

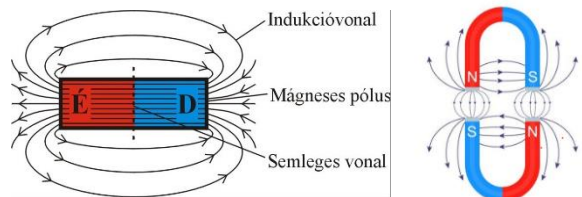
Az elektromágneses indukció, önindukció

I. Állandó mágneses tér

Korábbi tanulmányaitokban olyan folyamatokkal foglalkoztatok, melyeknél az elektromos és mágneses mező az idő múlásával állandónak tekinthető. Ismételjük át néhány alapfogalmat, jelenséget:

- Ha két mágnesrudat közelítünk egymáshoz, akkor vonzást vagy taszítást tapasztalunk aszerint, hogy melyik végük találkozik. A mágnesrúdnek a két vége kétféle mágneses pólus (észak, dél). A mágnesesség távolhatás, amit a mágneses tér szerepével értelmezünk.

A mágneses teret is ábrázolhatjuk képzelt vonalakkal, ezek a **mágneses indukcióvonalak / erővonalak**. (a mágneses mező szerkezete vasreszelékkel szemléltethető).



Adott pontban a mágneses tér erősségét és irányát egy vektorral, a **mágneses indukcióvektorral** jellemezzük. Ennek jele: **B**. Mértékegysége: **T (tesla)**

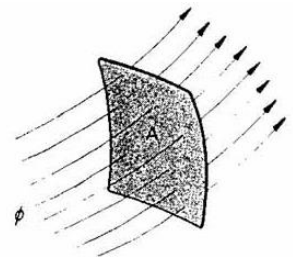
Mágneses indukcióvonalak olyan zárt görbék, melyeknek bármely pontjába húzott érintő megadja a mágneses indukció vektor irányát.

A mágneses indukció nagyságát a mágneses indukcióvonalak sűrűsége jellemzi.

Az A felületen átmenő indukcióvonalak számát **mágneses fluxusnak** nevezzük.

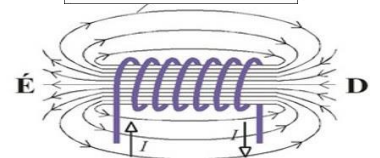
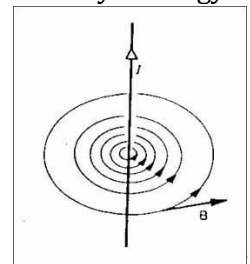
$\Phi = B \cdot A \cdot \cos \alpha$ (α az indukcióvonalaknak a felület merőlegesével bezárt szöge)

$[\Phi] = T \cdot m^2 = V \cdot s = \text{Wb (wéber)}$



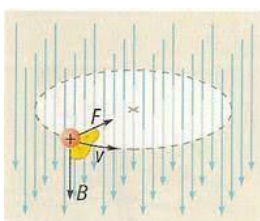
- Oersted dán fizikus 1820-ban véletlen felfedezést tett. Egy vezető közelébe helyezett egy iránytűt, az áram bekapcsolásával egyidőben az iránytű kitért az észak-déli irányból. Ebből arra következtetett, hogy a mágneses mező forrása az elektromos áram. **A mágneses mezőt az árammal átjárt vezető körül** vasreszelékkel szintén könnyen lehet demonstrálni.

Ez a mágneses hatás gyenge, ezt fel lehet erősíteni, ha a vezetőt feltekercseljük, és még erősebbé lehet tenni a tekercsbe vasmagot, helyezünk, a vasmag + tekercset-et nevezzük elektromágnesnek. **A tekercsben lévő mágneses mező homogén**, a térerősség (mágneses indukció) minden pontban azonos nagyságú és irányú.

