

# **Elektromágneses indukció**

## **(Vázlat)**

1. Az elektromágneses indukció és annak fajtái
2. A mozgási indukció
3. Lenz-törvény
4. Nyugalmi indukció
5. Időben változó mágneses mező által keltett elektromos mező tulajdonságai
6. Kölcsönös és önindukciós jelenség
7. Elektromos mező energiája

## **Az elektromágneses indukció és annak fajtái**

A mágneses mezőben lezajló változásokkal kapcsolatos jelenségeket elektromágneses indukciónak nevezzük.

Az indukciós jelenségeknek két típusa lehet:

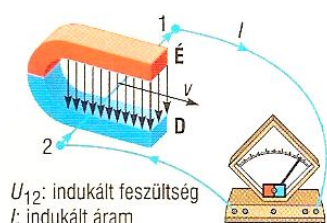
- **Mozgási indukció**

Mozgási indukció körébe azok a jelenségek tartoznak, amikor a vezető mozog az állandó mágneses mezőben.

- **Nyugalmi indukció**

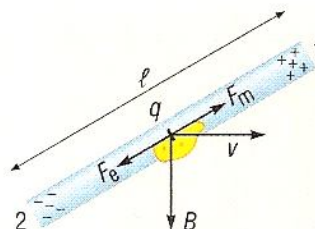
Nyugalmi indukció során a nyugvó vezető környezetében a mágneses mező változik.

## Mozgási indukció

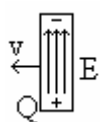


Homogén mágneses mezőben az indukcióvonalakra merőlegesen vezetőszálat helyezünk el. Ha a vezetőszálat a mágneses indukcióra is és az áramra is merőleges irányú sebességgel mozgatjuk, akkor a vezetőszal két vége között feszültség mérhető.

A jelenség azzal magyarázható, hogy a vezetőben levő töltések a vezetőszállal együtt a mágneses indukció vektorra merőlegesen mozognak. Így a töltésekre hat a Lorentz-erő, aminek következtében a vezető egyik vége pozitív a másik negatív töltésű lesz.



Mágneses mezőben mozgó vezetőben a Lorentz-erő hatására létrejövő töltés szétválasztását mozgási indukciónak nevezzük.



Mozgási indukció hatására a töltés szétválasztódása addig tart, amíg a Lorentz-erő egyenlő nem lesz a szétválasztott töltések közötti Coulomb-erővel.

$$\begin{aligned}
 F_L &= F_C \\
 B \cdot Q \cdot v &= E \cdot Q \\
 B \cdot v \cdot l &= E \cdot l
 \end{aligned}$$

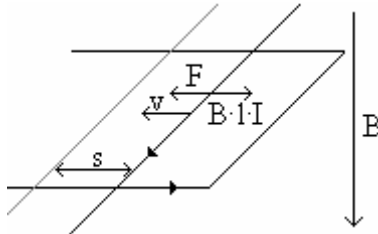
$$B \cdot v \cdot l = U_i$$

Ha homogén mágneses mezőben az indukcióvonalakra merőleges  $l$  hosszúságú vezetőt a mágneses indukcióra is és a vezetőszállra is merőleges  $v$  sebességgel mozgatunk, akkor a vezető két vége között feszültség mérhető.

Ez az indukált feszültség egyenesen arányos a vezető szakasz hosszának és sebességének szorzatával az arányossági tényező a mágneses indukció.

## Lenz törvénye

Az indukált feszültség által indított áram irányát Lenz-törvénye alapján állapítjuk meg.



- Ha a vezetősál  $v$  sebességgel megmozdul a kereten, akkor a töltés szétválasztás miatt a zárt körben áram indul.
- Ennek következtében az áramjárta vezetőre olyan irányú erő fog hatni, ami csökkenteni igyekszik a sebességét.

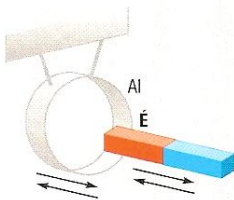
Az indukált feszültség mindig olyan irányú áramot indít, amelynek hatása akadályozza az őt létrehozó jelenséget.

- Ha a vezetősálat  $v$  sebességgel akarjuk mozgatni, akkor ahhoz a vezetőre állandó  $F$  erővel kell hatni.
- Ennek az erőnek a nagysága:  $F = B \cdot I \cdot l$ , amely a mozgás során  $s$  úton munkát végez.
- Ez a munka megegyezik az indukált feszültség által indított áram munkájával.
- Így az energia megmaradásból is levezethető az indukált feszültség képlete.

