Hétköznapi eszközök és az elektromos hálózat által keltett elektroszmog vizsgálata

Csanád Máté, Lökös Sándor

2014. szeptember 10.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés **1**

2. Elektrodinamikai alapfogalmak **2**

3. Az elektroszmog élettani hatása, egészségügyi határértékek **5**

4. Mérési feladatok **5**

5. Ellenőrző kérdések **7**

1. Bevezetés

A XX. században a tudomány és a technika forradalmi léptekkel haladt előre. Elsősorban a fejlett országokban az ipar teljesítőképessége nagyságrendekkel javult, és ezzel párhuzamosan a felhasznált energia mennyisége is egyre gyorsabban növekedett. A villamos energiát centralizáltan, erőművekben kezdték termelni (ahogy jórészt ma is), és létrehozták ennek elszállítására, szétosztására alkalmas távvezetékek rendszerét is. Ezzel egy időben ezt a villamos energiát a háztartásokban felhasználó rendszerek léptek működésbe. Napjainkban egy átlagos háztartás energiaigénye néhány száz watt. Az energia szállítására a váltakozó áramú elektromos hálózatok fejlődtek ki, és ezek napjainkban jól kidolgozott szabványok szerint működnek. A váltakozó áram használatának sok előnye van, például szállítás előtt könnyen feltranszformálható a feszültsége, miközben az áramerősség lecsökken, és a szállításkor a veszteségek jelentősen kisebbek lesznek. Az kisfeszültségű, egyenáramú hálózatok erősen melegítik a vezetéket, míg a váltóáramú nagyfeszültségű hálózatban a melegedés nem számottevő. A nagy villamos hálózatokban folyó áram szabvány szerinti frekvenciája Európában f=50 Hz (az USA-ban 60 Hz). Ez azt jelenti, hogy az elektronok másodpercenként 50-szer oda-vissza száguldanak (oszcillálnak) a vezetékben, és az ugyanilyen gyakorisággal váltakozó elektromos és mágneses tér szállítja az energiát a fogyasztó felé.

Az elektromos rendszerek környezetfizikai jelentősége, hogy az elektromos és a mágneses terek legtöbbször nem lokalizáltak bennük, és így az emberi testbe is be tudnak hatolni. Ilyen rendszer lehet bármely elektromos háztartási eszköz, a távvezetékek. Ezek az elektromos és mágneses téren keresztül energiát adhatnak le, ez az energia melegítheti a sejteket, a terek pedig a szervezet elektromos impulzusait, az idegrendszer működését, a hormontermelést is megzavarhatják. Miért jelenik meg a berendezéseken, vezetékeken kívül is elektromágneses tér? Az elektromágnesesség elméletét összefogaló Maxwell-egyenletekből tudhatjuk, hogy a változó elektromos tér mágnesességet, a változó mágneses tér elektromosságot indukál (ld. Faraday- és Ampère-törvény), és így akár elektromágneses hullámok is létrejöhetnek. Ezek hullámhossza a frekvenciától és a fénysebességtől a $\lambda = c/f$ összefüggésen keresztül függ. Így tehát a háztartási és irodai berendezések energiaellátásukból fakadó hullámhossza f=50 Hz és $c = 3 \cdot 10^8$ m/s adatokból $\lambda = 6000km$, azaz a Föld sugarával kb. megegyező. Sugárzásról többnyire akkor beszélünk, ha a hullámhossz többszörösének megfelelő távolságból észleljük a forrást – jelen esetben tehát inkább a létrejött elektromos és mágneses terek nagyságát vizsgáljuk. A berendezések és vezetékek sokszor árnyékolva vannak, a Faraday-kalitkának megfelelő elven, ugyanakkor ez sosem tökéletes, így azokon kívül is észlelhető elektromos és mágneses terük.

Az 50 Hz frekvenciájú távvezetékek környékén például jelentős az elektromágneses tér. Ugyanakkor elektromágneses sugárzást kibocsátó eszközök például a rádióadók és napjainkban a mobiltelefonok, azok átjátszó

adói, hiszen ezek frekvenciája sokkal magasabb, a MHz, GHz tartományban van (azaz a kapcsolódó hullámhossz lényegesen a méteres, centiméteres tartományba esik). Számos háztartási eszközben jelen van a hálózati 50 Hz frekvenciájú változó tér, míg sokszor a magasabb frekvenciájú tereket maga az eszköz állítja elő. Ilyenek a hajszárító, a televízió, a mikrohullámú sütő, stb. A bennük kialakuló erős áram mágneses hatása, vagy a bennük levő elektromágnes tere a készüléken kívül is kiterjed. Ezen elektromágneses terek emberre gyakorolt hatása ma is aktív kutatás tárgyát képezi.

