

Az elektromágneses terek tulajdonságai

Összeállította: Henézi Ferenc
Pécs, 2009. december

Tartalomjegyzék

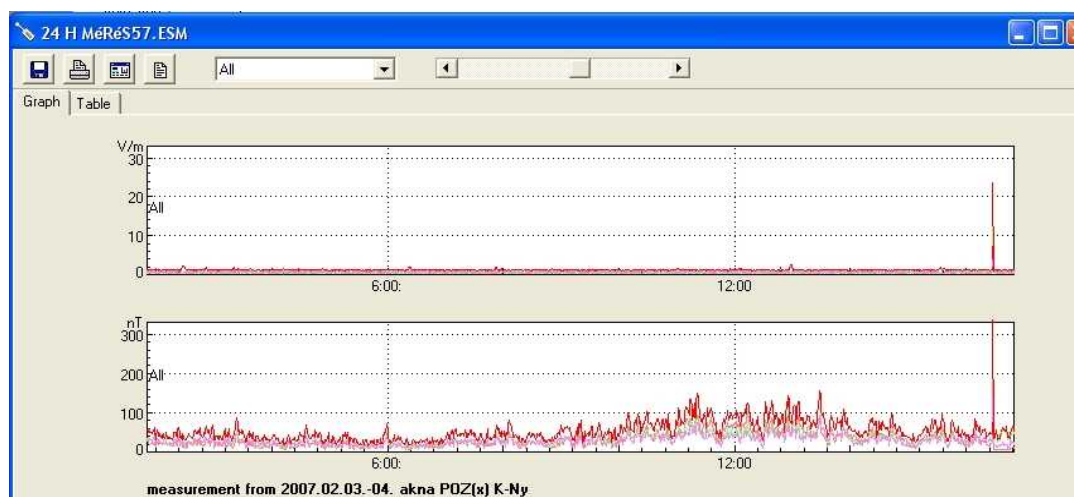
1. Bevezetés	3
2. Váltakozó EM terek néhány jellemzője	4
Hullámhossz (λ).....	5
Frekvencia	5
Geometriai méretek az EM térben.....	5
Energiaviszonyok	5
Energiasűrűségek.....	5
3. Az EM terek hatása	7
Kisfrekvenciás elektromos erőter hatása.	7
Kisfrekvenciás mágneses erőter hatása.	8
Határértékek	8
4. EM terek hasznosítása	10
5. EM terek leárnyékolása	11
Elektromos terek árnyékolása.....	11
Mágneses terek árnyékolása	12

1. Bevezetés

Az elektromágneses terekről készülő, folyamatosan bővülő, tanulmány (összefoglaló) célja az EM terek tulajdonságainak megismerése, a műszerfejlesztéshez háttéranyagok biztosítása, mérések során kapott adatok értelmezésének a segítése. Az EM terek fizikai tulajdonságain túl, az élettani hatásainak a megismerése, kockázatok csökkentéshez megfelelő intézkedések kidolgozása.

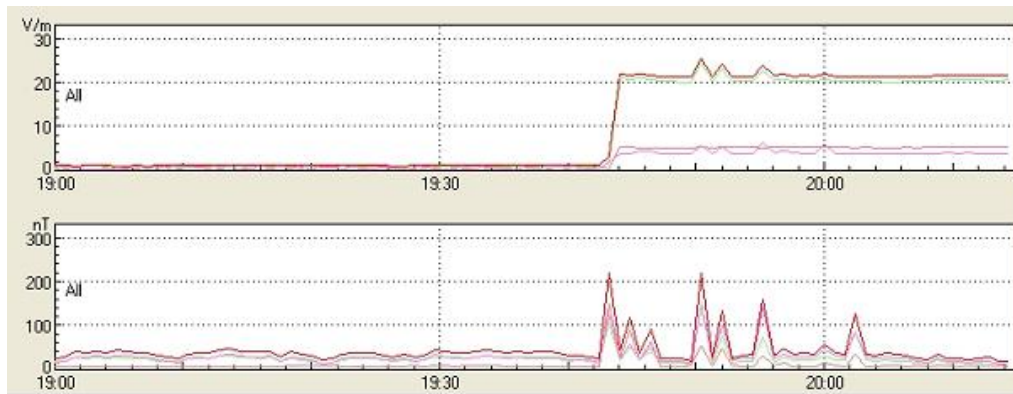
A föld felszíne negatív elektromos töltéssel rendelkezik. A föld negatív töltése elektromos teret hoz létre, ami pozitív töltéseket mozgat a felszínhez, melyek semlegesítik a negatív töltéseket. A földfelszín közelében normál állapotban kb. 100 V méterenként a potenciálkülönbség. A levegő ionizáltságának az állapota kihat szervezetünkre, hangulatunkra. A negatív ionok stimuláló, felvillanyozó hatásúak, a pozitív ionok dominanciája levertséget, kedvetlenséget okoz.

