

Elektrotechnika

VII.

Mágneses tér

Elektromágneses indukció

7.1. Mágneses tér

1. Mágneses tér (mező)

- A tér azon része, ahol mágneses kölcsönhatás tapasztalható.
- Létrehozhatja: áramjárta vezeték vagy állandó mágnes (különleges ötvözet)
- mágneses kölcsönhatás → vonzó vagy taszító erő
- szemléltetése: erővonalakkal
- két mágneses pólus van: északi és déli
- azonos pólusok taszítják, a különbözők vonzzák egymást !!
- mindkét pólus vonzza a fémek egy részét (vas, nikkel, kobalt, ...)

2. Áram mágneses hatása

- az áramló töltéshordozók mágneses teret hoznak létre.
- a mágneses tér erőssége arányos az árammal !
- két áram járta vezeték között erőhatás lép fel →

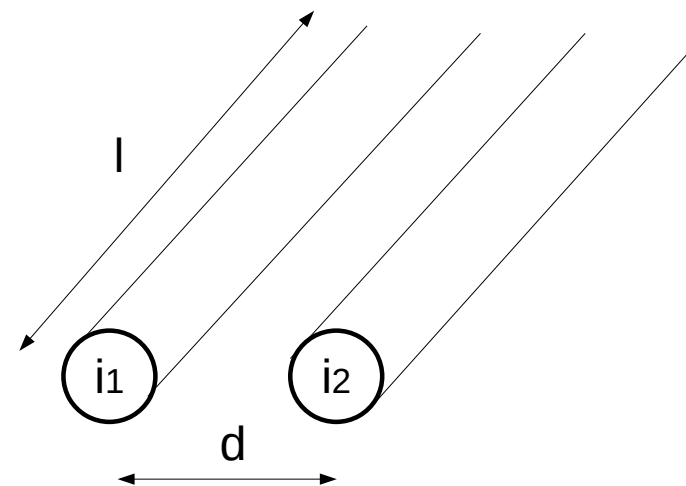
$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} * l * \frac{i_1 * i_2}{d}$$

Légüres térben

$d \rightarrow$ távolság ! $l \rightarrow$ hossz

$\mu_0 \rightarrow$ vákuum mágneses permeabilitása

Ha ellentétes áramirány → taszító erő,
ha azonos áramirány → vonzó erő !!



7.1. Mágneses tér

3. Mágneses mennyiségek

Gerjesztés

A mágneses teret létrehozó áramok összege

jele: Θ (theta)

mértékegysége: A (amper)

Mágneses indukció

(vagy mágneses fluxus sűrűség)

A mágneses tér nagyságát és irányát jellemzi
(vektoros mennyiség !)

jele: B

mértékegysége: T (Tesla, Vs/m²)

Mágneses térerősség

Az áram gerjesztő hatásának mértéke
Egységnyi hosszra jutó gerjesztés

jele: H mértékegysége: A/m
(amper/méter)

Zárt görbére, ha H állandó \rightarrow

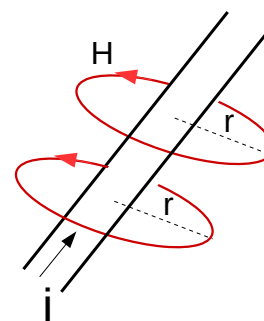
$$\Theta = H * l$$

$l \rightarrow$ görbe hossza

Egy vezeték körül, r távolságra \rightarrow

$$H = i / (2\pi * r)$$

(vektoros
mennyiség !)



„jobbkez”
szabály

7.1. Mágneses tér

3. Mágneses mennyiségek

Mágneses fluxus (indukció folyam)

Egy adott felületen áthaladó összes indukció vonal

jele: Φ (fi) mértékegysége: Vs (volt-secundum, vagy weber)

$$\Phi = B * A \quad A \rightarrow \text{felület}$$

Mágneses permeabilitás

- A mágneses térerősséget, és a hatására létrejövő mágneses indukciót kapcsolja össze, jele: μ

$$B = \mu * H$$

- Az anyag mágneses tulajdonsága

$\mu = \mu_0 * \mu_r$ - $\mu_0 \rightarrow$ a vákuum mágneses permeabilitása ($4\pi * 10^{-7}$ Vs/Am)
- $\mu_r \rightarrow$ adott anyag relatív permeabilitása

μ_r megmutatja, hogy a mágneses indukció hányszor lesz nagyobb ha vákuum helyett az adott anyag van a térben

(μ_r jellemző értékek \rightarrow vákuum 1, levegő ≈ 1 , víz ≈ 1 , vas 300 – 8000, ...)

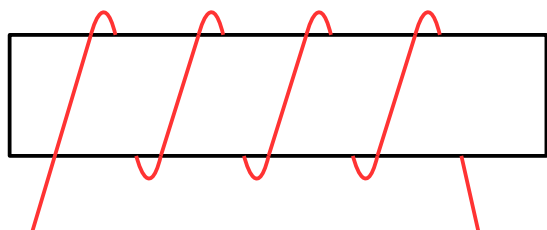
- **ferromágneses anyagok:** μ_r sokkal nagyobb mint 1, pl. vas, vas-nikkel ötvözet
A mágneses tér erejét növelik !!

7.2. Tekercs

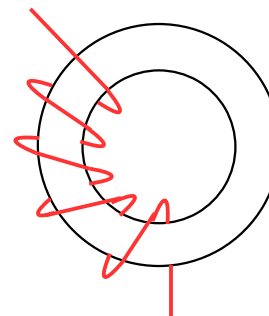
1. Tekercs

- Egy alkatrész → vezető huzal (szigetelve) feltekercselve

szolenoid




toroid



- fontos jellemzői → menetszám, N (hányszor van feltekerve)
→ induktivitás, L (mértékegysége: H, henry)

- rajzjele: 

vasmaggal: 

- vasmag: a tekercs belsejében lévő ferromágneses anyag
→ sokkal erősebb mágneses tér hozható létre !