A laboratóriumi gyakorlaton megismerkedünk az elektromágneses (EM) terekkel, ezek mérésével, néhány eszköz által kibocsátott vagy a környezetében tapasztalható váltakozó elektromágneses teret vizsgálva.

2. Elektrodinamikai alapfogalmak

2.1. Az elektromágneses tér leírása

Az elektromosan töltött test vonzó-, vagy taszítóerővel hat a környezetében található töltött testekre, a Coulomb-törvénynek megfelelően: az erő a töltések nagyságával és a távolság négyzetének inverzével arányos, tehát r távolságra lévő, q és Q töltések között

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{qQ}{r^2} \tag{1}$$

erő hat, ahol ϵ_0 a vákuum elektromos permittivitásnak nevezett állandó, értéke $8,9 \cdot 10^{-12}$ $\mathrm{C^2/Nm^2}$. Ezen erő helyett bevezethetjük az elektromos tér fogalmát, a térerősséget. Az E térerősség jelentése az, hogy ha ebben elhelyezünk egy q töltést, akkor arra

$$F_e = qE \tag{2}$$

erő hat. Másképpen úgy is fogalmazhatunk, hogy ha egy q töltésű „próbatestre" egy adott pontban F erő hat, akkor ott $E = F/q$ térerősség van. Hogy jobban megértsük ezt, fogalmazzuk át a Coulomb-törvényt: Q töltés elektromos teret kelt, melynek nagysága r távolságban

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Q}{r^2}. \tag{3}$$

Ez az E elektromos tér hat a q töltésre, $F = Eq$ mértékben, és ide behelyettesítve visszakapjuk a Coulomb-törvényt. Az elektromos tér mértékegysége ennek megfelelően Newton/Coulomb. Valójában azt gondoljuk, hogy nem is a Coulomb-erő az, ami „létezik", hanem az elektromos tér. Az elektromos tér (vagy inkább mezőnek hívjuk) sokkal szélesebb körben értelmezhető, lényegesebb mennyiség, mint az erő. A térerősség *egyetlen* töltés esetén is létezik, azaz akkor is, ha nem eredményez erőt. A töltött testek tehát elektromos mezőt hoznak létre maguk körül és ezen keresztül hatnak kölcsön más töltött testekkel.

Az emberiség régi tapasztalata szerint létezik egy másik fajta hatás is, amit mágnesességnek nevezünk: két mozgó töltés nem csak a Coulomb-erővel hat egymásra, amit főleg a Föld által létrehozott mágneses tér és az iránytűk ennek megfelelő elfordulása mutat. A mágnesességet a B mágneses térrel jellemezzük, amelynek forrásai azonban az elektromos töltések – mágneses töltések, monopólusok ugyanis nem léteznek (ha egy mágnest kettévágunk továbbra is azt tapasztaljuk, hogy északi és déli pólusa egyaránt van). A mágneses tér hatása a mozgó töltésekre a Lorentz-erőn keresztül írható le:

$$F_m = qv \times B \tag{4}$$

ahol a sebesség és a mágneses tér között vektoriális szorzás van, azaz akkor maximális, ha merőlegesek egymásra. Ez az erő jelentősen elősegíti a Földi élet fennmaradását, hiszen emiatt a „világűrből" érkező sugárzás, a kozmikus részecskék csak a Föld pólusainál jelennek meg, a többi helyen eltéríti őket a Föld mágneses tere. A pólusoknál ezek a részecskék hozzák létre a sarki fényt. Az iránytű elforgását is ez az erő hozza létre: a kis „köráramnak" tekinthető atom emiatt fordul be mindig a mágneses térnek megfelelő irányba. Hogyan hozzák létre a töltések a mágneses teret? Ezt a Biot–Savart-törvény egy egyszerű formáján keresztül érthetjük meg. Eszerint egy v sebességgel mozgó q töltés mágneses teret kelt, ennek nagysága a töltéstől a sebességére merőlegesen r távolságra

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{qv}{r^2}, \tag{5}$$

ahol $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ $\mathrm{Ns^2/C^2}$ a vákuum mágneses permeabilitása (figyeljük meg a hasonlóságot a ponttöltés keltette elektromos térrel). A mágneses tér mértékegysége Tesla, másképpen Ns/Cm, ebben kifejezve a Föld mágneses tere: 30 μT, tipikus hűtőmágnesek tere 5 mT, míg az orvosi MRI készülékek mágneses tere 1-8 T.

