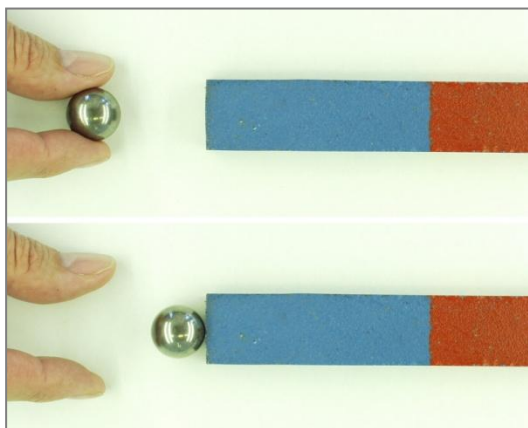


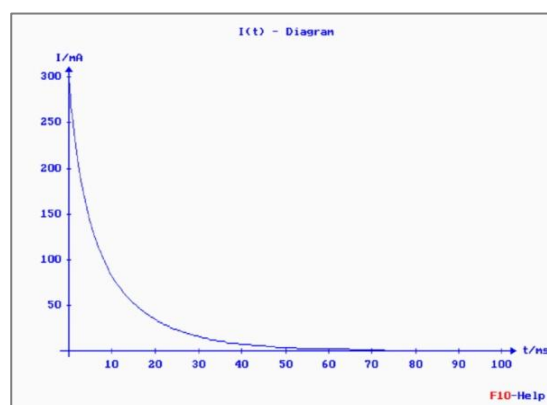
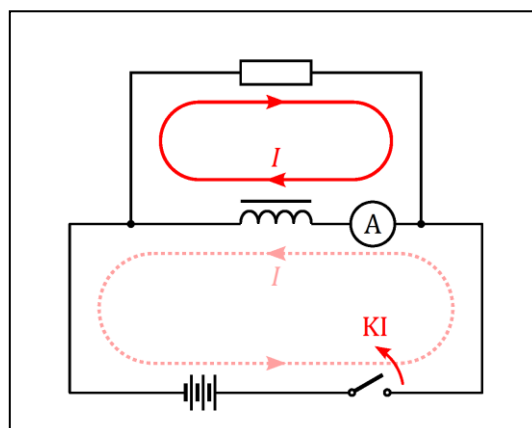
◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

A mágneses mező energiája

Ha a vízszintes asztallapon fekvő mágnesrúd közelébe egy vasgolyót helyezünk, akkor a mágnes a nyugvó golyót magához vonzza. A golyó gyorsulását a mágneset körülvevő mágneses mező okozza, amely a gyorsítás közben mechanikai munkát végez. Eszerint *a mágneses mező munkavégzésre képes, tehát energiája van.*



A rajzon látható kapcsolásban a kapcsoló zárt állásánál a tekercsen keresztül állandó erősségű áram folyik, ezt a tekercssel sorba kapcsolt árammérő műszer is jelzi. Ha a kapcsolót nyitjuk, és ezzel az áramforrást kiiktatjuk az áramkörből, akkor a műszer még egy ideig áramot jelez. Eközben azonban a tekercs által létrehozott mágneses mező fokozatosan gyengül, a tekercs belsejében a mágneses indukció nagysága egyre kisebb lesz. Egy ilyen mérés áramerősség-idő grafikonja látható a képen.



Az áramforrás kikapcsolását követően az áram fennmaradását, és ezzel együtt az elektromos munkavégzést a mágneses mező energiája biztosítja. A kísérlet is azt igazolja, hogy *az áramjárta tekercs belsejében levő mágneses mezőnek energiája van.*

Levezethető, hogy ha egy vasmag nélküli, L önindukciós együtthatójú tekercsben I erősségű áram folyik, akkor a tekercs által létrehozott mágneses mező energiája:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 . \quad (1)$$

Amikor egy tekercset áramforráshoz kapcsolunk, akkor az áramforrás a mágneses mező létrehozása közben munkát végez. A létrejövő mágneses mező energiája tehát az áramforrás energiájának csökkenéséből származik.