A föld mágneses tere pár ezer kilométer mélyből, a föld magjából ered. Villamos analógia szerint, úgy foghatjuk fel, mintha a föld magjában 1 milliárd amperes köráram folyana. Ennek a hatásnak köszönhetően a föld felszínén mérhető a mágneses tér, amely a tengerészek mellett sok más élőlény is használ tájékozódáshoz.



Mérés egy föld alatti aknában. Az elektromos tér változása minimális, alatta a föld mágneses terének a változása, 12 h körüli maximumokkal (3D)

A föld mágneses tere Magyarországon 45 μT körüli érték, (1 Gauss = 100 μT = 10 000 γ). A föld mágneses tere jelentős hatást gyakorol az élőlényekre, átjárja szervezetünk egészét. A földmágneses tér változásai az alapérték 2%-t ritkán érik el. A heves naptevékenység kiváltotta mágneses viharok 50 – 250 γ (20 - 100 nT) változást jelentenek. A földi mágneses tér változásai 10 – 0,0001 Hz tartományba esnek. (Mesterségesen, pl. az MRI berendezésekben 1 T-nál is nagyobb mágneses tereket is előállítanak.) Nem ferromágneses anyagban 1 A/m-nek 1,26 μT mágneses fluxussűrűség (indukció) felel meg. A levegőben általában néhány száz V/m-es statikus villamos tér, pl. zivatar előtt több 1000 V/m-es nagyságrendűre nőhet. A következő ábrán ezt szemléltetjük. (x1000)



Az ábrán 19h 42p érkezett meg a vihar, a mágneses 'csúcsok' villámlások számát jelentik! Egyetlen villám elektromágneses impulzusának (LEMP) a kiterjedése több km körzetű lehet. A méréseket ESM-100 műszerrel végeztük.

A természetes EM terek mellett, mesterséges terek vesznek körül, melyek jelentősen befolyásolják mindennapi életünket. Célunk ezeknek a lehetőségekhez képest, minél jobb megismerése.

2. Váltakozó EM terek néhány jellemzője

Az időben változó elektromágneses terek esetén a villamos és mágneses összetevő a Maxwell egyenletek szerint szerves egységet képez:

- A villamos tér változása a mágneses tér örvényeit
- A mágneses tér változása a villamos tér örvényeit hozza létre.

Ha a szinusos változás ω körfrekvenciájú, akkor a térvektor egyenletek:

$$\text{rot}H = (\sigma + j\omega\epsilon)E$$

$$\text{rot}E = -j\omega\mu H$$

Az egyenletek alapján speciális, de a gyakorlatban, sok esetben, (pl. levegőben), kisfrekvenciás (<9 kHz) tartományban, amikor σ fajlagos vezetőképesség és az ω kis értékűek, a villamos és mágneses térösszetevők kölcsönös kapcsolata elhanyagolható, vagyis az összetevőket egymástól függetlennek tekinthetjük. Így a villamos erőteret a csak az azt létrehozó feszültség, mágneses erőteret csak az azt gerjesztő áram nagysága határozza meg.

- Fontos tény, hogy $\sigma \gg \omega\epsilon$ esetén, az anyagot vezetőnek tekinthetjük, a konduktív (szokásos áram) áram a meghatározó.
- $\sigma \ll \omega\epsilon$ esetén az anyag dielektrikum (szigetelő), ilyenkor az eltolási, 'kapacitív' áram a meghatározó.

