

Földbe hatoló radar

A földbe hatoló radart a földfelszín alatt, nem túl mélyen elhelyezkedő tárgyak felderítésére és helyük meghatározására használják. Működésének lényege, hogy elektromágneses hullámokat sugároz a földbe, és érzékeli a tárgyakról visszaverődő hullámokat. Az antenna és az érzékelő közvetlenül a föld felszínén, ugyanabban a pontban helyezkedik el.

Ha egy ω körfrekvenciájú, lineárisan polarizált elektromágneses síkhullám a z tengely irányában halad, akkor benne az elektromos térerősség a következő összefüggéssel írható le:

$$(1) \quad E = E_0 e^{-\alpha z} \cos(\omega t - \beta z),$$

ahol E_0 állandó, α a csillapodási együttható, β pedig a (kör)hullámszám. Esetünkben α és β a következő összefüggésekkel adható meg:

$$(2) \quad \alpha = \omega \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2 \omega^2}} - 1 \right)}, \quad \beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2 \omega^2}} + 1 \right)},$$

ahol μ , ε és σ a közeg mágneses permeabilitását, elektromos permittivitását és elektromos vezetőképességét jelöli. ($\mu = \mu_0 \mu_r$, $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$, a vezetőképesség pedig a fajlagos ellenállás reciproka.)

Egy, a talajban lévő tárgyat érzékelhetetlennek tekintünk, ha a felszínről induló radarjel amplitúdója $1/e$ -nél (37%-nál) nagyobb arányban csökken le akkorra, amikor a jel a tárgyhoz érkezik. Rendszerint 10 MHz–1000 MHz között változtatható frekvenciájú elektromágneses hullámot használnak, mert ez felel meg a tárgyak helymeghatározásának és az észlelés felbontóképességének.

A radar felhasználhatósága függ a felbontóképességétől. A felbontóképesség az a minimális távolság, amely esetén még két ilyen közeli visszaverő objektum megkülönböztethető. Ez határesetben azt jelenti, hogy a két objektumról visszaverődő hullám fáziskülönbsége a detektornál (alkalmas helyzetben) eléri a 180° -ot.

(Adatok: $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m és $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m.)

Kérdések

1. Tételezzük fel, hogy a talaj nem mágneses ($\mu = \mu_0$), és teljesül, hogy $\left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2 \ll 1$. Az (1) és (2) összefüggések felhasználásával add meg a hullám v terjedési sebességét μ -vel és ε -nal kifejezve (1,0 pont).

2. Határozd meg a talajbeli érzékelés maximális mélységét, ha a talaj vezetőképessége 1,0 mS/m, permittivitása $9\varepsilon_0$, valamint teljesül a $\left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon}\right)^2 \ll 1$ feltétel! ($S = \text{ohm}^{-1}$, és felhasználhatod, hogy $\mu = \mu_0$.) (2,0 pont).

3. Tegyük fel, hogy két párhuzamos vezető rúd fekszik a talajban 4 méter mélyen. A talaj vezetőképessége 1,0 mS/m, és a permittivitása $9\varepsilon_0$. A radar jó közelítéssel az egyik rúd felett van. Tételezzük fel, hogy az érzékelő pontszerű. Határozd meg, hogy legalább mekkora frekvenciára van szükség ebben az elrendezésben 50 cm-es vízszintes (oldalirányú) felbontóképesség eléréséhez (3,5 pont)!

4. Ugyanebben a talajban meg szeretnénk mérni, hogy egy vízszintesen eltemetett rúd mekkora d mélységben fekszik. Ezért a detektorral, a talajon, a rúdra merőleges irányban fekvő x egyenes mentén méréseket végzünk, mérjük egy radarimpulzus visszaérkezésének t idejét. Az eredményt az 1. ábra mutatja.

1. ábra. A t visszaérkezési idő az x detektorhelyzet függvényében, $t_{\min} = 100$ ns

Add meg a t visszaérkezési időt x függvényeként, és határozd meg a d mélységet (3,5 pont)!