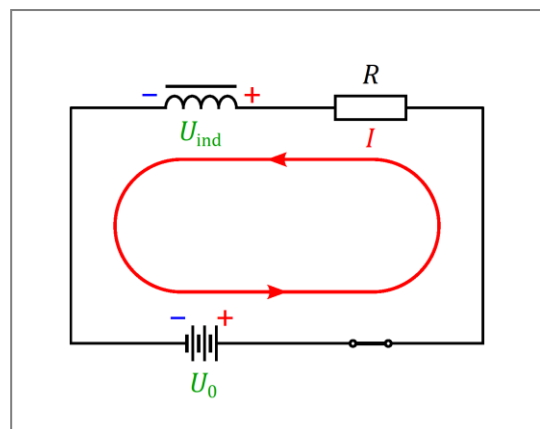
Az áramforrás kikapcsolását követően a mágneses mező energiája tartja fenn az áramot. Az áram hőhatása miatt azonban a környezet felmelegszik, azaz belső energiája növekszik. Ezt a belsőenergia-növekedést a mágneses mező energiájának csökkenése teszi lehetővé. Ennek eredményeként a mágneses mező az áramerősség csökkenésével párhuzamosan fokozatosan gyengül, végül megszűnik.

Kiegészítések

1. Az (1) képlet levezetéséhez elemezzük a tekercs bekapcsolásakor lezajló folyamatot, melynek során kialakul a tekercsben a mágneses mező! Kiindulásként írjuk fel Kirchhoff huroktörvényét! A rajz szerinti jelöléseket használva::

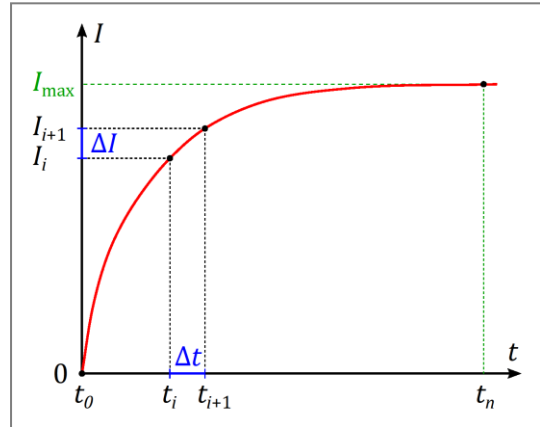
$$U_0 - U_{\text{ind}} = R \cdot I. \quad (2)$$

(Mivel az áramforrás feszültsége nagyobb, mint a tekercsben indukált feszültség, az áramirány a bejelölt irány lesz. Az indukált feszültség ezzel ellentétes irányú áramot hozna létre, ezért a huroktörvényben negatív előjellel kell figyelembe venni. A képletben az R az áramkör teljes ellenállását jelenti, azaz $R = R_k + R_b$.)



Osszuk fel a bekapcsolási folyamat időtartamát n darab, nagyon rövid, Δt hosszúságú szakaszra!

Tekintsük a bekapcsolási folyamatnak az i -ik ilyen szakaszát! Jelöljük az áramerősség eközben bekövetkező változását ΔI -vel ($\Delta I = I_{i+1} - I_i$)! Ezen a szakaszon az áramerősség tehát változik, de ha $\Delta t \approx 0$, akkor az áramerősség jól közelíthető az áramerősség kezdeti és végértékének átlagával, azaz:



$$I = \frac{I_{i+1} + I_i}{2}.$$

A (2) összefüggés mindkét oldalát megszorozva $I \cdot \Delta t$ -vel:

$$U_0 \cdot I \cdot \Delta t - U_{\text{ind}} \cdot I \cdot \Delta t = R \cdot I^2 \cdot \Delta t.$$

Átrendezve:

$$U_0 \cdot I \cdot \Delta t = R \cdot I^2 \cdot \Delta t + U_{\text{ind}} \cdot I \cdot \Delta t.$$

