



$I$  áram esetén az egyenes tekercs kétféle mágneses teret hoz létre: belsejében a tekercs tengelyével párhuzamos irányú, homogén,  $H_1 = \mu_0 NI/l$  erősségű teret; valamint – mivel a benne folyó áramnak van eredő hosszirányú vetülete – egy közel körkörös erővonalakkal jellemezhető külső mágneses teret, amelynek erőssége  $H_2$ .

Elegendően nagy távolságban a külső tér közelíthető egy hosszú egyenes vezető terével:

$$H_2 = \mu_0 \frac{I}{2\pi r}.$$

(Az egyenes tekercs sugara  $\sqrt{A_1}/\pi \approx 1,8$  cm, így az  $r = 20$  cm távolságot „elegendően nagynak” fogjuk tekinteni.)

Az áram növelésével változtatott mágneses tér feszültséget indukál a félkörvezetőből és a féltoroidból álló keretben. Ennek kiszámításához célszerű  $H_1$  és  $H_2$  fluxusát külön-külön meghatározni.

Az egyenes tekercs belsejében levő tér fluxusa a tekercset körülvevő keretben:  $\Phi_1 = A_1 H_1$ . Ez független (az egyszerűen körülvevő) vezető keret konkrét alakjától, hiszen az a tekercsen kívül halad, ahol  $H_1 = 0$ .

A  $H_2$  erősségű tér fluxusának meghatározásakor azonban lényeges a vezető keret alakja. Az  $r$  sugarú,  $N_2$  menetszámú, féltoroidban a fluxus:  $\Phi_2 = N_2 A_2 H_2(r) = N_2 A_2 \mu_0 \frac{I}{2\pi r}$ , hiszen a körkörös erővonal a féltoroid minden hurkát merőlegesen metszi. A fluxus egy zárt felületre vonatkoztatott mennyiség. A félkörvezető úgy zárja a féltoroidot, hogy a kifeszített felületen további fluxusjárulék nem jön létre, mert a  $H_2$  erősségű tér erővonalai a félkörvezető síkját nem metszik.

Az áram növelésével a mágneses tér két összetevőjéről származó fluxusváltozás feszültséget indukál:

$$|U_1| = \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t} = \mu_0 A_1 \frac{N_1}{l} \frac{\Delta I}{\Delta t},$$

$$|U_2| = \frac{\Delta\Phi_2}{\Delta t} = \mu_0 A_2 \frac{N_2}{2\pi r} \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Ha a toroid megfelelő irányban van tekercselve, a két feszültség ellentétes irányú áramot hoz létre a zárt vezetőben. Áram abban az esetben nem folyik, ha  $|U_1| = |U_2|$ , azaz a kért menetszám:

$$N_2 = N_1 \frac{A_1}{A_2} \frac{2\pi r}{l} = 12\,566.$$

Az  $U_1$  indukált feszültség szimmetriaokok miatt fele-fele arányban jelentkezik az  $AB$ , illetve a  $BA$  íven. Így a toroid végpontjain megjelenő feszültség:

$$U_{AB} = (1/2)U_1 = (1/2)\mu_0(A_1 N_1/l)(\Delta I/\Delta t) = 31,4\mu V.$$

Hudi István (Szeged, Ságvári E. Gyak. Gimn. IV. o. t.)

*Megjegyzések.* 1. A fenti megoldásban  $H_3$  számolásakor feltételeztük, hogy a hosszú tekercs árambevezetései a tekercs hossz tengelyének irányában folytatódnak és a kör nagyon messze záródik.  $H_2$ -t így egy végtelen hosszú egyenes vezető terével közelíthettük. A tekercshez azonban számos más módon is lehet áramot vezetni. Sok helyes megoldás született egy másik (feltételezett) zsinórelrendezésre, amikor is az áramot a tekercs tengelyére merőlegesen, a körvezetőhöz képest szimmetrikusan vezetik be, ugyancsak nagyon hosszú vezetőkön. Ekkor  $H_2$  a

$$\mu_0 \frac{1}{2\pi r} \int_{-\text{arc tg}(l/2r)}^{\text{arc tg}(l/2r)} \cos \varphi \, d\varphi$$

integrálból határozható meg. Mivel ebben az esetben a  $H_3$ -tól származó indukció kisebb, ahhoz, hogy ne folyjon áram, nagyobb menetszámú féltoroidot kell alkalmazni ( $N_2 = 14\,050$ ).

2. Fogalmi problémák származnak abból, hogy nem konzervatív erőteréről lévén szó, a potenciál nincs egyértelműen definiálva. Szigorúan véve az  $A$  és  $B$  pontok közti potenciálkülönbség  $U_{AB} = \int_A^B \mathbf{E} \, ds$  (ahol az integrálási út az  $A$

és  $B$  pontot összekötő vezetődarabban halad). Ez nullának adódik, tükrözve azt a tényt, hogy a vezetőkben töltések halmazódnak fel egy kompenzáló teret kialakítva oly módon, hogy ne folyjék áram az  $A$  és  $B$  pont között. Az így definiált feszültségre egyben teljesül az Ohm-törvény is,  $U_{AB} = 0$ , hiszen  $I = 0$ .

Ugyanakkor, ha az  $AB$  pontok közé egy voltmérőt kapcsolunk, akkor az  $U_1/2$  elektromotoros erőt a műszer jelezni fogja. Az elrendezés bizonyos vonásaiban hasonló egy egyenletesen változó homogén mágneses térbe helyezett tekercs esetéhez; a tekercs végpontjai között nem folyik áram, de voltmérőt rákapcsolva a végpontokon megjelenő elektromotoros erő mérhető.