

Rádióhullámok terjedése

Az elektromágneses hullámok fontos szerepet játszanak az életünkben. Sok fejlett technológia épül ezeknek a hullámoknak a terjedési tulajdonságaira. Ebben a mérésben a rádióhullámok terjedését fogod vizsgálni vízben, levegőben és hullámvezetőben.

Eszközök

- Monokromatikus rádióhullám kibocsátó (adó) vízálló házban (a frekvenciája a 200 MHz - 5 GHz tartományban van), az 1. ábrán „A”-val jelölve. A hullámforrás helyét az ábrán szaggatott vonal jelzi. Mellette a „B”-vel jelölt vevő, amely méri a vett elektromágneses hullám P teljesítményét, és az eredményt decibelben mutatja [a decibel érték = $10 \log_{10}(\frac{P}{1\text{mW}})$]. A vevő által mutatott érték 15 másodpercenként frissül. Az érzékelő helyét egy piros háromszög jelzi az eszközön. **FONTOS! A vevő nem vízálló! Az adó háza vízálló és zárt, nem szabad kinyitni!**
- Különböző átmérőjű fém csövek „C” (a belső átmérők: $d_1 = 41$ mm, $d_2 = 46$ mm, $d_3 = 59$ mm, $d_4 = 100$ mm).
- Egy műanyag cső, amelynek egyik vége egy kupakkal le van zárva „D”.
- Egy lapos fenekű műanyag doboz „E”. A doboz falain áthaladó rádióhullámok fáziseltolódása elhanyagolhatóan kicsinek tekinthető.
- Egy tekercs alumínium fólia „F”.
- Négy habszivacs darab „G”, amelyekből egy árnyékoló tartót építhetsz az adónak, ahogy az a 2. ábrán látható.
- Egy vonalzó „H”.
- Egy műanyag vödör vízzel „I”, egy mérőpohár „J”, egy műanyag pohár „K”, papírzsebkendők „L”.
- Egy vékony madzag „M”, egy csipesz „N”, egy tekercs ragasztószalag „O”, gumik „P” és egy fa rúd „Q”.

Az adód párosítva van a vevővel, és a vevő kiszűri az összes többi adó jelét. Azt azonban ne felejtse el, hogy a rádióhullámok a teremben lévő mindegy tárgyról, beleértve az embereket, visszaverődnek, amely a hullámok interferenciájához vezet. Így ha a fejedet közelebb tartod a vevőhöz, vagy elmozdulsz, megváltozhat a vevő által mutatott érték. A vett teljesítmény függ az adó és a vevő irányítottságától is. Légy óvatos az alumíniumfóliából készült árnyékolással is: kis lyukak és rések (pl. a fólia és a doboz között a 2. ábrán) a hullámok kiszökését okozhatják.

Az 1-4. feladat egymástól független, és tetszőleges sorrendben elvégezhető. Készíts vázlatrajzot minden mérési elrendezésről, amit használsz, hangsúlyozva a fontos részleteket! Írd le az összes használt összefüggést, készíts táblázatot minden mért adatról, és készíts grafikonokat, ahol szükséges! Nem kell hibaszámítást végezned, de törekedj a mérések minél pontosabb elvégzésére!

Task 1. A vevő érzékenysége (1p)

Mekkora a legkisebb mérhető vett teljesítmény (mW-ban)?

Task 2. A hullámhossz vízben (6p)

Határozd meg a rádióhullámok hullámhosszát vízben! Használhatod a 2. ábrán látható összeállítást.

A következő feladatokban a hullámok terjedését valamilyen közeggel (vízzel vagy levegővel) töltött fém csövekben fogod tanulmányozni. Ekkor

$$\vec{E} = \vec{E}_0(r, \varphi) e^{-\alpha z} e^{i(kz - \omega t)}, \quad (1)$$

ahol \vec{E} az elektromos térerősség vektor, α írja le a közeg által okozott csillapítást (vízben $\alpha > 0$, levegőben $\alpha = 0$), és az r, φ, z hengerkoordinátákat használjuk.

Az $\vec{E}_0(r, \varphi)$ függvény egy állóhullámot ír le a hullámvezető keresztmetszetében. Különböző állóhullámok a keresztmetszetben a hullámvezetőben terjedő hullám különböző terjedési módjainak felelnek meg. A diszperziós reláció egy a hullámvezetőben terjedő hullámra így adható meg:

$$\omega^2 = (k_*^2 + k^2) c^2, \quad (2)$$

ahol c a fénysebesség a hullámvezetőt kitöltő közegben, k_* pedig egy pozitív konstans, amely csak a cső átmérőjétől és a terjedési módtól függ. A kísérletben minden terjedési mód elhanyagolható a legkisebb k_* értékkel jellemzett terjedési módot kivéve. Vedd figyelembe, hogy egy hullám csak akkor terjedhet egy hullámvezetőben csillapítás nélkül (valós értékű k hullámszám vektorral), ha a rezgés frekvenciája elég nagy, $\omega \geq ck_*$. Az (1) és (2) egyenletek érvényben maradnak alacsonyabb frekvenciákon is, tisztán képzetes $k = i\mu$ hullámszámvektort eredményezve, amely az exponenciálisan csökkenő (eltűnő) módnak felel meg.

Task 3. Csillapítás vízben (3p) Határozd meg az α csillapítási együtthatót vízben! Tanács: A rádióhullámok akkor tudnak terjedni a műanyag csőben, ha az meg van töltve vízzel és körbe van tekerve alumínium fóliával. Használj ragasztószalagot a cső rögzítésére.

Task 4a. Exponenciálisan csökkenő mód levegővel töltött hullámvezetőkben (2p) Tedd az adót a $d_1 = 46$ mm átmérőjű alumínium csőbe, és tanulmányozd, hogyan változik a vevővel érzékelt hullám P teljesítménye a cső végénél az adó és a cső vége közti z távolság függvényében! Mérési eredményeidből (a P teljesítmény a z távolság függvényében) határozd meg a μ paramétert az exponenciálisan csökkenő módban!

Task 4b. (5p) Végezz el egy méréssorozatot annak meghatározására, hogyan függ a μ paraméter a cső d átmérőjétől! Javasolj egy függvénykapcsolatot ezek között a paraméterek között, és igazold feltevéseidet kísérletileg!

Task 5. Hullámhossz levegőben és a víz törésmutatója (3p) Határozd meg a rádióhullámok hullámhosszát levegőben, és számítsd ki a víz törésmutatóját a rádióhullámokra vonatkozóan!