- szolenoid induktivitása:

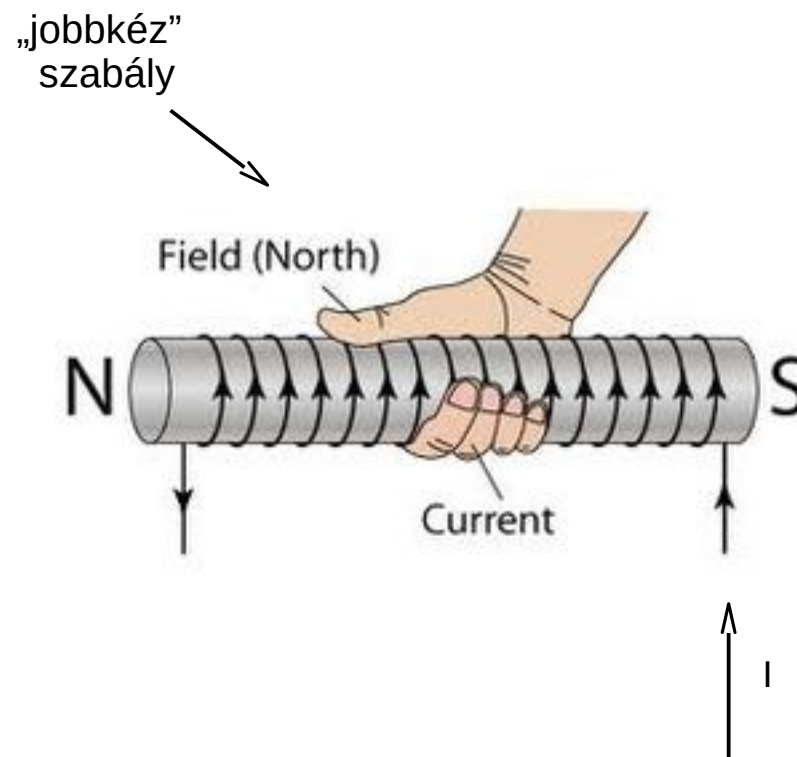
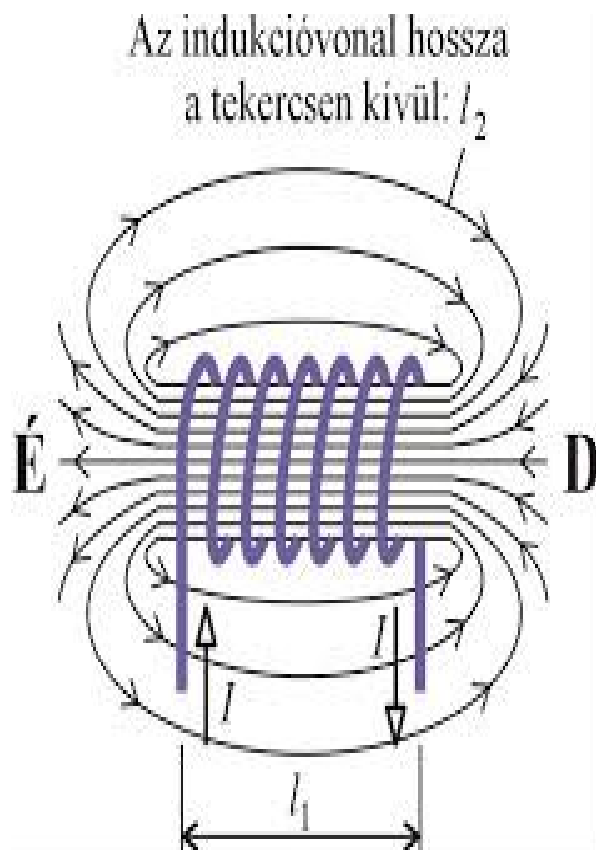
$$L = N^2 * \mu * A / l$$

A → keresztmetszet
 l → hossz

7.2. Tekercs

2. Tekercs mágneses tere

menetszám, $N \rightarrow N$ darab hurok \rightarrow gerjesztés, $\Theta = N * I$
 $\rightarrow N$ -szer erősebb mágneses tér !!



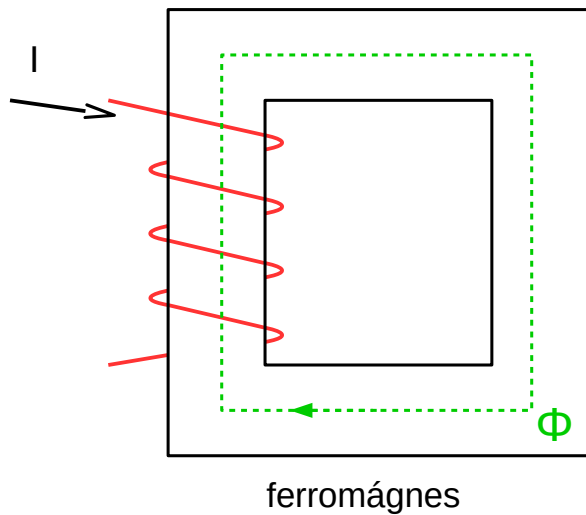
Térerősség a tekercs belsejében: $H \sim N * i / l_1$