2.2. Áram mágneses tere

Az (5). egyenlet alapján kiszámítható, hogy egy vezetőben folyó áram milyen mágneses teret hoz létre maga körül: hiszen ez nem más, mint az áramnak megfelelő sebességgel haladó töltések mágneses tere. A részletes számolást mellőzzük itt (ez amúgy a Bevezetés a fizikába 2. tárgy jegyzetében megtalálható), az eredmény azonban fontos. Eszerint egy I áramot szállító vezetéktől r távolságra (ha a vezeték hossza a távolságnál lényegesen nagyobb):

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}. \tag{6}$$

Ez alapján kiszámíthatjuk, hogy ha felettünk van 10 m magasságban található vezetékben 100 A áram folyik, akkor $B = 2\ \mu$T mágneses teret mérhetünk (a számoláshoz egyszerűen helyettesítsünk be a fenti képletbe). Fontos továbbá, hogy a mágneses tér iránya minden pontban a vezeték körül az adott ponton átmenő kör érintőjének irányába mutat, a jobbkéz-szabálynak megfelelően.

A nagyfeszültségű távvezetékekben többnyire váltakozó áram folyik (azaz $I = I_0 \sin(2\pi f t)$), ekkor a mágneses tér is váltakozó lesz, és a fenti képlet az amplitúdókra lesz igaz, mivel

$$B = \frac{\mu_0 I_0 \sin(2\pi f t)}{2\pi r} \tag{7}$$

azaz

$$B_0 = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r} \tag{8}$$

2.3. Elektromágneses indukció

Régóta ismert az is, hogy a változó mágneses tér elektromos teret hoz létre maga körül. A Faraday-féle indukciós törvényből tudjuk, hogy vezetőben akkor indukálódik feszültség, ha a zárt hurkon átmenő mágneses tér időben változik. A $\Phi = BA$ mágneses fluxust definiálva, ahol A a zárt hurok által bezárt felület, B pedig a mágneses térnek a felületre merőleges komponensének nagysága (a lappal párhuzamos mágneses tér változása nem játszik szerepet a jelenségben), azt mondhatjuk, hogy a mágneses fluxus időbeli változása elektromos teret hoz létre. Egy zárt hurok esetén az indukált feszültség Faraday törvénye szerint a hurok által bezárt felületen áthaladó mágneses fluxus idő szerinti deriváltja lesz:

$$U_{ind} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} \tag{9}$$

Ha nem egyetlen zárt hurkunk van, hanem N darab menetet tekercselünk fel, akkor az indukálódó feszültség fenti képletében szereplőnek az N-szerese. Felhasználjuk továbbá a mágneses fluxus definícióját, így a következő formulát kapjuk:

$$U_{ind} = -N\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -N\frac{\partial (BA)}{\partial t} \tag{10}$$

Ez és az előző alfejezet alapján tehát, ha egy tekercset egy távvezeték közelében tartunk, akkor rajta feszültség indukálódik. Ennek oka váltakozó áram által létrehozott váltakozó a mágneses tér. Ha a (7)-(8) egyenletek alapján a $B = B_0 \sin(2\pi f t)$ mágneses teret tesszük fel, a következőre jutunk:

$$U = -N\frac{\partial(BA)}{\partial t} = NAB_0\frac{\partial \sin(2\pi f t)}{\partial t} = -U_0 \cos\omega t \tag{11}$$

azaz

$$U_0 = 2\pi f N A B_0 \tag{12}$$

amit átrendezve megkapjuk a mért elektromágneses tér értékét:

$$\boxed{B_0 = \frac{U_0}{2\pi f N A}} \tag{13}$$

Fontos, hogy ez a képlet csak váltakozó mágneses térre igaz. Ügyeljünk arra, hogy mindig az adott háztartási eszközre jellemző, valóságos frekvenciát használjuk! A számolás során a fenti képletben használjunk SI egységeket, tehát V, m^2, Hz egységeket, ekkor a mágneses indukciót T (Tesla) egységekben kapjuk meg. Mivel 1 T igen nagy mágneses teret jelent, a jegyzőkönyvben lehetőleg μT egységeket használjunk (1 T = 10^6 μT)!