Mivel az anyagok villamos viselkedését $\sigma/\omega\epsilon$ viszonyuk dönti el, látható, hogy egyes anyagok kisfrekvencián még viszonylag jó vezetők lehetnek, nagyfrekvencián

Karotázs Tudományos Műszaki és Kereskedelmi Kft.

fokozottan szigetelőkké válnak. Ilyen anyag a föld, amely a 10^7 Hz tartománytól inkább szigetelőnek bizonyul.

Színusz függvény szerint változó EM teret változási sebességgel, frekvenciával és hullámhosszal tudjuk jellemezni. A két érték közül a frekvencia az univerzálisabb, mert ha az EM hullám többféle közegben terjed, akkor a sebessége és a hullámhossza az anyagjellemzők szerint változik, viszont a **frekvenciája állandó értékű marad.**

Hullámhossz (λ)

f	λ	$\lambda/2\pi$
10 Hz	30.000 km	4.800 km
50 Hz	6.000 km	960 km
100 Hz	3.000 km	480 km
400 Hz	750 km	120 km
1 kHz	300 km	48 km
10 kHz	30 km	4.8 km

A táblázat néhány frekvenciaértékhez adja meg a levegőre vonatkozó hullámhossz értéket, valamint egy fontos határértéket, az un. közel és távotér közötti, az EM forrásból $\lambda/2\pi$ távolságra levő választóvonalra.

Frekvencia

Geometriai méretek az EM térben

Energiaviszonyok

Minden tértípus energiát tartalmaz, amelyet az őt gerjesztő környezetéből (nap, föld, generátor) vesz át. Általános szabályként – ha a generátorra csatlakozó áramkör nyitott, akkor villamos tér alakul ki, ha zárt, akkor mágneses tér, ha pedig terheléssel csatlakozik rá, akkor villamos és mágneses tér együttesen jön létre. A kilépett energia a forrás közelében tárolódik, ill. innen terjed a környező térbe.

Energiasűrűségek

A homogén villamos és mágneses terekben a térfogategységre eső energiatartalom, az energiasűrűség.

$H=1$ A/m és $E=1$ V/m értékekkel képezve a W_H/W_E viszonyt látható, hogy egységnyi erősségű mágneses tér fajlagos energiatartama általában μ/ϵ (levegőben μ_0/ϵ_0 kb. = 10^5) arányában, nagyságrendekkel nagyobb, mint, egységnyi erősségű

Karotázs Tudományos Műszaki és Kereskedelmi Kft.

villamos téré (azonos frekvencia tartományban). Összefoglalva: ugyanazon számértékű mágneses tér (**A/m**) veszélyesebb, mint ugyanazon számértékű villamos tér (**V/m**).

A W_H/W_E viszonyzámmal azonos számértékű térerősséggel jellemezhető, de egymástól független tereket hasonlítunk össze. A villamos és mágneses térerősség hányadosát az elektromágneses tér hullámimpedanciájának nevezzük. A távotér hullámimpedanciája állandó, levegő esetén értéke $Z_0=(\mu_0/\epsilon_0)^{1/2} = 12\pi = 377 \Omega$. A hullám impedanciaként értelmezett **E/H** viszony állandó, a levegőben $Z_0 = 377 \Omega$ érték. Ha képezzük az energiasűrűségek viszonyát, akkor távotérben, **H=1 A/m** –es **EM** hullámot energetikailag $E = HZ_0 = 377 \text{ V/m}$ térérték írja le.

Az azonos energiasűrűséghez tartozó térerősség mérőszámok minden esetben μ/ϵ anyagjellemzőktől függenek.

3. Az EM terek hatása

Az EM spektrum jelentős hatást fejt ki, mind sejtszinten, mind az élő szervezetben és szervezetben. (a hatás szóhoz nem feltétlen kapcsolódik veszélyes jelző) Az elektromágneses spektrum alsó tartománya a fénysugárzásokkal bezárólag ún. nem ionizáló sugárzások tartománya.

Az EM terek, ezen belül is a hálózati és a rádiófrekvenciás terek élő szervezetre gyakorolt hatását makró szinten jól ismerjük, mikró szinten, a 'gyenge hatások', a molekuláris folyamatok tartományában még kevésbé ismert.