l_1 a tekercs hossza

7.3. Mágneses körök

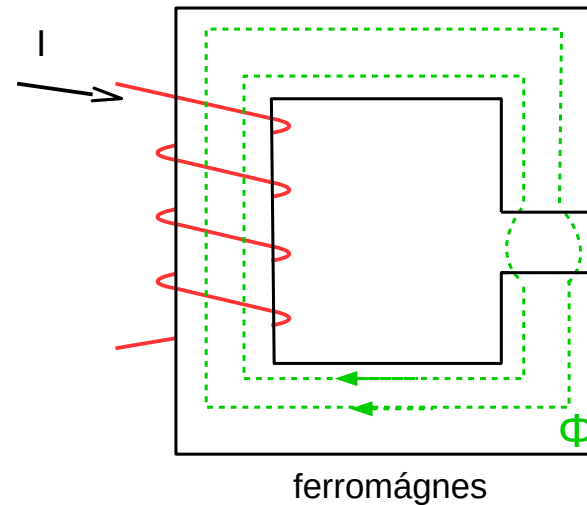
1. Mágneses kör

a, zárt



b, nyitott

Tartalmaz légrést → az indukció vonalak kilépnek a levegőbe → szórt fluxus



Szórási tényező – ϵ

A teljes fluxus hány százalékát nem tudjuk használni

2. Mágneses Ohm törvény

$$\Theta = \Phi * R_m$$

Gerjesztés = fluxus * mágneses ellenállás

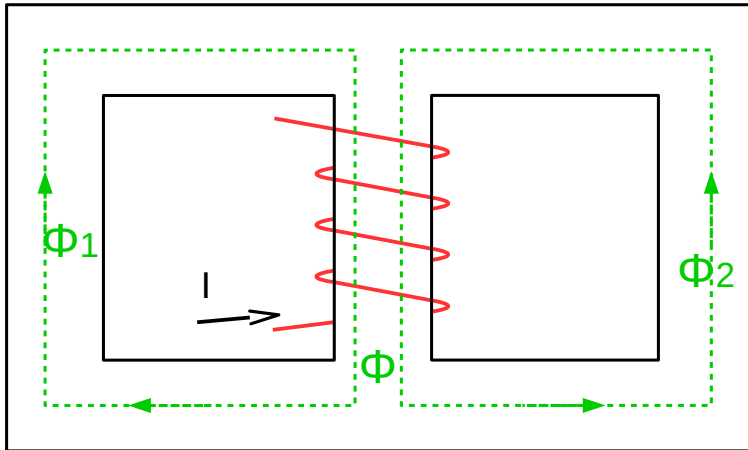
$$R_m = l / (\mu * A)$$

Mágneses ellenállás

$l \rightarrow$ indukció vonal hossza !!

7.3. Mágneses körök

3. Elágazó mágneses körök

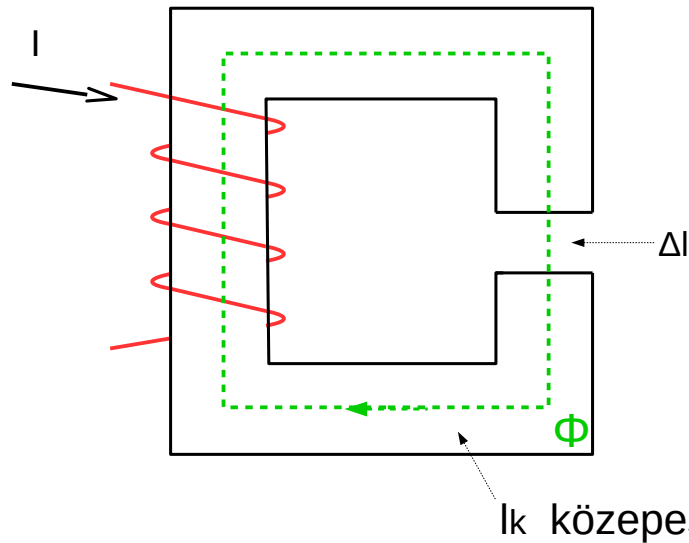


$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$$

7.3. Mágneses körök

4. Mintafeladat

Légrés kicsi \rightarrow szórást elhanyagoljuk !! \rightarrow B azonos



$$l_k = 25\text{cm}$$

$$\Delta l = 1\text{mm}$$

$$B = 0,8\text{T}$$

Térerősség a légrésben \rightarrow

$$H_l = B / \mu_0 = 636 \cdot 10^3 \text{ A/m}$$

Térerősség a vasmagban \rightarrow

$$H_v \approx 260 \text{ A/m}$$

(mágnesezési görbéből)

Gerjesztés (hurok törvény):

$$\Theta_l = H_l \cdot \Delta l = 636 \text{ A}$$

$$\Theta_v = H_v \cdot l_k = 65 \text{ A}$$

$$\rightarrow \Theta = \Theta_l + \Theta_v = 701 \text{ A}$$

csaknem a teljes gerjesztést a
légrés használja fel !

Nagy mágneses indukció eléréséhez
nagyon kicsi légrés (vagy légrés
nélküli áramkör) !

Ha nem akarjuk telítésig
mágnesezni a vasmagot \rightarrow légrés

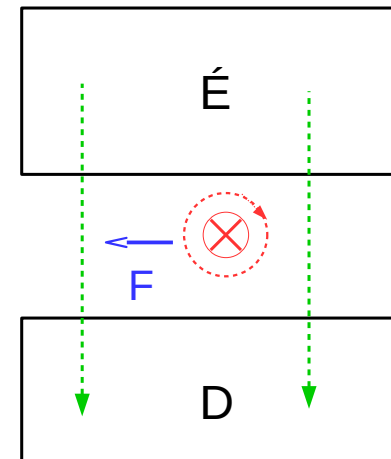
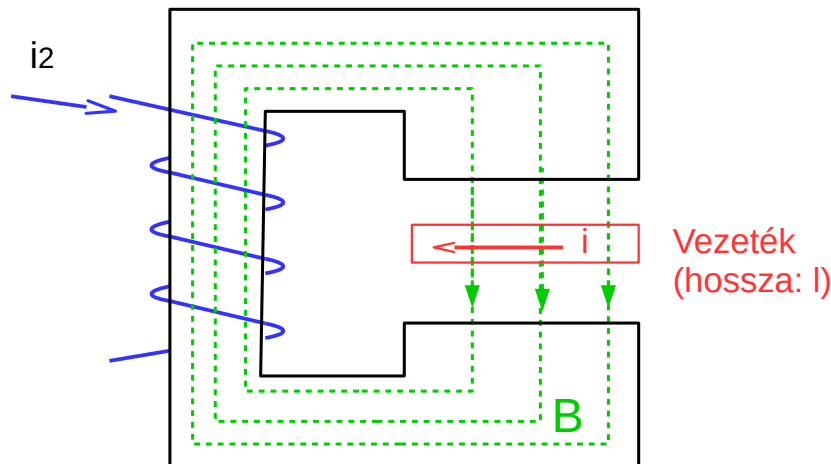
7.4. Erőhatás mágneses térben

1. Mágneses tér és áram kölcsönhatása

Két mágneses tér egymásra hatásáról van szó →

áram mágneses tere – áram mágneses tere

vagy áram mágneses tere – állandó mágnes mágneses tere



Ellentétes áramirány a vezetékben
→ ellentétes erő !