Ha a korábbi példánál maradunk, azaz egy 100 A amplitúdójú (és 50 Hz frekvenciájú) váltakozó áramot szállító vezetéktől 10 m távolságban vagyunk, (ahogy korábban láttuk, hogy itt $B_0 = 2\mu$T a mágneses tér amplitúdója), akkor az indukált feszültség amplitúdója kiszámítható. Legyen a tekercs menetszáma N=1000, a felülete A=10 cm^2, a hálózati frekvencia (f) és a mágneses tér amplitúdója (B_0) korábban adott volt, így a feszültség amplitúdója kb 0,63 mV lesz (ellenőrizd a számolást!).

2.4. Önindukció

A tekercsbe áramot vezetve abban mágneses tér keletkezik. Ha az áramerősség időben változik, akkor a mágneses tér is változik, tehát a változó fluxus feszültséget indukál a tekercsen. Ez az önindukció, és a tekercseket ezért jellemezzük induktivitással. Ez azt jelenti, hogy ha a tekercsben folyó áram időben változik, akkor kizárólag ennek hatására keletkezik benne feszültség (nem kell külső változó mágneses tér). Egy N menetű, l hosszúságú szolenoidban az Ampère-törvény szerint $B = N\frac{\mu_0 I}{l}$ nagyságú mágneses tér alakul ki, ha a tekercsben folyó áram erőssége I. A mágneses tér a tekercs forgástengelyének irányába mutat, és jó közelítéssel homogén a tekercs belsejében. A mágneses indukció vonalai azonban nem szakadhatnak meg és nem is végződhetnek sehol, ezért a szolenoidon kívül is van ún. szórt mágneses tér, ahol az indukcióvonalak visszakanyarodnak. Ha a tekercsben az áramerősség időben változik az $I(t)$ függvény szerint, akkor a benne indukálódó feszültség Faraday-törvénye alapján:

$$U_{ind} = -N\frac{d\Phi(t)}{dt} = -NA\frac{dB(t)}{dt} = -NA\frac{\mu_0 N}{l}\frac{dI(t)}{dt} = -L\frac{dI(t)}{dt} \tag{14}$$

ahol L az önindukciós együttható, mértékegysége H (henry, Vs/A). A mínusz előjel arra utal, hogy az így keletkező feszültség mindig akadályozza az őt létrehozó változást (ez Lenz törvénye). Leolvasható tehát, hogy $L = A\mu_0 N^2/l$. Ezt mérve a tekercs menetszáma meghatározható.

2.5. Összefoglalás

A fentiek összefoglalásaként az alábbiakat mondhatjuk el:

- Az elektromos teret az elektromos térerősséggel jellemezzük, melyet a (2) egyenlettel definiálunk. Egy töltés terét a (3) egyenlet adja meg.
- A mágneses teret a mágneses térerősséggel jellemezzük, melynek hatását a (4) egyenlettel definiáljuk. Egy (mozgó) töltés terét az (5) egyenlet adja meg.
- Az elektromos tér kelthet mágneses teret és viszont. Az ezt leíró törvényekből kiszámolhatjuk egy hosszú egyenes vezető mágneses térét, ld. a (6) egyenletben.
- Az elektromágneses indukció jelensége alapján a mágneses fluxus időbeli változása feszültséget hoz létre, ahogy a (9) egyenlet leírja. Egy tekercsben indukált váltakozó feszültség amplitúdója kiszámítható az ezt létrehozó mágneses tér amplitúdójából, ahogy a (13) egyenletben láthatjuk.