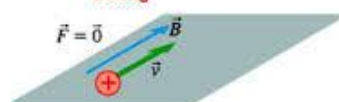


- A mozgó töltésre a mágneses tér erőt fejt ki, ez a **Lorentz erő**.

$$F_L = q \cdot v \cdot B$$



Nincs erőhatás, ha a töltés az indukcióvonalakkal párhuzamosan mozog



A mágneses erő merőleges \vec{v} és \vec{B} síkjára

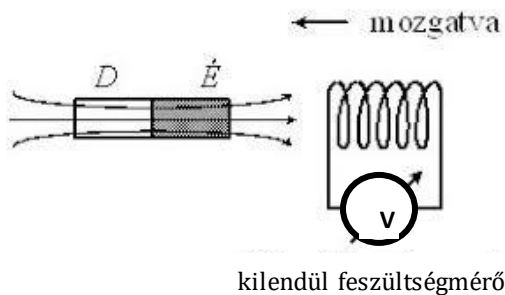


II. Változó mágneses tér

Esőként Ørsted mutatta meg, hogy az áramnak mágneses tere van. Ennek analógiájára a fizikusok azt gondolták, hogy egy erős mágnes hatására egy vezetőben áram fog folyni. Éveken keresztül gyártották az egyre erősebb (elektro)mágneseket, és figyelték, hogy a közelükben elhelyezett vezetőben mikor indul meg az áram. Faraday jött rá arra, hogy nem a mágnes erősségét kell növelni, hanem a mágneses mező változása hoz létre indukált áramot egy zárt áramkörben.

1. kísérlet

Tapasztalatunk az, hogy ha a nyugvó tekercs belsejébe vagy mellé az asztalon elhelyezünk egy rúd-mágneset, akkor a voltmérő nem jelez feszültséget. A tekercsben nem indul meg az áram.



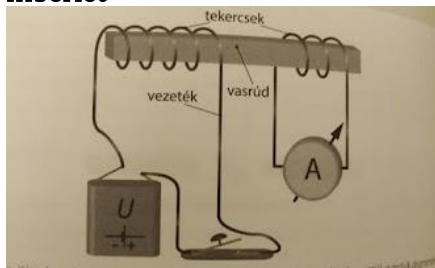
Ha a nyugvó tekercs belsejében mozgatjuk a mágneset, akkor a középállású feszültségmérő kitér. A mágnes közelítésekor és távolításakor a műszer mutatója kitér, mégpedig egymással ellentétes irányba. Azt mondjuk, hogy feszültség indukálódott (U_i). Miközben ki-be mozgattuk a mágneset a tekercsben, a zárt vezető által határolt felületet metsző mágneses indukcióvonalak száma változott ($\Delta \Phi$), a vezetőben feszültség jött létre:

$$\Delta \Phi \rightarrow U_i$$

Érdemes azt is megfigyelnünk, hogy gyorsabban mozgatva a mágneset, illetve nagyobb menetszámú tekercset használva az indukálódó feszültség is nagyobb lesz.

A változó erősségű mágneses mező a tekercsben elektromos mezőt eredményez, amelynek eredményeképpen indukált feszültség keletkezik. Az indukált feszültség annál nagyobb lesz, minél gyorsabb a mágneses mező változása. Ezt a jelenséget **elektromágneses indukciónak** nevezzük.

2. kísérlet



Helyezzünk közel egymáshoz két tekercset. A tekercseket lássuk el vasmaggal (mágneses tér felerősítésére szolgál). Az első tekercset kapcsoljuk voltmérőre, a másodikat kapcsolón keresztül csatlakoztassuk egyenáramú feszültségforrásra. A második tekercs áramát kapcsoljuk be, majd kapcsoljuk ki. Azt tapasztaljuk, hogy a be- és kikapcsolás

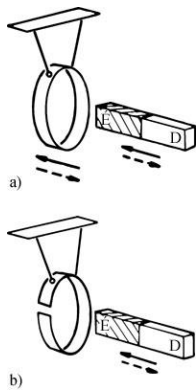
pillanatában az első tekercshez kapcsolt műszer feszültséget jelez, de nem jelez áramot, mikor az áram nem folyik, vagy állandó a másik tekercsen. Tapasztalatainkat a következő módon értelmezhetjük, a második tekercs be-ill. kikapcsolásakor annak árama, ezzel mágneses tere változott. Ezt érzékelte a közös vasmagon lévő tekercs. Az indukció során nem volt mozgása a tekercseknek, sem a mágneses tereknek, ezért a jelenség okozója csak a mágneses tér lehetett. Az első tekercsben álló töltések voltak,

ezeket csak az elektromos tér tudja elindítani, vagyis a változó mágneses térnek elektromos teret kellett létrehoznia.

$$\Delta I \rightarrow \Delta \Phi \rightarrow U_i$$

Nyugalmi indukció során a mágneses mező változik a nyugvó vezető körül. A 1. és 2. kísérlet a nyugalmi indukció jelenségét mutatja be.