Erőhatás: $F = l * B * i$

$$(\bar{F} = l * \bar{B} \times \bar{i})$$

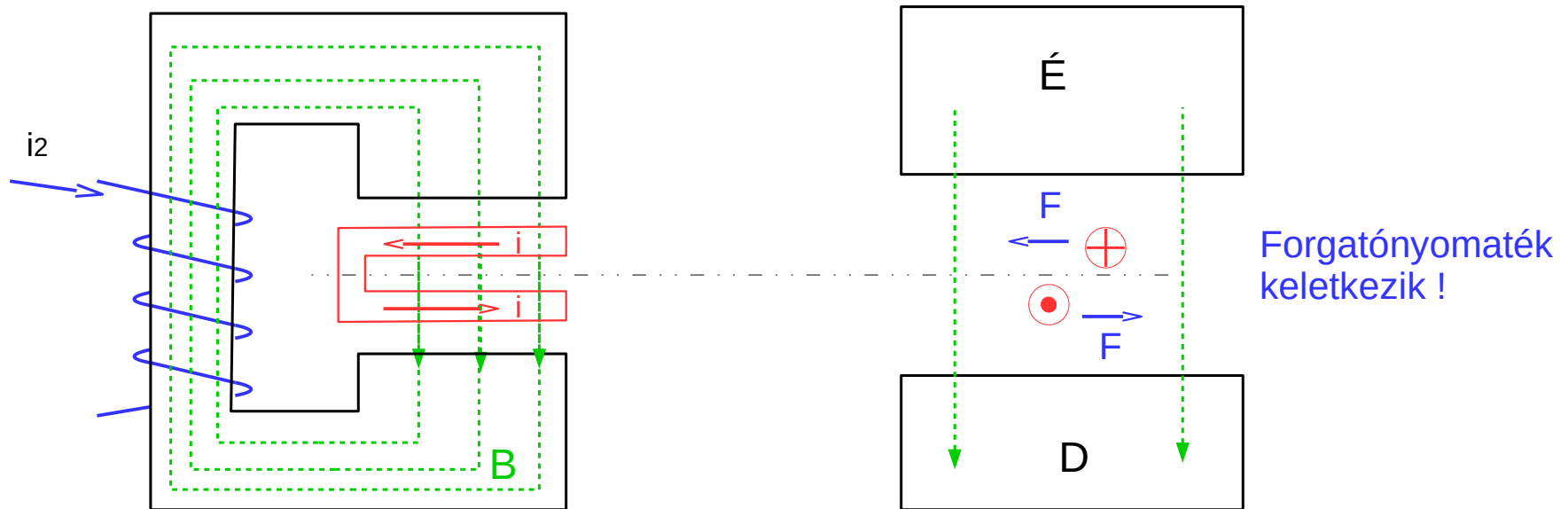
Ha a vezeték helyett tekercs →

$F = N * l * B * i$ → nagy erő hozható létre !!

7.4. Erőhatás mágneses térben

2. Villamos motor elve

A mágneses térben vezetőpár, ellentétes irányú áramokkal



Forgatónyomaték: $M = B * i * A$

- ez a maximum ! függ a hurok síkjának és az indukció (B) vektornak a közbezárt szögétől is
- $A \rightarrow$ a vezeték által alkotott hurok felülete
- tekercs esetén a menetszámmal is szorzódik !

7.5. Indukció

1. Elektromágneses indukció jelensége

A fluxus (mágneses tér) megváltozása egy vezetőben vagy tekercsben feszültséget hoz létre → indukált feszültség (U_i)

Faraday-törvény

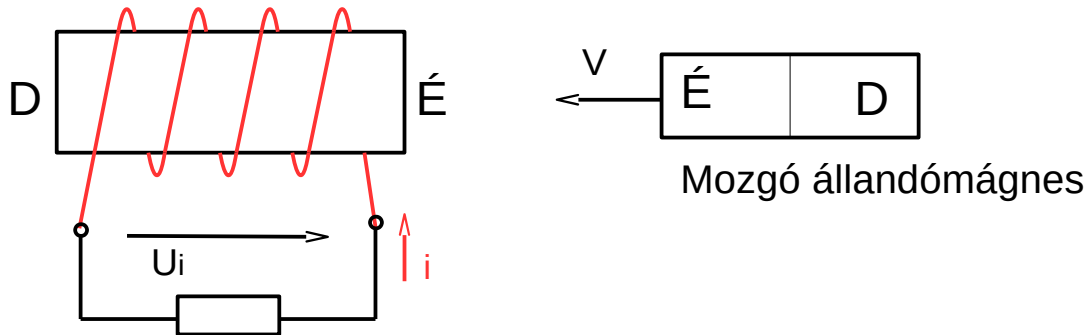
$$U_i = - \Delta \Phi / \Delta t$$

tekercs esetén →

$$U_i = - N * \Delta \Phi / \Delta t$$

Lenz-törvény

Az indukált feszültség polaritása mindig olyan, hogy az általa létrehozott áram mágneses tere gátolja az őt létrehozó folyamatot !!



A fluxus kétféleképpen változhat:

- időben állandó, de a vezető (tekercs) mozog a térben → mozgási indukció
- időben változik (váltakozó áram hatására) → nyugalmi indukció

7.5. Indukció

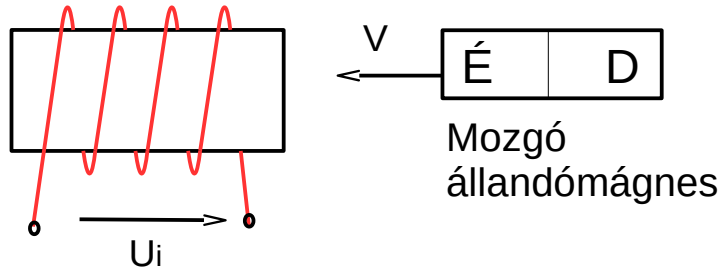
2. Nyugalmi indukció

A mágnes vagy a vezető (tekercs) nem mozog, hanem váltakozó áram hatására a fluxus változik az időben

