

Az áram bekapcsolása után kialakult egyensúlyi helyzetben a huzalra a hossza mentén egyenletesen eloszló, kifelé mutató erő hat.

1985-12-470-1.eps

1. ábra

Egy kis  $\Delta l$  hosszúságú huzaldarabra az erők egyensúlyának feltétele (1. ábra):

$$F_h \Delta l / r = IB \Delta l,$$

ahol  $F_h$  a huzalt feszítő erő,  $IB \Delta l$  a  $\Delta l$  hosszúságú huzaldarabra ható Lorenz-erő, és  $r$  a huzal görbületi sugara. Egyensúlyban  $F_h$  a huzal mentén állandó, így  $r$  is állandó, vagyis a hurok kör alakot vesz fel (2. ábra). Ilyenkor  $r = 2l/\pi$  és  $F_h = IBr$ .

1985-12-470-2.eps

2. ábra

Számítsuk ki a hurok tágulásakor végzett mechanikai munkát! A  $\Delta l$  hosszúságú huzaldarab által végzett munka  $IB \Delta l s$ , ahol  $s$  a huzaldarab elmozdulása (3. ábra).

1985-12-470-3.eps

3. ábra

$\Delta l s$  nem más, mint a huzaldarab által súrolt terület, ezért a teljes hurok által végzett munka  $W_{\text{mech}} = IB \Delta A$  lesz, ahol  $\Delta A$  a hurok által körbezárt terület növekedése:

$$\Delta A = \left(\frac{2l}{\pi}\right)^2 \pi - l^2 = \left(\frac{4}{\pi} - 1\right) l^2 = 0,27 l^2.$$

A számítás során elhanyagoltuk a huzalnak a saját mágneses terében végzett munkáját.

Az energiamérleg vizsgálatánál számba kell vennünk a mágneses tér energiáját, valamint a hurok áramgenerátora, illetve a  $B$  külső teret létrehozó tekercs áramgenerátora által végzett munkát.

A mágneses tér energiája két áramkör esetén:

$$E = (1/2)L_{\text{hh}}I^2 + (1/2)L_{\text{tt}}I_t^2 + L_{\text{th}}II_t,$$

ahol  $I_t$  a tekercs (állandó) áramerőssége,  $L_{\text{hh}}$  a hurok,  $L_{\text{tt}}$  a tekercs önindukciója,  $L_{\text{th}}$  pedig a kölcsönös indukció. (Kiszámítható, hogy ennyi munkát végeznek a generátorok az áramok bekapcsolásakor.) A hurok tágulásakor  $L_{\text{hh}}$  és  $L_{\text{th}}$  változik. A hurok saját mágneses terében végzett munkáját már  $W_{\text{mech}}$  kiszámításánál is elhanyagoltuk,  $L_{\text{tt}}$  pedig állandó, ezért a továbbiakban csak a kölcsönös indukcióból származó energiákkal foglalkozunk. A tér energiájának megváltozása:

$$\Delta E = II_t \Delta L_{\text{th}}.$$

A feladatban megadott külső tér esetén a tekercsben folyó  $I_t$  áramnak  $I$ -vel egyező irányban kell keringenie, és  $L_{\text{th}}$  nő a hurok tágulásakor, ezért a mágneses tér energiája is nőni fog.  $L_{\text{th}}$ -t fejezzük ki az ismert adatokkal:

$$BA = L_{\text{th}}I_t, \quad L_{\text{th}} = BA/I_t.$$

Behelyettesítve az előző egyenletbe:

$$\Delta E = IB \Delta A.$$

A két áramgenerátor is végez munkát a hurok tágulásakor indukálódott feszültség ellen.

Az ohmikus terhelésen felül végzett munka a két esetben:

$$W_h = \int_{t_1}^{t_2} I \frac{d(L_{\text{th}}I_t)}{dt} dt = \int_{t_1}^{t_2} I \frac{d(BA)}{dt} dt = IB \int_{t_1}^{t_2} I \frac{dA}{dt} dt = IB \Delta A,$$

$$W_t = \int_{t_1}^{t_2} I_t \frac{d(L_{\text{th}}I)}{dt} dt = \int_{t_1}^{t_2} I_t \frac{d[(BA/I_t)I]}{dt} dt = IB \int_{t_1}^{t_2} \frac{dA}{dt} dt = IB \Delta A.$$

Az indukált feszültség mindkét esetben az árammal ellentétes irányú, az áramgenerátorok ezért munkát végeznek. Az energiamegmaradás úgy teljesül tehát, hogy egyszerre négy energia nagysága egyezik meg:

$$W_{\text{mech}} = \Delta E = W_h = W_t.$$

Mindkét telep munkát végez, amelynek egyik fele mechanikai munkavégzésre, másik fele a mágneses tér energiájának növelésére fordítódik.