3. kísérlet



Rúd mágnest felfüggesztett alumínium-gyűrű felé. (Az alumínium nem mágnesesítható). Tapasztalhatjuk, hogy a mágnes közeledésével a gyűrű ellenkező irányba kilendül. A mágnes távolodáskor pedig a mágnes felé lendül. Vizsgáljuk meg, hogy mi történt.

1. **zárt karika:** A mágneses mező változik, ennek hatására feszültség indukálódik. A zárt vezetőben töltések egyirányú áramlása, elektromos áram indul meg melynek saját mágneses tere van.

$$\Delta \Phi \rightarrow U_i \rightarrow I_i \rightarrow \text{van mágneses tér}$$

2. **megszakított karika:** A mágneses mező változik, ennek hatására feszültség indukálódik, de az áram nem tud megindulni, mivel a vezető megszakított.

$$\Delta \Phi \rightarrow U_i \nrightarrow I_i \rightarrow \text{nincs mágneses tér}$$

A zárt karika távolodása, tehát a keletkező árammal van összefüggésben, hiszen a megszakított karika esetében nem tapasztaltunk közeledést-távolodást.

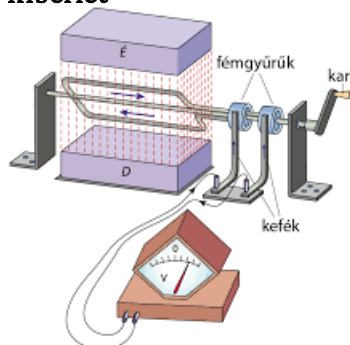
Lenz-szabály: a változó mágneses mező olyan áramot indukál, melynek mágneses mezője csökkenteni igyekszik az őt létrehozó hatást / változást. Ezért tapasztalunk közeledéskor taszítást, távolodáskor pedig vonzást.

Tapasztalatunkat **Faraday-féle indukciótörvény**ben foglaltuk össze:

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

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

4. kísérlet



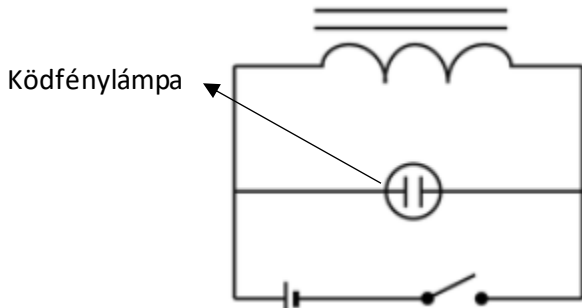
Generátor elv: Fémkeretet forgatunk mágneses térben. A fémkeret forgatása közben a fluxus változás a keret felülete és az állandó mágnes indukciójavonalainak egymással bezárt szögének változása miatt jön létre.

A **generátor** esetén tehát, mechanikai energia befektetésével elektromos energiát hozunk létre.

$$U_i = -N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -N \cdot \frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos \alpha)}{\Delta t}$$

Mágneses mezőben mozgó vezetőben a Lorenz-erő hatására létrejövő töltés szétválasztását **mozgási indukciónak** nevezzük. Így is magyarázhatjuk a generátor működését. A 3. és 4. kísérlet ezt mutatja be.

5. kísérlet



Kapcsolási rajznak megfelelően egy olyan párhuzamos kapcsolásból álló áramkört vizsgáltunk, ami egy 4,5 V-os zsebletepből, egy kapcsolóból, egy vasmagos tekercsből és egy ködfénylámpából állt.