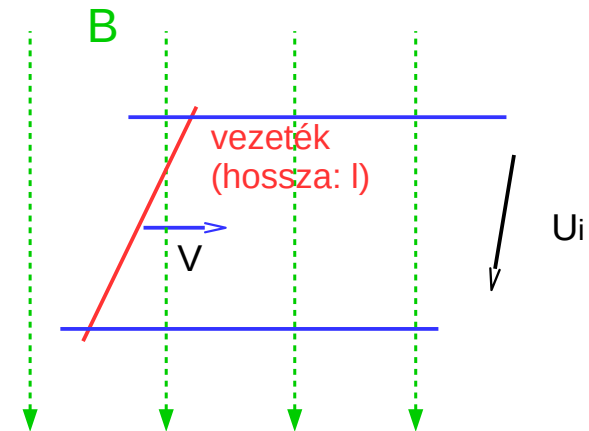
$$U_i = - N * \Delta \Phi / \Delta t$$

3. Mozgási indukció

A mágneses tér időben állandó, de a tér és a vezető (tekercs) egymáshoz képest mozog



A sebességnek (v) csak a mágneses térrel (B) merőleges összetevőjével kell számolni !!!



$$U_i = B * l * v$$

vezeték esetén

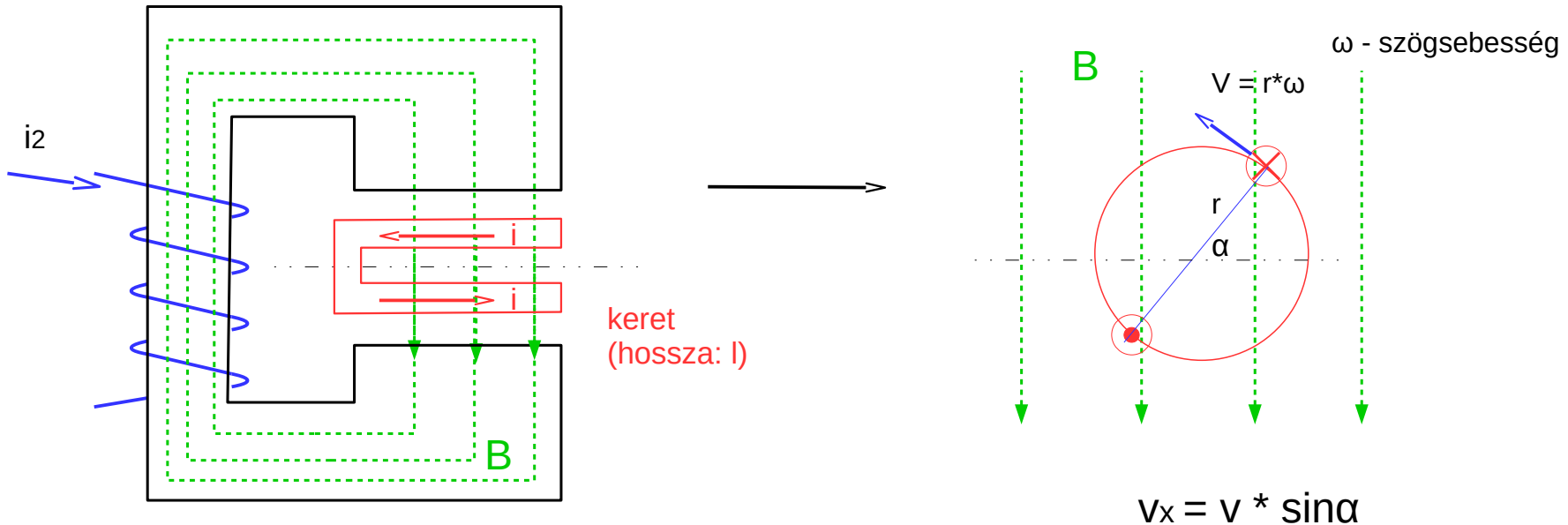
$$U_i = N * B * l * v$$

tekercs esetén

7.5. Indukció

4. Mozgási indukció forgó mozgás esetén

Tekercs forgatása mágneses térben



$$U_i = B * l * v_x$$

$$U_i = B * l * r * \omega * \sin \alpha$$

Szinuszos feszültség jön létre !!
Ilyen elven működnek a generátorok

tekercs esetén

$$U_i = N * B * l * r * \omega * \sin \alpha$$

7.5. Indukció

5. Önindukció

Feszültség indukálódik abban a vezetőben vagy tekercsben, amely áramának változásával maga idézte elő a fluxusváltozást

$$U_i = - N * \Delta \Phi / \Delta t \quad \longrightarrow \quad U_i = - L * \Delta i / \Delta t$$

L - induktivitás vagy önindukciós tényező (mértékegysége: H, henry)
egy tekercs fontos paramétere

6. Csatolás

Két tekercs csatolásban van, ha az egyik indukció vonalai áthaladnak a másikon is

Csatolási tényező

k (0 – 1)

Az indukcióvonalak hányad része halad át a másik tekercsen is
(1 – összes, 0 – semennyi)

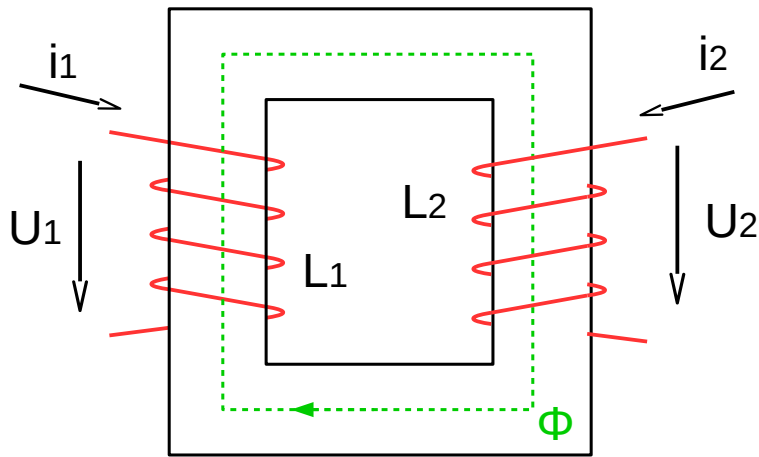
A csatolás lehet – laza, ha $k \sim 0$
– szoros, ha $k \approx 1$

