theta_{\text{vas}} = H_{\text{vas}} \cdot (\ell_{\text{vas}} - \ell_\delta) = 135 \cdot 0,449 = 60,6 \text{ Am}$

A légrésre és a vasra jutó gerjesztések összege: $494,84 \text{ Am}$, ami $\ll$ a teljes gerjesztésnél!

Második feltevésben, a légrésre a teljes gerjesztés 85%-át válasszuk!

A képleteket mellőzve: $\Theta_\delta = 0,85 \cdot \Theta = 461,38 \text{ Am}$

$$B_\delta = 0,58 \text{ T}$$

$$H_{\text{vas}} = 140 \text{ A/m}$$

$$\Theta_{\text{vas}} = 62,86 \text{ Am}$$

$$\Theta_{\delta+\text{vas}} = 524,2 \text{ Am ami} < \text{a teljes gerjesztésnél!}$$

Harmadik feltevésben a légrésre a teljes gerjesztés 88%-át válasszuk!

A képleteket mellőzve: $\Theta_{\delta} = 0,88 \cdot \Theta = 477,7 \text{ Am}$

$$B_{\delta} = 0,6 \text{ T}$$

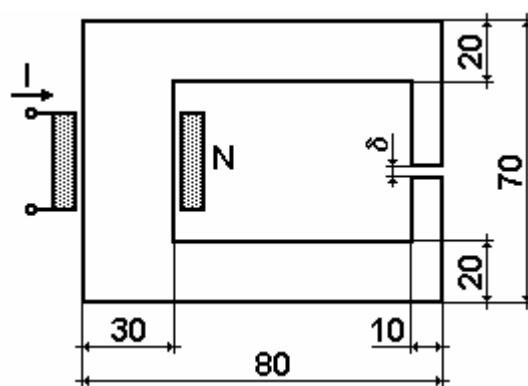
$$H_{\text{vas}} = 145 \text{ A/m}$$

$$\Theta_{\text{vas}} = 65,1 \text{ Am}$$

$$\Theta_{\delta+\text{vas}} = 542,8 \text{ Am ami} = \text{a teljes gerjesztéssel!}$$

A feladat megoldása: $B_{\delta} = 0,6 \text{ T}$.

11. Az adott méretű dinamólemezből készült vas-magot az $N = 330$ menetes tekercsben folyó $I = 1,5 \text{ A}$ áram gerjeszti. Mekkora lesz a $\delta = 1 \text{ mm}$ légrésében az indukció, ha a vasmag relatív permeabilitását állandó $\mu_r = 3500$ értékűnek tekintjük, és mekkora lesz akkor, ha a permeabilitást a dinamó-lemez B-H görbéje alapján vesszük figyelembe? A vasmag vastagsága mindenhol $v=20 \text{ mm}$. A megoldáshoz a fluxus állandóságából induljon ki!



Hosszok és keresztmetszetek:

$$\text{baloldali ág: } \ell_1 = 0,05 \text{ m}$$

$$A_1 = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{felső és alsó ág: } \ell_2 = 0,12 \text{ m}$$

$$A_2 = 0,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{jobboldali ág: } \ell_3 = 0,049 \text{ m}$$

$$A_3 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\text{légrés: } \ell_{\delta} = 0,001 \text{ m}$$

$$A_{\delta} = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Az elrendezésre felírható gerjesztési törvény $B = \Phi / A$ helyettesítéssel:

$$I \cdot N = \frac{\Phi}{\mu_0} \left(\frac{\ell_1}{A_1 \cdot \mu_r} + \frac{\ell_2}{A_2 \cdot \mu_r} + \frac{\ell_3}{A_3 \cdot \mu_r} + \frac{\ell_{\delta}}{A_{\delta}} \right)$$

Behelyettesítés után a közös fluxus értéke: $\Phi = 120 \mu\text{Vs}$

A légrés indukció értéke állandónak tekintett, $\mu_r = 3500$ permeabilitás esetén:

$$B_{\delta} = \Phi / A_{\delta} = \underline{0,6 \text{ T}}$$

A B-H görbe szerinti ismeretlen légrés indukciót a $\Phi = f(\Theta)$ függvény alapján is meg lehet határozni. Ennek a menete, hogy két választott fluxus értékhez meghatározunk két gerjesztési értéket, majd ebből a függvényből az adott gerjesztéshez tartozó fluxust illetve az indukciót. Feltételezzük, hogy a nemlineáris kapcsolat nem okoz nagy hibát!