A ködfénylámpa a lámpák egy olyan fajtája (lényegében gázkisülési cső), ami alacsony áramerősség mellett viszonylag gyengén világít. A gyújtófeszültsége kb. 100 V, azaz ekkora

feszültségnél villan fel és kezd világítani, de ennél jelentősen nagyobb feszültséget is elbír károsodás nélkül. Nagy ellenállás jellemzi.

- A. Zárjuk az áramkört, vasmaggal
 - nem világít
- B. Nyitjuk az áramkört, vasmaggal
 - felvillanást tapasztalunk
 - annak ellenére, hogy az áramkörben csak egy 4,5 V-os telep van, miközben az ő gyújtási feszültsége ennek sokszorososa
- C. Nyitjuk az áramkört, vasmag nélkül
 - nincs felvillanás

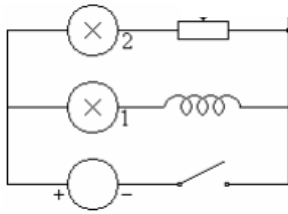
Magyarázat:

Amikor a kapcsolót zárjuk, a telep feszültségét rákapcsoljuk a tekercsre és a ködfénylámpára. A ködfénylámpa ellenállása nagy, ezért kevés lesz a rajta átfolyó áram. A rá eső 4,5 V jóval a gyújtási feszültség alatt van, tehát a ködfénylámpa nem világít. A tekercs elektromos ellenállása mindössze néhány ohm, ezért a tekercsben egy-két amperes áram kezd folyni. Ez a nagy áramerősség azt eredményezi, hogy erős mágneses tér alakul ki a tekercsben. A telep lekapcsolása után a tekercs árama hirtelen megszűnik, vagyis a tekercsben gyors lesz a mágneses mező változása. A Faraday-törvény értelmében a gyorsan változó mágneses mező nagy feszültségű elektromos mezőt indukál magában a tekercsben. A tekercsben indukálódó nagy feszültség a vele párhuzamosan kötött ködfénylámpában fényfelvillanást okoz. (a vasmag ezt felerősíti a vasmag az áram mágneses mezőjét erősíti, tehát a kezdeti indukciót).

Megjegyzés: Bekapcsoláskor is változik a tekercs mágneses mezője, csak ellenkező irányban, viszont a Lenz szabály értelmében az így keletkező indukciós feszültség olyan lesz, hogy gyengíti az őt keltő hatást, azaz az áram növekedését, ezért nem tud felvillanni a lámpa. Az is igaz, hogy bekapcsoláskor és kikapcsoláskor nem ugyanannyi idő alatt következik be az áram / mágneses mező megváltozása.

$$\Delta I \rightarrow \Delta \Phi \rightarrow U_i \text{ (legalább 100 V)}$$

6. kísérlet



Az áramkörbe két teljesen azonos teljesítményű izzót kapcsolunk párhuzamosan. Az első izzóval egy vasmagos tekercset, a második izzóval egy a tekercsével megegyező ellenállású ellenállást kapcsolunk sorba.

- Az áramkör zárásakor az egyes izzó később kezd el teljes fényerővel világítani.
- Az áramkör nyitásakor az egyes izzó később alszik el, mint a kettes.

Magyarázat:

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 (Lenz-trv.).

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 (Lenz-trv.).

Önindukcióról akkor beszélünk, amikor egy tekercsben bekövetkező hirtelen áramerősség-változás hatására indukálódik feszültség magában a tekercsben. Az önindukció is az elektromágneses indukció speciális esetének tekinthető. (5. és 6. kísérlet). Az önindukciós törvény a következő alakban írható fel:

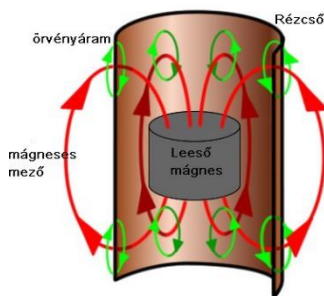
L: önindukciós együttható, induktivitás

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

$$[L] = \frac{V \cdot s}{\Delta t} = \text{H (Henry)}$$

Ha egy önindukciós tekercs együtthatója 1H, akkor a tekercsben az 1 másodperc alatt 1 amperrel változó áram 1 volt feszültséget indukál.