Szoros csatolás elérése → tekercsek közel egymáshoz, és közös vasmag

7.5. Indukció

7. Kölcsönös indukció

Ha két tekercs csatolásban van, kölcsönösen feszültséget indukálnak egymásban



$$U_2 = M_1 * \Delta i_1 / \Delta t$$

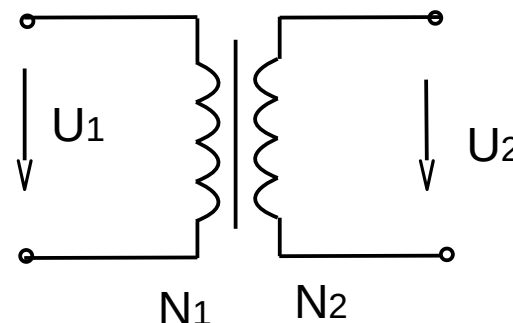
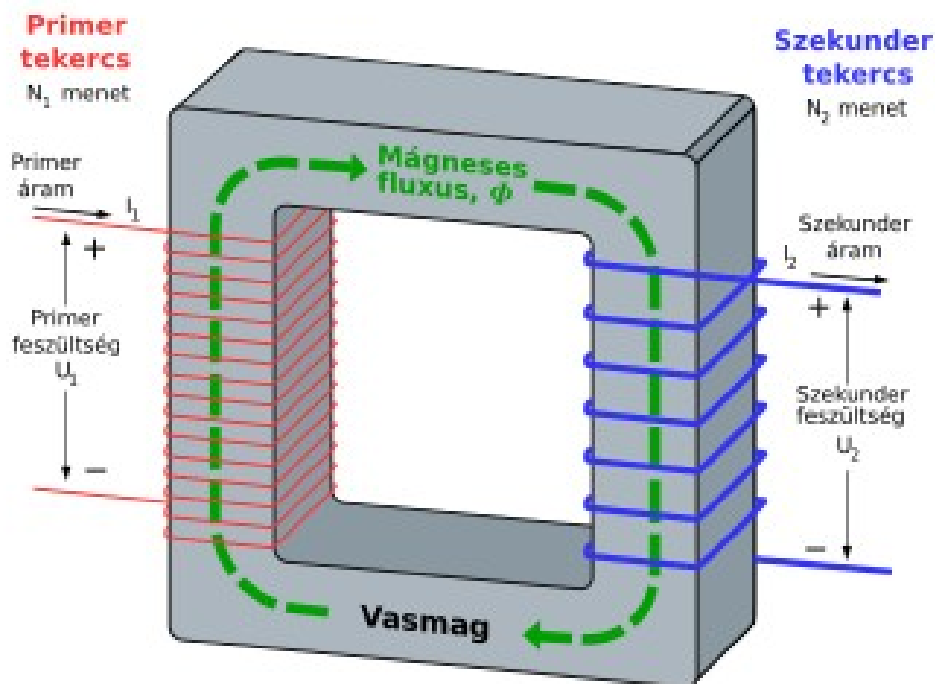
$$U_1 = M_2 * \Delta i_2 / \Delta t$$

M_1, M_2
Kölcsönös induktivitás

7.6. Transzformátor

Transzformátor

- villamos gép (de mozgást nem végez)
- a váltakozó feszültségű villamos teljesítményt más feszültségűvé alakítja nagyon jó hatásfokkal (feltranszformálja vagy letranszformálja)
- a feszültség mellett áram és impedancia átalakítást is végez !
- felépítése: közös vasmagon két tekercs (primer és szekunder)
 - közös vasmag miatt szoros csatolás !
- működése a kölcsönös indukció (nyugalmi indukció) alapul



Primer tekercs menetszáma → N₁
Szekunder tekercs menetszáma → N₂

Menetszám áttétel

$$a = N_1 / N_2$$

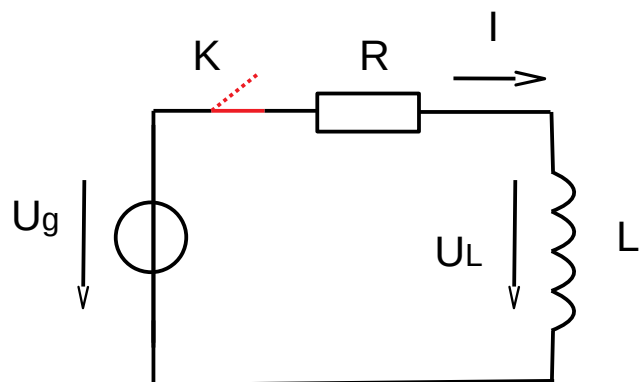
Feszültség áttétel

$$U_1 / U_2 = N_1 / N_2 = a$$

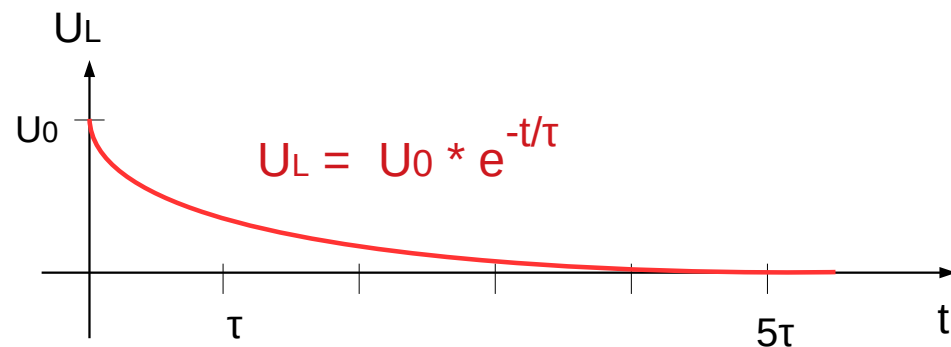
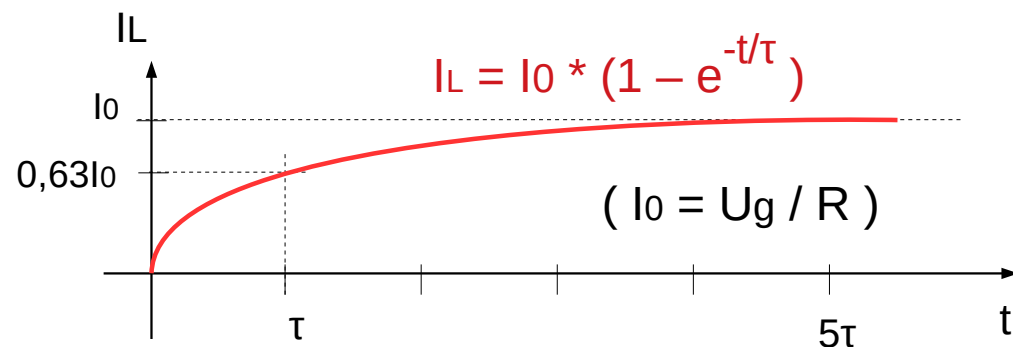
7.7. Tekercsek viselkedése áramkörben