3. Az elektroszmog élettani hatása, egészségügyi határértékek

Jelentős mennyiségű kutatási eredmény áll rendelkezésünkre ebben a témakörben, elsősorban a nagyfrekvenciás sugárzások hőhatásáról és emberi szervezetben való elnyelődéséről mikrohullámú és nagyfrekvenciás tartományban. Fontos vizsgálni a radar- és rádiótechnika, háztartási eszközök és orvosi alkalmazások (pl. mag-mágneses rezonancia, MRI) esetleges biológiai hatásait.

A sugárzás elnyelődését az emberi szövetekben a test elektromos permittivitása, illetve mágneses permeabilitása határozza meg. Az energiafelvétel dielektromos polarizáció útján történik. Ha a külső elektromos tér periódusideje és az elnyelő anyagban található kis dipólusok (pl. vízmolekulák) mozgásának (vibráció, rotáció, stb.) tipikus periódusideje megegyezik, maximális elnyelődést, abszorbciót tapasztalhatunk. Ilyen módon nyelődik el a mikrohullámú sütő sugárzási energiája a vízben. A biológiailag fontos anyagok elektromos permittivitása frekvenciafüggő, és a levegő permittivitásától jelentősen eltér. A biológiai anyagban elnyelt sugárzás mennyisége (így valószínűleg biológiai hatása is) erősen frekvenciafüggő. 100 kHz frekvencia alatt például a sejtmembrán leárnyékolja külső elektromos teret, a sejt belsejébe csak a nagyobb frekvenciájú hullámok hatolnak be. A sejtmembrán, makromolekulák, fehérjék, aminosavak, peptidek, vízmolekulák más-más frekvenciatartományban képesek sugárzásokat elnyelni (a felsorolás sorrendjében ez a frekvencia nő). Ennek az elnyelésnek orvosi diagnosztikai jelentősége is lehet.

A rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzások biológiai hatásainak tanulmányozásához egységesen kialakult dozimetriai fogalmakat használunk. Az elektromos térerősség egysége szokásosan: Volt/méter, a mágneses indukció egysége Tesla, az elektromágneses sugárzás intenzitása a kettő szorzatával arányos, W/m^2 egységekben mérjük. Az alacsony frekvenciás terek esetén (10 kHz alatt) a testben történő elnyelődést a testben keletkezett áramsűrűséggel írják le A/m^2 egységekben. Példaként megemlíthetjük 1 μT vízszintes irányú mágneses tér 50 Hz frekvenciánál közel $5\mu A/cm^2$ áramsűrűséget indukál az emberi testben.

A számítógépek képernyőjének elektromágneses tere 15 és 60 kHz frekvencia között van, ezzel a frekvenciával térítik el az elektronnyalábot a készülékben. Ebben a frekvenciatartományban 10 V/m elektromos és 0,2 μT körüli mágneses terek vannak a monitort használó ember helyén. A nagyon alacsony frekvenciájú elektromágneses terek közül a legfontosabbak a hálózati 50 Hz frekvenciájú terek. A Föld statikus mágneses tere Budapesten kb. 50 μT nagyságú (azonban konstans, tehát az 50 Hz frekvencián nem jelentkezik), természetes ingadozásai kisebbek mint néhányszor 0,01 μT. A természetes alacsonyfrekvenciás háttér 50 Hz környékén 0,0005 μT körül van. Ezzel szemben a háztartásokban ezen a frekvencián a mesterséges forrásokból származó mágneses terek 0,2-0,3 μT körüli nagyságúak. A 756 kV-os légkábeles távvezetékek közvetlen közelében (a talajon állva) 30 μT is lehet a mágneses tér amplitúdója. Villanyborotva vagy hajszárító közvetlen közelében ez az érték két-három nagyságrenddel nagyobb, 3000 μT is lehet. Elektromosságot előállító erőművek közelében 40 μT körüli értékeket mértek, néha rövid ideig 270 μT maximumokkal. Hegesztők munkaköri expozíciója 130000 μT is lehet.

Az International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ajánlásai tartalmazzák a nem-ionizáló elektromágneses sugárzásokra vonatkozó egészségügyi határértékeket. 50 Hz-es frekvenciájú mágneses tér és állandó tartózkodás esetén a lakossági határérték 100 μT, a foglalkoztatási pedig 500 μT. Részletesebb értékeket az 1. táblázat tartalmaz.