A jól leírt hatások sztatikus tér esetén erő, kismeghajtású (kisebb 30 kHz) terek esetén különféle inger, a nagyfrekvenciás EM terek tartománya főleg hőhatások. Fő szabály, hogy az EM terek esetében az ártalmasságot és nem pedig az ártalmatlanságot kell bizonyítani. Nulla kockázat sem a természetben, sem a technikában nem létezik!

A mikró szintű kutatások fő témái jelenleg, pl. a szervezet immunológiai, fejlődéstani, melatonin termelési, a sejtek Ca-ion háztartási, szaporodási és más reakcióit vizsgálják a molekuláris biológia szintjén. Szervezetünk idegi és más biológiai folyamatai során villamos – bio áramok – jönnek létre. A test átlagos áramsűrűsége elérheti a $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ -es értéket és valószínű helyileg túl is lépi ezt. Az EM terekkel foglalkozó tudomány ezt az értéket lényeges összehasonlítási alappal tekinti.

Kisfrekvenciás elektromos erőtér hatása.

A kisfrekvenciás villamos erőtérben ismert jelenség a bőrfelszín szőrzetének a vibrálása. Ezt az emberek néhány százaléka $1 \text{ kV}/\text{m}$ térerősség esetén, a többsége $10 \text{ kV}/\text{m}$ térerősségnél veszi észre. Ez az ingerhatás – a szakirodalom szerint – önmagában teljesen ártalmatlan, legfeljebb figyelmeztető jelnek lehet tekinteni. A villamos teret az emberi test, vezető, külső része, az ún. irha réteg elég jól árnyékolja, ezért a villamos tér hatása – közvetlenül – kevésbé okozhat veszélyhelyzetet. Függőleges, 50 Hz –es erőtérben álló álló személy testén át kV/m térerősség egységenként $4 - 8 \mu\text{A}$ kapacitív áram folyik.

Számítások szerint agyunk nyugalmi áramsűrűségének az értékét külső villamos erőtér hatására keletkező kapacitív eltolási áram $40 \text{ kV}/\text{m}$ környékén éri el. Megjegyzendő, hogy az erőtér torzulása, koncentrációja, másfelől a koponyánk árnyékoló hatása miatt az agyban $1 \text{ kV}/\text{m}$ térerősség mintegy $2-3 \text{ nA}/\text{cm}^2$ áramsűrűséget hoz létre.

A levegőben maximum néhány száz V/m -es a sztatikus villamos tér, amely zivatar előtt $1000 \text{ V}/\text{m}$ -es nagyságrendűre nő.

Kisfrekvenciás mágneses erőtér hatása.

Határesetben, sztatikus ($f=0$) mágneses térben a véráramban mozgó töltések és a testrészek mozgása, vagy a szív működés miatt indukálódhat áram. (mozgási indukció). Testünkben az indukált áram $0,1-1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ áramsűrűségéhez a törzs keresztmetszetében $0,5-5 \text{ T}$, illetve a szív esetén $6-600 \text{ mT}$ értékű fluxus szükséges. (ilyen fluxus sűrűségekkel dolgozik a mágneses rezonanciavizsgáló (MRI) berendezés. Nem ferromágneses anyagban 1 A/m -nek $1,26 \mu\text{T}$ (mikroteszla) mágneses fluxussűrűség (indukció, B) felel meg. Sok helyen Gauss (CGS) típusú mértékegység is előfordul. ($10^5 \gamma = 1 \text{ G}$)

$$1 \text{ Gauss} = 100 \mu\text{T} = 10\,000 \gamma$$

$$1 \text{ mG} = 0,1 \mu\text{T} = 100 \text{ nT} = 10 \gamma$$

A föld állandó mágneses tere Magyarországon $45 \mu\text{T}$ ($0,67 \text{ G}$, vagy 6700γ) környezetében változik. A föld mágneses tere jelentős hatást gyakorol az élőlényekre, átjárja szervezetünk egészét. A földmágneses tér változásai az alapérték 2%-t ritkán érik e. Ha az alapértéket, gammában adjuk meg (6700γ), a heves naptevékenység kiváltotta mágneses viharok $50 - 250 \gamma$ ($20 - 100 \text{ nT}$) változást jelentenek. A földi mágneses tér változásai $10 - 0,0001 \text{ Hz}$ tartományba esnek.