$$\text{Első légrés indukció } B_{\delta} = 0,5 \text{ T} \rightarrow H_{\delta} = B_{\delta} / \mu_0 = 398,1 \text{ kA/m}$$

$$\text{a légrésben a fluxus: } \Phi = B_{\delta} \cdot A_{\delta} = 0,5 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 100 \mu\text{Vs}$$

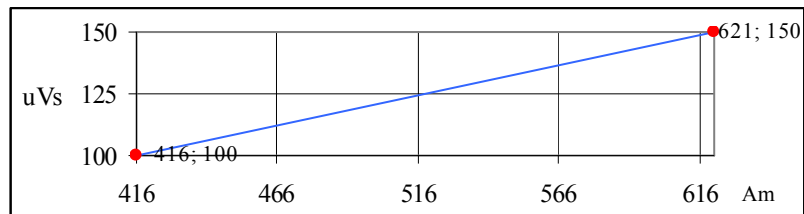
$$\text{B és H értékek a B-H görbéből: } B_1 = \Phi / A_1 = 0,166 \text{ T} \rightarrow H_1 = 53 \text{ A/m}$$

$$B_2 = \Phi / A_2 = 0,25 \text{ T} \rightarrow H_2 = 74 \text{ A/m}$$

$$B_3 = \Phi / A_3 = 0,5 \text{ T} \rightarrow H_3 = 125 \text{ A/m}$$

az első gerjesztés értéke: $\Theta = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_3 \cdot l_3 + H_{18} \cdot l_8 = \underline{416 \text{ Amenet}}$
 Második légrés indukció: $B_8 = 0,75 \text{ T} \rightarrow H_8 = B_8 / \mu_0 = 597,1 \text{ kA/m}$
 a légrésben a fluxus: $\Phi = B_8 \cdot A_8 = 0,75 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} = 150 \mu\text{Vs}$
 B és H értékek a B-H görbéből: $B_1 = \Phi / A_1 = 0,25 \text{ T} \rightarrow H_1 = 74 \text{ A/m}$
 $B_2 = \Phi / A_2 = 0,375 \text{ T} \rightarrow H_2 = 100 \text{ A/m}$
 $B_3 = \Phi / A_3 = 0,75 \text{ T} \rightarrow H_3 = 185 \text{ A/m}$
 a második gerjesztés értéke: $\Theta = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_3 \cdot l_3 + H_{18} \cdot l_8 = \underline{621 \text{ Amenet}}$

A $\Phi = f(\Theta)$ függvény:



A $\Theta = 495 \text{ Am}$ gerjesztéshez tartozó Φ_x fluxus meghatározása:

$$\text{meredekség} = \frac{150 - 100}{621 - 416} = \frac{\Phi_x - 100}{495 - 416}$$

Az összefüggésből: $\Phi_x = 119,2 \mu\text{Vs}$

A keresett légrés indukció: $B_x = \Phi_x / A_8 = 119,2 \cdot 10^{-6} / 0,2 \cdot 10^{-3} = \underline{0,596 \text{ T}}$

A kiszámított légrés indukcióhoz tartozó gerjesztés ellenőrzése:

légrés indukció: $B_x = 0,596 \text{ T} \rightarrow H_8 = B_8 / \mu_0 = 474,5 \text{ kA/m}$

a légrésben a fluxus: $\Phi_x = 119,2 \mu\text{Vs}$

B és H értékek a B-H görbéből: $B_1 = \Phi_x / A_1 = 0,199 \text{ T} \rightarrow H_1 = 62 \text{ A/m}$

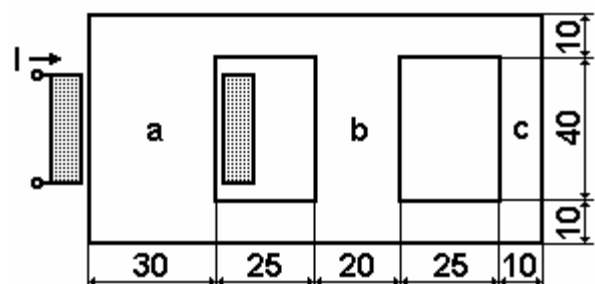
$B_2 = \Phi_x / A_2 = 0,298 \text{ T} \rightarrow H_2 = 83 \text{ A/m}$

$B_3 = \Phi_x / A_3 = 0,596 \text{ T} \rightarrow H_3 = 148 \text{ A/m}$

a gerjesztés értéke: $\Theta = H_1 \cdot l_1 + H_2 \cdot l_2 + H_3 \cdot l_3 + H_{18} \cdot l_8 = 495,2 \text{ Amenet}$

A 0,2 Amenet hiba elhanyagolható, a meghatározott légrés gerjesztés helyes!