1. Áramkör bekapcsolása

- a kapcsoló (K) zárásakor → a tekercsen áram kezd folyni → mágneses tér jön létre → változik a fluxus !! → feszültség indukálódik a tekercsben (önindukció) !!
- a Lenz-törvény értelmében az indukált feszültség olyan, hogy akadályozza a mágneses tér létrejöttét → késlelteti az áram kialakulását, megakadályozza az áram ugrásszerű létrejöttét



Idő állandó → $\tau = L/R$



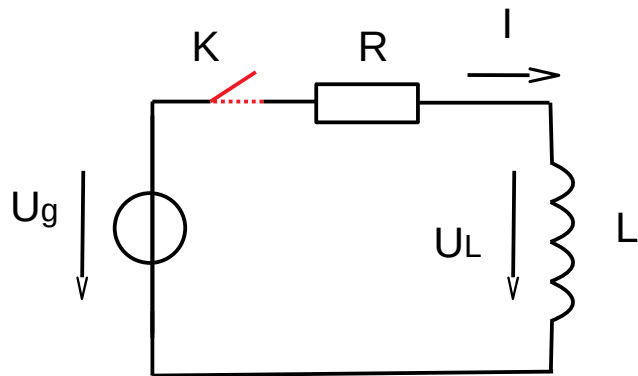
Tekercsben tárolt mágneses energia

$$W = \frac{1}{2} * L * I^2$$

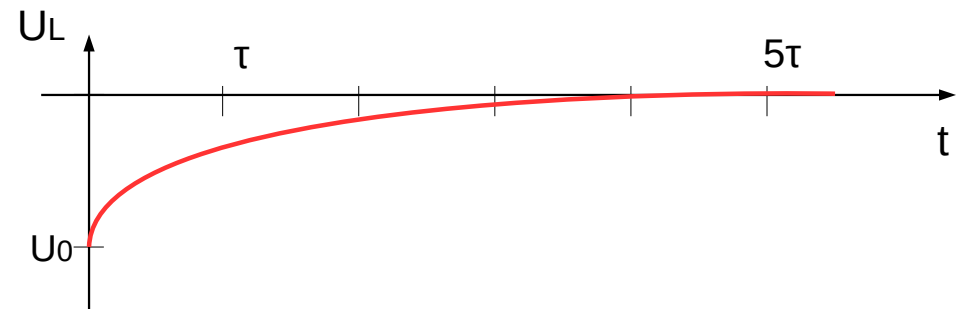
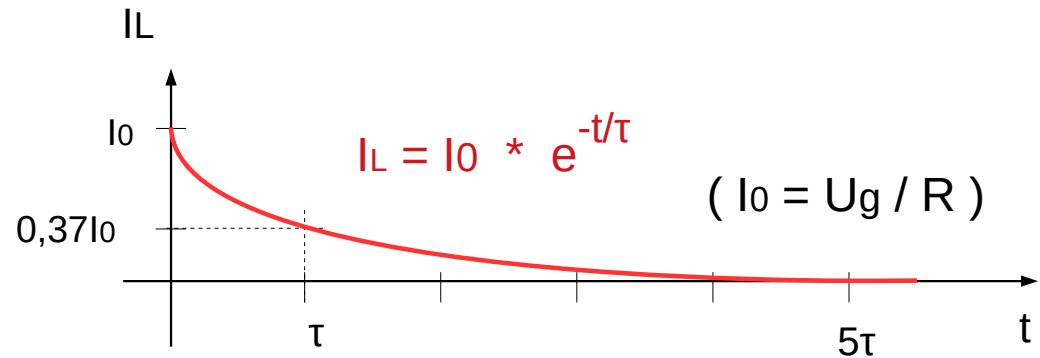
7.7. Tekercsek viselkedése áramkörben

2. Áramkör kikapcsolása

- a kapcsoló (K) nyitásakor → a tekercs árama megszűnik → az eddig létező mágneses tér összeomlik → változik a fluxus !! → feszültség indukálódik a tekercsben (önindukció) !!
- a Lenz-törvény értelmében az indukált feszültség olyan, hogy akadályozza a mágneses tér megszűnését → próbálja fenntartani az áramot → az áram csökkenését lassítja!!
- a gyors áram csökkenés miatt az elején nagy feszültség indukálódhat !!
 - egyrészt védekezni kell ellene (alkatrészeket károsíthatja)
 - másrészt, felhasználható nagyfeszültség létrehozására



- idő állandó (τ) ugyanúgy számolható, mint bekapcsoláskor
- τ idő alatt az áram a 37%-ra csökken,
- és 5τ idő alatt kevesebb mint 1%-ra



7.8. Feladatok

1. feladat

Határozd meg az indukált feszültség nagyságát egy 300 menetszámú tekercsben, ha 0,5 másodperc alatt a fluxus 0,2 Vs értékről 0,8 Vs értékre nő !

2. feladat

Határozd meg egy 200 mH induktivitású tekercsben a keletkező önindukciós feszültséget, ha a benne folyó áramot ($I=1,5\text{ A}$) 4 ezredmásodperc alatt egyenletes sebességgel nullára csökkentjük !

7.8. Feladatok

3. feladat

Egy 8 cm hosszú 400 menetes légmagos tekercsben 1,2 A erősségű áram folyik.
Mekkora a mágneses indukció a tekercs belsejében?

a vákuum mágneses permeabilitása: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$

4. feladat

Mekkora a mágneses indukció nagysága egy hosszú egyenes vezetőtől 0,4 m távolságban, ha a vezetőben 8 A erősségű áram folyik?