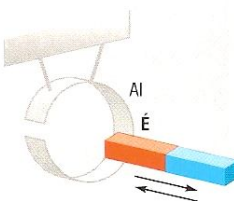
$$s \cdot B \cdot l \cdot I = U_i \cdot I \cdot t$$

$$\frac{s}{t} \cdot B \cdot l = U_i$$

$$v \cdot B \cdot l = U_i$$

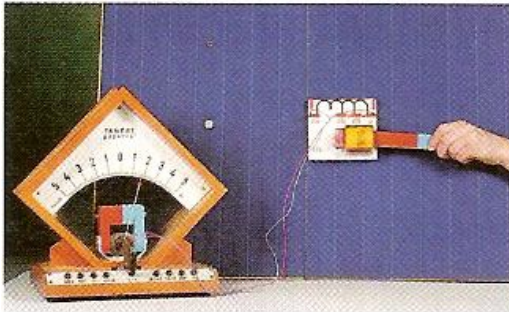


A zárt alumíniumgyűrű elmozdul a mágnes elmozdulásának irányába, a nyitott alumíniumgyűrű viszont nyugalomba marad. Ez a jelenség is Lenz-törvényével magyarázható.



## Nyugalmi indukció

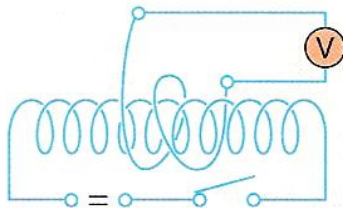
Nyugalmi indukció során a mágneses mező változik a nyugvó vezető körül.



- Nyugvó tekercs belsejében mozgatjuk a mágneset.

- A középállású feszültségmérő kitérésének iránya a mozgás irányától függ.

• Az indukált feszültség nagysága függ a mágneses mező változásának sebességétől, és annak a tekercsnek a menetszámától, amelyben a feszültség indukálódik.



- Az áramkör nyitásakor és zárásakor a külső tekercshez kapcsolt feszültségmérő jelez.

Az indukált feszültség egyenesen arányos a fluxusváltozás sebességének és a tekercs menetszámának szorzatával, az arányossági tényező -1. (a mínusz előjel Lenz-törvényéből következik.)

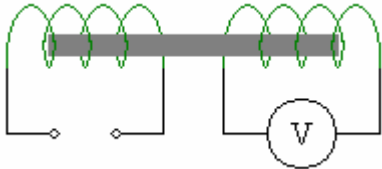
$$U_i = -N \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

### Nyugalmi indukció jelenségének magyarázata

*Az időben változó mágneses mező maga körül egy elektromos mezőt hoz létre, amely kölcsönhatásba tud lépni a vezetőben lévő nyugvó töltésekkel.*

## Kölcsönös és önindukciós jelenség

### Kölcsönös indukciós jelenség



- Kölcsönös indukció bemutatható két tekercs segítségével. A két tekercset közös vasmaggal kapcsoljuk össze.
- Ha az első tekercsben változtatjuk az áram erősségét, akkor a második tekercsben feszültség mérhető.

#### A jelenség magyarázata a következő:

- Az első tekercsben az áramerősség változása miatt egy időben változó mágneses mező alakul ki.
- A közös vasmag miatt ez a változás a második tekercsben is fennáll.
- A mágneses mező változása egy örvényes elektromos mezőt indukál, ami kölcsönhatásba lép a második tekercsben lévő elektronokkal.

A kölcsönös indukció során az indukált feszültség egyenesen arányos az áramerősség változásának sebességével, az arányossági tényező a kölcsönös indukciós együttható mínusz szerese.

$$U_i = -L_{12} \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

ahol  $L_{12}$  a kölcsönös indukciós együttható.

$$[L_{12}] = \frac{Vs}{A} = H$$

*Egy henry egy rendszer kölcsönös indukciós együtthatója, hogyha az egyik vezetőben egy másodperc alatt bekövetkező egy amper áramerősség változás a másik vezetőben egy volt feszültséget indukál.*

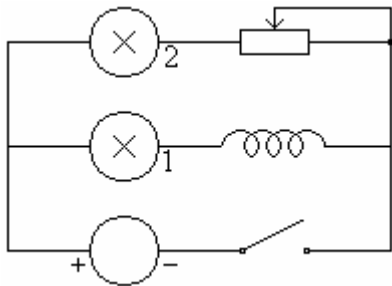
## Kölcsönös indukciós együttható levezetése:

$$U_i = -N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \qquad U_i = -L_{12} \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$U_i = -N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -N_2 \frac{\Delta B \cdot A}{\Delta t} = -N_2 \frac{\mu_0 \cdot \Delta H \cdot A}{\Delta t} = -N_2 \frac{\mu_0 \cdot A \cdot \frac{N_1 \cdot \Delta I_1}{l}}{\Delta t} = -\frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot A}{l} \cdot \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$L_{12} = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot A}{l}$$