A kisfrekvenciás váltakozó mágneses erőtér az emberi testet gyakorlatilag akadály nélkül átjárja és ott – nyugalmi indukció révén – feszültséget indukál. Míg a külső villamos tér a testrészek eltérő vezetőképessége miatt az emberben erősen inhomogén lesz, addig a külső mágneses tér hatása változatlan formában érvényesül. Ha veszély esetén a legkedvezőtlenebb esetet nézzük – test vezetőképessége $0,5 \text{ S/m}$ és $0,4$ illetve $0,8 \text{ m}$ átlójú ellipszis alakú hurokkal számolva, 50 Hz frekvencia esetén $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ indukált áramsűrűség létrejöttéhez mintegy $50 \mu\text{T}$ –ás fluxus sűrűség szükséges.

Biológiai hatások szempontjából az indukált áram sűrűségének az értékét négy csoportra szokás osztani:

- $0,1-1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ esetén a biológiai hatás nem érzékelhető,
- $1-10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ esetén bizonyos szemingerek (szemkáprázás) és gyenge izomingerek felléphetnek,
- $10-100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ esetén jelentős izomingerek lépnek fel,
- $100 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ feletti áramsűrűségek esetén szívkamrai fibrilláció jöhet létre, amely közvetlen életveszélyt jelent.

Határértékek

A vizsgálatokban, melyekben embereket tettek ki erőtér hatásának, sok jel arra mutatott, hogy egyesek érzékenyebbek, mint mások. A szenzibilis egyének előfordulását, népesség mintegy 1-2 %-ra becsülik (Mellon jelentés). A kísérletek arra mutatnak, hogy egyes személyek képesek $50-100 \mu\text{T}$ -ás, 50 Hz -es mágneses tér érzékelésére. (?)

Karotázs Tudományos Műszaki és Kereskedelmi Kft.

A tirozmirigy, ez a pár grammos szerv az agyunkban, egyes adatok szerint 0,25 γ változás is észlel?

Az elmúlt években – jelentős költséggel – az USA sok középületében, árnyékolás alkalmazásával, a kritikus helyeken, 1 μT érték alá csökkentették a mágneses fluxussűrűséget. Oroszországi épületekben jelenleg 5 μT a szabványos érték.

Frekvencia tartomány	Elektromos térerősség (V/m)	Mágneses térerősség (A/m)	Mágneses indukció (μT)
0-1 Hz	-	$3,2 \times 10^4$	4×10^4
1-8 Hz	10 000	$3,2 \times 10^4 / f$	$4 \times 10^4 / f$
8-25 Hz	10 000	4000/f	5000/f
25-800 Hz	250/f	4/f	5/f
800-3000 Hz	250/f	5	6,25
3-150 kHz	87	5	6,25

Magyarországon (63/2004 ESZCSM rendelet) szerinti egészségügyi határértékek.

4. EM terek hasznosítása

A magnetoterápia már a fizioterápiás gyógyító eljárások önálló részét képezi. A változó erőtereket a mozgásszervi, csonttöréses betegségek és kozmetikai célból is használják. A Linzi egyetemen tervezett mágneses sejtregeneráló készülék mikroprocesszorral programozható mágneses teret állít elő. A lüktető erőter frekvenciája, néhány Hz és 20 Hz közti tartományban van, fluxussűrűség legnagyobb értéke megközelíti a 100 μT értéket.

MRI orvosi vizsgálóberendezés

5. EM terek leárnyékolása

Az MSZ IEC 500(16) szerint az EM hullámok árnyékolása , eszköz, mely csökkenti a tér meghatározott területre való behatolását. Az elektromágneses teret elvileg mind a 'forrásnál', mind a 'vevőnél' árnyékolhatjuk, de a lehetőségek inkább az utóbbi megvalósítását teszik lehetővé. Az árnyékolás anyaga mindig valamilyen villamos szempontból jól vezető anyag, lehet fém, de árnyékoló hatású a föld, vagy az épületek téglá és beton fala. A legújabb kutatások szerint különféle speciális kompozit anyagok, sőt szupravezetők is képezhetik az árnyékolást.