Örvényáramok:



Függőleges rézcsőben könnyen mozgó, de nem mágneses fémhengert vagy fémgolyót ejtünk le és figyeljük a fémhenger vagy a golyó esési idejét. Ha ugyanebben a csőben egy henger alakú mágnest, vagy egy mágnesgolyót ejtünk le, akkor az esés ideje mérés nélkül is jól láthatóan megnő. Ha a mágnes ritkaföldfém (neodímiumból) készült, akkor a hatás sokkal erősebben érzékelhető. Amikor a mágnes a rézcsőben esik, akkor a mágnes mozgása miatt a csőben örvényáramok jönnek létre, amelyek akadályozzák az őket létrehozó hatást, vagyis a mágnes mozgását.

Ha nem mágneses anyagból van a golyó, akkor mozgása során nincs indukált örvényáram, így fékezés sem lép fel. A mágnes alatt és felett ellentétes irányú örvényáramok keletkeznek, míg a köztük, vagyis a mágnes mellett egyáltalán nem jön létre

örvényáram. A mágnes alatti örvényáram taszító, a mágnes feletti pedig vonzó hatású, mindkettő fékezi a mágnes mozgását.

Az elektromágneses indukció néhány alkalmazása:

1) indukciós főzőlap:

Ebben a tekercsben gyorsan változó mágneses mezőt állítanak elő. A főzéshez használt fémedényt lényegében erre a tekercsre helyezik rá. A gyorsan változó mágneses mező a fémedényben elektromos mezőt indukál, amelynek hatására az edényben erős áram folyik. Ezt az áramot örvényáramnak nevezzük. Ennek az áramnak a hatására az edény felforrósodik, a benne lévő étel megfő. Az indukciós lap nagy előnye, hogy maga a főzőlap nem forrósodik fel, így energiatakarékos és biztonságos is. Bár elvileg minden fémedényben indukálódik örvény-áram, azonban megfelelően nagy áram csak mágnesezhető anyagból (vasból, rozsdamentes acélból) készült edényekben indukálódik, mert ezek anyaga felerősíti a tekercs mágneses terét. A berendezés megfelelő méretezésével érik el, hogy nagy energia szabaduljon fel az edény anyagában.

2) Dinamikus mikrofonok:

A hanghullámok által rezgésbe hozott membránhoz egy tekercs is kapcsolódik, ami állandó mágneses mezőben rezeg, ezáltal a hanghullámra jellemző feszültség indukálódik. Ezt a jelet vezetik tovább.

3) Fémkeresők

Ha erős elektromágnes gyorsan változó mágneses terébe kiterjedt fémtárgy kerül, akkor az abban indukálódó áramok keltette mágneses mező kölcsönhatásba lép az elektromágnes saját terével, ezáltal a tekercs áramerőssége megváltozik. Ez az áramváltozás jelzi a fémtárgy jelenlétét. Fémkeresőket nemcsak a régészek használnak, hanem a repülő-terek biztonsági kapuinál vagy az érmefelismerő automatáknál is.

4) Bankkártya:

A bankkártyákon a csip mellett egy mágnescsík is található. Ennek leolvasásakor a mágnescsík végighalad a leolvasófej előtt. A fejben lévő tekercsben indukálódó elektromos jeleket ez a mágnescsík határozza meg.

5) Szeizmográf

A földrengések észlelésére szolgáló eszközben a tekercs a földkéreggel együtt mozog. A nyugalomban lévő állandó mágneshez képest elmozduló tekercs indukál elektromos jeleket.

A megoldott két feladat:

1. Egy rúd mágnest 0,5 s alatt betolunk egy 2 cm^2 átmérőjű 400 menetes tekercsbe. A mágneses mezőt jellemző mágneses indukció változása 4 T . Mekkora feszültséget jelez a voltmérő?
2. Mekkora az önindukciós együtthatója annak a tekercsnek, melyben 0,5 s alatt egyenletesen bekövetkező $0,5 \text{ A}$ áramerősség-változás $0,12 \text{ V}$ önindukciós feszültséget hoz létre?