12. Mekkora árammal lehet az adott transzformátor-lemezből készült vasmag középső (b jelű) oszlopában $\Phi_b = 150 \mu\text{Vs}$ fluxust létrehozni? A gerjesztő tekercs 100 menetes. A vasmag vastagsága $v = 15 \text{ mm}$.



Közepes erővonal hosszok és keresztmetszetek:

$l_a = 0,05 \text{ m}$	$A_a = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
$l_{ab} = 0,1 \text{ m}$ (alsó+felső)	$A_{ab} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
$l_b = 0,05 \text{ m}$	$A_b = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
$l_{bc} = 0,08 \text{ m}$ (alsó+felső)	$A_{bc} = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$
$l_c = 0,05 \text{ m}$	$A_c = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$

A megoldás lépései:

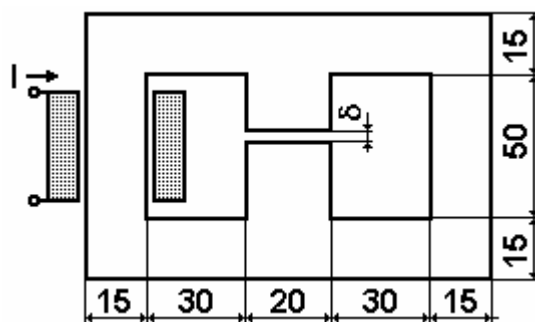
- 1) „b” oszlopban az indukció az előírt fluxus alapján
- 2) „b” oszlopban a térerősség a B-H görbe alapján
- 3) „b” oszlopban a részgerjesztés térerősség és hossz alapján
- 4) „c” oszlopban a térerősség a $\Theta_b = \Theta_{bc} + \Theta_c$ alapján
- 5) „c” oszlopban az indukció a B-H görbe alapján
- 6) „c” oszlopban a fluxus az indukció alapján
- 7) „a” oszlopban a fluxus a „b” és „c” oszlopok fluxusának összege
- 8) „a” oszlopban az indukció a fluxus alapján
- 9) „a” oszlopban a térerősség a B-H görbe alapján
- 10) gerjesztés és gerjesztő áram meghatározása

Számítások:

- 1) $B_b = \Phi_b / A_b = 150 \cdot 10^{-6} / 0,3 \cdot 10^{-3} = 0,5 \text{ T}$
- 2) $B_b = 0,5 \text{ T}$ -hoz tartozó térerősség a B-H görbéből $H_b = 125 \text{ A/m}$
- 3) $\Theta_b = H_b \cdot \ell_b = 125 \cdot 0,05 = 6,25 \text{ Am}$
- 4) A nem gerjesztett („b” és „c”) ágakra jutó részgerjesztés azonos, tehát:
 $\Theta_b = H_{bc} \cdot \ell_{bc} + H_c \cdot \ell_c = H_{bc-c} \cdot (\ell_{bc} + \ell_c)$
A „bc” és „c” ágak keresztmetszete állandó ezért egy ágnek tekinthetők! Ha nem állandó a keresztmetszet, akkor próbálgatással kell meghatározni a fluxust! (9.f.a.)
 $6,25 = H_{bc-c} \cdot 0,13$ amiből $H_{bc-c} = 48 \text{ A/m}$
- 5) $H_{bc-c} = 48 \text{ A/m}$ -hez tartozó indukció a B-H görbéből $B_{bc-c} = 0,14 \text{ T}$
- 6) $\Phi_{bc-c} = B_{bc-c} \cdot A_{bc-c} = 0,14 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = 21 \mu\text{Vs}$
- 7) $\Phi_{a-ab} = \Phi_b + \Phi_{bc-c} = 150 + 21 = 171 \mu\text{Vs}$
- 8) $B_{ab} = \Phi_{a-ab} / A_{ab} = 171 \cdot 10^{-6} / 0,15 \cdot 10^{-3} = 1,14 \text{ T}$
 $B_a = \Phi_{a-ab} / A_a = 171 \cdot 10^{-6} / 0,45 \cdot 10^{-3} = 0,38 \text{ T}$
- 9) $B_{ab} = 1,14 \text{ T}$ -hoz tartozó térerősség a B-H görbéből $H_{ab} = 430 \text{ A/m}$
 $B_a = 0,38 \text{ T}$ -hoz tartozó térerősség a B-H görbéből $H_a = 100 \text{ A/m}$
- 10 $\Theta = H_a \cdot \ell_a + H_{ab} \cdot \ell_{ab} + H_b \cdot \ell_b$ (vagy $H_{bc-c} \cdot \ell_{bc-c}$)
 $\Theta = 100 \cdot 0,05 + 430 \cdot 0,1 + 125 \cdot 0,05 = 54,25 \text{ Am}$
 $I = \Theta / N = 54,25 / 100 = 542,5 \text{ mA}$