## Önindukció



- Az áramkörbe két teljesen azonos teljesítményű izzót kapcsolunk.
- A változtatható ellenállásra azért van szükség, hogyha az áramkör tartósan zárva van, akkor mindkét izzó azonos fényerőséggel világítson.
- Az áramkör zárásakor az egyes izzó később kezd el teljes fényerővel világítani.
- A jelenség magyarázata:
  - A kapcsoló zárásakor az áramerősség nagysága a tekercsben a nullához képest folyamatosan nő.
  - Így a tekercs belsejében egy időben változó mágneses tér alakul ki. Ez egy örvényes elektromos mezőt hoz létre, amely által indított áram akadályozza az áram növekedését.
- Az áramkör nyitásakor az egyes izzó később alszik el, mint a kettes.
  - Az áram csökkenése a tekercsben, időben változó mágneses teret eredményez.
  - Ez egy olyan feszültséget indukál, amely által indított áram akadályozza az áramerősség csökkenését.

Az önindukció során a tekercsben indukált feszültség egyenesen arányos az áramváltozás sebességével, az arányossági tényező az önindukciós együttható mínusz egyszerese.

$$U_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

ahol L a tekercs önindukciós együtthatója.

Önindukciós együttható levezetése:

$$U_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$U_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

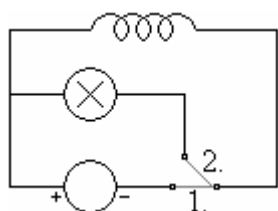
$$U_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N \frac{\Delta B \cdot A}{\Delta t} = -N \frac{\mu_0 \cdot \Delta H \cdot A}{\Delta t} = -N \frac{\mu_0 \cdot A \cdot \frac{N \cdot \Delta I}{l}}{\Delta t} = -\frac{\mu_0 \cdot N \cdot N \cdot A}{l} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$L_{12} = \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot A}{l}$$



## Mágneses mező energiája

Egy tekercs belsejében a mágneses mezőnek a kiépülése, illetve megszüntetése nem pillanatszerű folyamat. Ez azt jelenti, hogy a mágneses mező tehetetlenséggel rendelkezik, amiből következik, hogy energiájuk is van.



### Kísérlet:

Amikor a kapcsolót az egyes állásból a kettesbe átkapcsoljuk, akkor az izzó felvillan. Az átkapcsolás pillanatában elkezd csökkenni a tekercs belsejében a mágneses mező. Ez a fluxusváltozás egy feszültséget indukál, amely által keltett áram a korábbi állapotot igyekszik fenntartani.

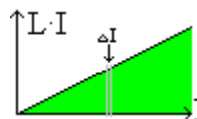
Az indukált áram által végzett munka a tekercs belsejében lévő mágneses mező energiájával egyezik meg.

### Az indukált áram munkája:

$$W = \sum U_i \cdot I \cdot \Delta t$$

$$W = \sum L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \cdot I \cdot \Delta t = \sum L \cdot \Delta I \cdot I$$

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



Az összegzést egyszerű matematikai eljárással végezhetjük el. Ha ábrázoljuk az áramerősség függvényében az  $L \cdot I$  szorzatot, akkor egy egyenes arányt kifejező grafikont kapunk. Ha kijelölünk kicsi  $\Delta I$  szakaszt, akkor a hozzá tartozó terület közelítőleg  $\Delta I \cdot L \cdot I$ . Ezen kicsi területeknek az összege adja a grafikon alatti területet, ami a munkával egyezik meg.

Így:  $W = \frac{1}{2} L \cdot I^2$

Az áramjárta tekercs belsejében kialakuló mágneses mező energiája egyenesen arányos az áramerősség négyzetével, az arányossági tényező az önindukciós együttható fele.

### Mágneses mező energiája általánosan:

$$E_m = \frac{1}{2} L \cdot I^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu_0 \cdot N^2 \cdot A}{l} \cdot I^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\mu_0^2 \cdot N^2 \cdot I^2 \cdot A \cdot l}{\mu_0 \cdot l^2} = \frac{1}{2\mu_0} \cdot B^2 \cdot V$$

$$E_m = \frac{1}{2\mu_0} \cdot B^2 \cdot V$$

A mágneses mező energiája egyenesen arányos a mező térfogatának és a mágneses indukció négyzetének a szorzatával, az arányossági tényező az  $\frac{1}{2 \cdot \mu_0}$ .

Mágneses mező energiasűrűsége:

$$\zeta_m = \frac{E_m}{V} = \frac{1}{2\mu_0} \cdot B^2$$