A forrás és a vevő közti t vastagságú S árnyékoló anyag 'vevő' oldalán a villamos és mágneses térerősségek ugrásszerűen csökkennek a forrásoldali értékükhöz képest. Ez a csökkenés jellemzi az árnyékolás hatékonyságát. Az értékét általában logaritmikus egységben szokás megadni (dB). Meg kell adni, hogy villamos (E index), vagy mágneses (H index) erőterre, ill térösszetevőre vonatkozik az árnyékolást mérő szám.

Elektromos terek árnyékolása

A sztatikus villamos tér árnyékolását Faraday mutatta ki a róla elnevezett fémhálóval, minden oldalról körülvevett, zárt ketreccel. Manapság Faraday-kalickának szokás nevezni minden villamosan jól vezető anyagból készült, önmagában záródó burkolatot, szerkezetet.

Elektrosztatikus terek árnyékolása

Az elektromos terek árnyékolása, abból következik, hogy a külső villamos tér hatására a zárt vezető felületén töltés megoszlás játszódik le. A szétválasztott töltések tere az eredeti teret éppen kompenzálja. Így a vezető (fém) belső (és külső) felülete elektrosztatikus térben ekvipotenciális lesz. Ennek eredményeként a zárt hurkon belül (és az árnyékolás, vezető falában is) az E térerősség nulla, azaz a sztatikus villamos erőter teljesen árnyékolt lesz. Az árnyékolás szempontjából nem szükséges a kalicka földelése.

A Faraday-kalicka fala viszonylag lassan változó, például hálózati frekvenciás villamos erőter hatására a periódikusan változó irányú töltésmegosztásból következően áramot vezet. Ennek mágneses tere és az ohmos feszültségéhez tartozó villamos tere a kalickán belül még elhanyagolható. Az ilyenkor létrejövő árnyékolás kvázisztatikus jellegű.

Változó villamos tér árnyékolása

A Faraday-kalicka földelése a következő okokból lehet szükséges:

1. Változó villamos tér esetén (kapacitív csatolás)
2. Ekvipotenciális, referencia (földelt) felületként,
3. Általános töltésvezető, villámvédelem, érintésvédelem, biztonságtechnika

Ha a kalickát leföldeljük, akkor a védelem jellegéből kifolyólag igen széles frekvencia tartományban hatékony a villamos közeltér, azaz a kapacitív zavarcsatolás elleni védelmet kapunk. A mindig földelt (hidegített, testelt) árnyékolásra vonatkozóan kapacitív csatolás veszélye esetén nem kell feltétlenül teljesülnie az 'önmagában zárt fémfelület' feltételnek. Az árnyékolás feladata ilyenkor az, hogy a zavaró villamos tér irányától függően 'védőernyőt' alkosson a védett egység felett, vagy épen, mellett és igen kis ellenállású áramutat, azaz rövidzárt biztosítson a kialakuló kapacitív (eltolási) áramnak a test ill. a föld felé.

Mágneses terek árnyékolása

Magnetosztatikus, vezetékes árnyékolás

Az elektrosztatikus terek árnyékolásánál ismertetett Faraday-kalicka árnyékolási elvétől teljesen eltérően a magnetosztatikus (és kvázisztatikus) tér árnyékolása azon alapszik, hogy a védett teret saját vezetőképességéhez (ez általában μ_0 -nak, ill $\mu_r = 1$ -nek felel meg) képest jóval nagyobb mágneses vezetőképességű anyaggal, pl. speciálisan ötvözött acéllemezzel vesszük körül. Ezáltal a védett tér körül lesöntöljük, elvezetjük a zavaró mágneses erővonalakat.

A védelem falanyaga sohasem 'abszolút jó' mágneses vezető, mert ilyen anyag nem létezik. Ezért a magnetosztatikus teret az elektrosztatikus térrel ellentétben csak korlátozott mértékben lehet leárnyékolni. A föld 40-50 μT fluxussűrűségű mágneses terének leárnyékolása nem okoz komolyabb problémát.

A jó vezetőképességű árnyékolás kb. 10 kHz-ig használható. A relatív permeabilitás értéke 10 kHz felett erősen csökken.

Mágneses tér örvényáramú árnyékolása