7.8. Feladatok

5. feladat

Egy hosszú, egyenes vezetékben 5 A nagyságú egyenáram folyik. Egy vele párhuzamos, 50cm hosszú másik vezetékben 10 A nagyságú, azonos irányú egyenáram folyik. A két vezeték távolsága 10 cm. Mekkora erővel vonzza egymást a két vezeték ?

6. feladat

Homogén mágneses mezőben 30 cm hosszú vezetékdarab mozog, a hossztengelyére és az indukcióvonalakra merőlegesen, sebessége 1,5 m/s

A mágneses tér erőssége: $B = 0,1 \text{ T}$

Mekkora feszültség indukálódik a vezeték két vége között ?

7.8. Feladatok megoldása

1. feladat

Határozd meg az indukált feszültség nagyságát egy 300 menetszámú tekercsben, ha 0,5 másodperc alatt a fluxus 0,2 Vs értékről 0,8 Vs értékre nő !

Megoldás:

$$\text{indukált feszültség: } U_i = - N * \Delta \Phi / \Delta t$$

$$\Delta \Phi = 0,8 \text{ Vs} - 0,2 \text{ Vs} = 0,6 \text{ Vs}$$

$$\Delta t = 0,5 \text{ s}$$

$$N = 300$$

$$U_i = - 300 * 0,6 \text{ Vs} / 0,5 \text{ s} = - 360 \text{ V}$$

2. feladat

Határozd meg egy 200 mH induktivitású tekercsben a keletkező önindukciós feszültséget, ha a benne folyó áramot ($I=1,5 \text{ A}$) 4 ezredmásodperc alatt egyenletes sebességgel nullára csökkentjük !

Megoldás:

$$\text{indukált feszültség: } U_i = - L * \Delta I / \Delta t$$

$$\Delta I = 0 \text{ A} - 1,5 \text{ A} = - 1,5 \text{ A}$$

$$\Delta t = 4 \text{ ms}$$

$$L = 200 \text{ mH}$$

$$U_i = 200 \text{ mH} * 1,5 \text{ A} / 4 \text{ ms} = 75 \text{ V}$$

7.8. Feladatok megoldása

3. feladat

Egy 8 cm hosszú 400 menetes légmagos tekercsben 1,2 A erősségű áram folyik.
Mekkora a mágneses indukció a tekercs belsejében?

a vákuum mágneses permeabilitása: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$

Megoldás:

Gerjesztés: $\Theta = N \cdot i = 400 \cdot 1,2 \text{ A} = 480 \text{ A}$

Mágneses térerősség: $H = \Theta / l = 480 \text{ A} / 0,08 \text{ m} = 6000 \text{ A/m}$

Mágneses indukció: $B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H = (4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}) \cdot 1 \cdot 6000 \text{ A/m} = 0,00754 \text{ T}$

4. feladat

Mekkora a mágneses indukció nagysága egy hosszú egyenes vezetőtől 0,4 m távolságban, ha a vezetőben 8 A erősségű áram folyik?

Megoldás:

Gerjesztés: $\Theta = i = 8 \text{ A}$

Mágneses térerősség: $H = \Theta / l = \Theta / (2\pi \cdot r) = 8 \text{ A} / (2\pi \cdot 0,4 \text{ m})$

Mágneses indukció: $B = \mu_0 \cdot H = (4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}) \cdot 8 \text{ A} / (2\pi \cdot 0,4 \text{ m}) = 0,000004 \text{ T}$

7.8. Feladatok megoldása

5. feladat

Egy hosszú, egyenes vezetékben 5 A nagyságú egyenáram folyik. Egy vele párhuzamos, 50cm hosszú másik vezetékben 10 A nagyságú, azonos irányú egyenáram folyik. A két vezeték távolsága 10 cm. Mekkora erővel vonzza egymást a két vezeték ?

Megoldás:

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} * l * \frac{i_1 * i_2}{d}$$

$$F = \frac{4\pi * 10^{-7} \text{ Vs/Am}}{2\pi} * 0,5 \text{ m} * \frac{5 \text{ A} * 10 \text{ A}}{0,1 \text{ m}} = 500 * 10^{-7} \text{ N}$$

6. feladat

Homogén mágneses mezőben 30 cm hosszú vezetékdarab mozog, a hossztengelyére és az indukcióvonalakra merőlegesen, sebessége 1,5 m/s

A mágneses tér erőssége: $B = 0,1 \text{ T}$

Mekkora feszültség indukálódik a vezeték két vége között ?

Megoldás:

Indukált feszültség: $U_i = B * l * v$

$$U_i = 0,1 \text{ T} * 0,3 \text{ m} * 1,5 \text{ m/s} = 0,045 \text{ V} = 45 \text{ mV}$$

7.9. Ismétlő kérdések, feladatok

1. Mi hozhatja létre a mágneses teret ?

2. Az alábbi mágneses mennyiségeknek mi a jele és mértékegysége ? (Kösd össze !)

Térerősség	B	A
Gerjesztés	Θ	A/m
Indukció	Φ	T
Fluxus.	H	Vs

3. A mágneses permeabilitásnak milyen összetevői vannak ? Mit mutat meg ?
Mi jellemzi a ferromágneses anyagokat ?

4. Mi a tekercs ? Milyen típusai, jellemzői vannak?

7.10. Ismétlő kérdések, feladatok

1. feladat

A következő mágneses mennyiségek jellemzői, jelölésük mértékegységük: térerősség, fluxus.

2. Tekercs jellemzői, fontosabb paraméterei

3. feladat

Magyarázd meg a mozgási indukciót és a kölcsönös indukciót !
Mit mond a Lenz-törvény ?

7.11. Ismétlő kérdések, feladatok

1. feladat

A következő mágneses mennyiségek jellemzői, jelölésük mértékegységük:
gerjesztés, indukció.

2. feladat

Transzformátor jellemzői, fontosabb paraméterei.

3. feladat

Magyarázd meg a nyugalmi indukciót és az önindukciót !
Mit mond a Faraday-törvény ?