A feladat megoldása: $I = 542,5 \text{ mA}$

13. Mekkora gerjesztéssel lehet az adott vasmag középső oszlopában kialakított, $\delta = 1 \text{ mm}$ szélességű légrésben $0,25 \text{ T}$ indukciót létrehozni? A vasmag anyaga transzformátor-lemez. A vasmag vastagsága ismeretlen!



A megoldás lépései:

- a középső oszlop részgerjesztésének számítása az adott indukcióhoz,
- a jobboldali ág indukciójának számítása a középső oszlop részgerjesztése alapján,
- baloldali ág indukciójának majd a teljes kör gerjesztésének számítása.

Erővonal hosszok: $\ell_B = 0,16 \text{ m}$ bal oszlop és alsó-felső járom
 $\ell_K = 0,064 \text{ m}$ középső oszlop
 $\ell_\delta = 0,001 \text{ m}$ légrés
 $\ell_J = 0,16 \text{ m}$ jobb oszlop és alsó-felső járom

Középső oszlop ferromágneses rész térerőssége B-H görbe szerint:

$$B_\delta = B_K = 0,25 \text{ T} \quad \rightarrow \quad H_K = 75 \text{ A/m}$$

Középső oszlop részgerjesztése:

$$\Theta_K = H_K \cdot \ell_K + H_\delta \cdot \ell_\delta = H_K \cdot \ell_K + \frac{B_\delta}{\mu_0} \cdot \ell_\delta = 75 \cdot 0,064 + \frac{0,25}{12,56 \cdot 10^{-7}} \cdot 0,001 = 247 \text{ Am}$$

Jobb oldali és középső oszlop részgerjesztése azonos.

$$\Theta_J = \Theta_K$$

Jobb oldali oszlop keresztmetszete és ezért térerőssége is állandó:

$$H_J = \Theta_J / \ell_J = 247 / 0,16 = 1544 \text{ A/m}$$

Középső oszlop indukciója a B-H görbe szerint:

$$H_J = 1544 \text{ A/m} \quad \rightarrow \quad B_J = 1,41 \text{ T}$$

Bal oldali oszlop fluxusa, a középső és a jobb oszlop fluxusának összege.

$$\Phi_B = \Phi_K + \Phi_J$$

Bal oldali oszlop keresztmetszete állandó ezért az indukcióra is igaz az összegzés:

$$\frac{B_B}{A_B} = \frac{B_K}{A_K} + \frac{B_J}{A_J} \Rightarrow B_B = \frac{B_K \cdot A_B}{A_K} + \frac{B_J \cdot A_B}{A_J} = \frac{0,25 \cdot 15}{20} + \frac{1,41 \cdot 15}{15} = 1,59 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2}$$

A bal oldali oszlop térerőssége a B-H görbe szerint:

$$B_B = 1,59 \text{ T} \quad \rightarrow \quad H_B = 6000 \text{ A/m}$$

A rendszer teljes gerjesztése a középső (vagy jobb) oldali részgerjesztést felhasználva:

$$\Theta = H_B \cdot \ell_B + \Theta_K = 6000 \cdot 0,16 + 247 = \underline{\underline{1207 \text{ Am}}}$$

A feladatokhoz használt B-H görbe a következő oldalon található!