	Kitettség ideje (50/60 Hz)	Elektromos erőtér	Mágneses mező
Munkahelyi	Teljes munkanap	10kV/m	500 μT
	Rövid idejű	30kV/m	5 mT
	Végtagokra	-	25 mT
Lakossági	24 óra, folyamatosan	5 kV/m	100 μT
	Napi néhány óra	10 kV/m	1 mT

1. táblázat. A táblázat tartalmazza a International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection ajánlásait. Kiegészítésképpen: az egész testet érő mágneses erőtér, napi 2 órás időtartamot meghaladóan nem lehet 5 mT értéknél nagyobb. Forrás: ICNIRP `http://www.icnirp.de/`

4. Mérési feladatok

A gyakorlat során olyan változó tereket vizsgálunk, melyeket a hétköznapi életünkben szereplő eszközök bocsátanak ki: konkrétan egy hajszárító illetve az Északi tömb keleti bejáratánál a föld alatt futó nagyfeszültségű vezeték terét. Az alábbi ábrán látható tekercset az adott eszköz közelébe tartva, ügyelve, hogy a mágneses

indukcióvonalak a tekercs síkjára merőlegesen essenek be, vagyis a forgástengelyével párhuzamosan, a multiméter segítségével megmérjük a benne indukálódott feszültséget mV-ban, a tér forrásától különböző távolságokra. Ezzel a módszerrel a következőkben részletezett mérési feladatokat elvégezhetőek.

Két tekercs áll rendelkezésre, ezekkel mindenki saját mérési adatsort hoz létre – méghozzá mindenki a mérés vezetője által előre megadott számú és távolságú ponton. A mérést négyfős csoportokban végezzük, ebből mindig az aktuális méréssor „gazdája” adja meg az értékeket, a többiek segítenek neki: valaki feljegyzi az általa diktált számokat, valaki más segít a távolság mérésében, a csoport negyedk tagja pedig a tekercset mozgatja.

A mérés során a következő feladatokat hajtjuk végre:

1. A menetszám és a tekercs keresztmetszetének ismeretében az indukciós törvényből számítsuk ki, hogy a tekercsben a későbbi mérések során indukálódó 1 mV feszültségnek hány μT mágneses tér felel meg (mindkét esetben a szinuszosan változó jel amplitúdójáról beszélünk), $f = 50$ Hz frekvenciánál. Becsüljük meg ennek az átszámítási konstansnak a hibáját! Tartsuk észben, hogy az indukálódó feszültséget voltmérővel (multiméterrel) fogjuk mérni, melyek nem az U_0 amplitúdót, hanem az $U_0/\sqrt{2}$ effektív feszültséget mutatják!

2. Bevezetésképpen vizsgáljuk meg, hogy egy hajszárító körül mekkora mágneses tér indukálódik: a tekercset körülötte mozgatva keressük meg a legnagyobb leolvasható feszültségértéket, majd számoljuk ki ebből a mágneses tér nagyságát. Vessük ezt össze a természetes háttérsugárzással, a jelen jegyzetben található példa-értékekkel és az egészségügyi határértékkel.

3. Mérjük meg egy nagyfeszültségű vezeték körüli mágneses teret (az Északi Tömb keleti bejáratánál, a liftekhez közel találunk ilyet a padló alatt). A tekercs különböző irányokba történő forgatásával állapítsuk meg a keltett mágneses tér irányát, és azt a helyet, ahol a legerősebb a mágneses tér! Mérjük meg a mágneses tér amplitúdóját a távolság függvényében a multimétert használva minél pontosabban, néhány cm-es lépésenként! A későbbi hibaszámítás érdekében készítsünk két adatsort (fejenként)!

4. Készítsünk a mért eredményekről táblázatot, melyben feltüntetjük a mért r távolságot, az U_0 feszültségamplitúdót mV-ban, és az ebből kiszámított mágneses tér B_0 amplitúdóját μT-ban! Ábrázoljuk B_0 értékét a távolság függvényében!