A bal oldali $U_0 \cdot I \cdot \Delta t$ kifejezés az áramforrás Δt időtartam alatt végzett munkájával egyenlő. Ez egyrészt az R ellenálláson végzett $R \cdot I^2 \cdot \Delta t$ munkát fedezi, a fennmaradó rész pedig a tekercsben a mágneses mező energiáját növeli. Eszerint a mágneses mezőnek a vizsgált i -ik szakaszon bekövetkező energiaváltozása:

$$\Delta E_i = U_{\text{ind}} \cdot I \cdot \Delta t.$$

Az önindukciós feszültség nagyságára vonatkozó

$$U_{\text{ind}} = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

összefüggés alapján:

$$\Delta E_i = L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t} \cdot I \cdot \Delta t = L \cdot I \cdot \Delta I.$$

Felhasználva az

$$I = \frac{I_{i+1} + I_i}{2} \quad \text{és a} \quad \Delta I = I_{i+1} - I_i$$

összefüggéseket:

$$\Delta E_i = L \cdot I \cdot \Delta I = L \cdot \frac{I_{i+1} + I_i}{2} \cdot (I_{i+1} - I_i) = \frac{L}{2} \cdot (I_{i+1}^2 - I_i^2).$$

A teljes bekapcsolási folyamat során a mágneses mező teljes energiaváltozása egyenlő az egyes szakaszokon bekövetkező energiaváltozások összegével, azaz

$$\begin{aligned}\Delta E &= \Delta E_0 + \Delta E_1 + \Delta E_2 + \dots + \Delta E_{n-1} = \\ &= \frac{L}{2} \cdot [(I_1^2 - I_0^2) + (I_2^2 - I_1^2) + (I_3^2 - I_2^2) + \dots + (I_n^2 - I_{n-1}^2)] = \\ &= \frac{L}{2} \cdot (I_n^2 - I_0^2) = \frac{L}{2} \cdot (I_{\max}^2 - 0) = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{\max}^2.\end{aligned}$$

Mivel a bekapcsolási folyamat kezdetén a mező energiája nulla volt, ezért a folyamat végén a mágneses mező energiája megegyezik a fenti energiaváltozással, azaz:

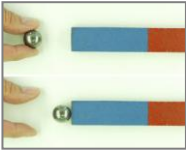
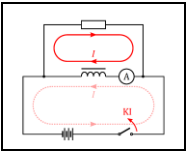
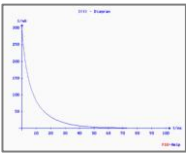
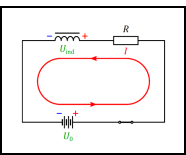
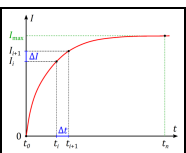
$$E = \Delta E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I_{\max}^2.$$

Eszerint tehát: Ha egy vasmag nélküli, L önindukciós együtthatójú tekercsben I erősségű áram folyik, akkor a tekercs által létrehozott mágneses mező energiája az (1) képletnek megfelelően:

$$E = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2.$$

2. A tekercs által létrehozott mágneses mező energiájára vonatkozó (1) képlet csak olyan tekercsre érvényes, amely nem tartalmaz ferromágneses anyagot (vasmagot). A ferromágneses anyagoknál ennél bonyolultabb összefüggés érvényes, de kis áramerősségeknél, közelítő számításokhoz ez az összefüggés is alkalmazható.

Képek jegyzéke

	<p>A rúd mágnestől létrehozott mágneses mező energiájának szemléltetése © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0194.jpg</p>
	<p>A tekercs által létrehozott mágneses mező energiájának szemléltetése © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0549.svg</p>
	<p>Az áramerősség–idő grafikon egy tekercs kikapcsolásakor © http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0715.jpg</p>
	<p>Rajz a levezetéshez (az áram iránya a tekercs bekapcsolásakor) © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0550.svg</p>
	<p>Rajz a levezetéshez (áramerősség–idő grafikon tekercs bekapcsolásakor) © http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0551.svg</p>

Jelmagyarázat:

- © **Jogvédelem** anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.
- W A **Wikimedia Commons**-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.