5. A mágneses tér távolságfüggése a fentiek (a (8) egyenlet) alapján a következő:

$$B_0 = \frac{\mu_0 I_0}{2\pi r}. \tag{15}$$

Itt az r paraméter a vezetéktől mért valódi távolság, ezt azonban nem tudjuk. Tegyük fel, hogy a vezeték mélysége d, és az r legyen az általunk valójában mért távolság. Ekkor

$$\frac{1}{B_0} = \frac{2\pi}{\mu_0 I_0}(r + d) \tag{16}$$

alakban egy egyenes egyenletét kapjuk. Ábrázoljuk most az adatainkat úgy, hogy a függőleges tengelyre az $1/B_0$, a vízszintes tengelyre a tetszőleges referenciaponttól (a talajtól) mért r távolság kerüljön! Ekkor az adatok egy egyenesen fekszenek. Illesszünk egyenest ezekre az adatokra, határozzuk meg ezen egyenes $y = ax + b$ egyenletét.

6. A fenti egyenletből az $a = 2\pi/\mu_0 I_0$ és $b = a/d$ összefüggések adódnak. Határozzuk meg tehát a vezetékben folyó áram I_0 amplitúdóját és a vezeték padlószint alatti d mélységét!

7. Végezzünk χ^2 próbát, azaz vizsgáljuk meg, hogy a mért adataink valójában mennyire kompatibilisek a feltevéseinkkel.

8. Végezzünk hibaszámítást a mért adatok szórása, illetve az egyéb átszámítási értékek mérési hibája alapján: I_0 és d hibája legyen a mért értékek hibájának átlaga. Honnan származnak a lehetséges hibák a mérés során?

A jegyzőkönyvben tüntessük fel, hogy melyik tekerccsel mértünk! Készítsünk jól áttekinthető táblázatot a mért értékekről és az abból számolt mennyiségekről! A táblázatban használjuk a kényelmes cm, mV, μT mértékegységeket! Ne adjunk meg értelmetlenül (a mérési bizonytalansághoz képest) sok tizedesjegyre semmilyen mért vagy számolt értéket, figyeljünk a mérési hibának megfelelő kerekítésre! Ügyeljünk arra, hogy az ábrák tengelyeinek skáláit úgy állítsuk be, hogy minden mérési pont az ábrán legyen, de ne maradjon túlzottan sok üres hely sem! Ha Excel-t használunk, az ábráknál válasszuk az XY (Scatter) diagramtípust! Gondoljuk meg, hogy a kiszámolt értékek reálisak-e, mert ez megmutathatja, hogy hibáztunk. Gyanakodjunk, ha irreális eredményt kapunk (pl. I=10000 A áram, d=100 m mélység, B=100 T, stb.)! Dolgozzunk önállóan, ne vegyük át mérőtársunk esetleg hibás eredményeit (kivéve a közösen lemért nyers adatokat)!

5. Ellenőrző kérdések

1. Hogyan számítható ki egy tekercsben indukálódó feszültség, ha a mágneses teret és annak $B(t)$ időfüggését ismerjük?

2. Mi a mágneses tér mértékegysége? Mik a rá vonatkozó egészségügyi határértékek?

3. 50 Hz frekvenciájú mágneses indukcióra vonatkozóan mekkora a lakossági egészségügyi határérték, állandó tartózkodás esetére?

4. Milyen eszközzel fogjuk mérni a mágneses teret, és annak milyen jellemzőit kell tudnuk a méréshez?

5. A mért feszültség amplitúdóját hogyan számítjuk át a mágneses tér amplitúdójára egy adott frekvenciájú mágneses tér esetében, ha az időfüggés szinuszos?

6. Mekkora a Föld állandó mágneses tere? Mekkora tipikusan a lakosságot terhelő alacsonyfrekvenciás háttérsugárzás?

7. Körülbelül mekkora mágneses teret mérhetünk a nagyfeszültségü távvezetékek alatt? Mitől függ ez?

8. Hogyan lehet meghatározni a tekercs segítségével egy adott helyen a mágneses térerősség irányát?

9. Egy 2000 menetszámú, 3 cm^2 felületű tekercsben mekkora mágneses tér hatására indukálódik 10 mV feszültség?

10. Egy 1 A áramot szállító egyenes vezetéktől 3 m távolságra mekkora a mágneses tér?

11. Egy nagyfeszültségű vezeték által keltett (és megmért) mágneses teret ábrázoljuk a távolság függvényében. Rajzold le, hogy milyen görbére számítunk az ábrázolt $B_0 - r$ grafikonon!

12. Mit kell tennünk, hogy a mérési adataink egyenesre essenek?

13. Hogyan határozhatjuk meg a mérési adatainkból az áram erősségét és a vezeték helyét?