

Beräkning av ytresistans - förlustresistans - för antenn- trådar vid olika frekvenser

Av SM0AQW/Jan Gunmar

Det kan ibland vara bra att kunna uppskatta hur stor den sk yt- eller egenimpedans är hos en antenntråd. Ytimpedansen är den impedans som antenntråden själv har, utöver sin strålningsresistans, därför att den har en ändlig ledningsförmåga. Ytimpedansens reella del bidrar till antennens matningsimpedans men motsvarar tyvärr en ren värmeförlust i antenntråden. Helst skulle man vilja att den reella delen - ytresistansen - vore försumbar jämfört med strålningsresistansen.

Ytresistansen kan begränsa verkningsgraden för tunna antenner som har låg strålningsresistans. Exempel på sådana antenner är korta trådvertikaler, små loopar (omkrets mindre än 0.1 våglängder), men också olika riktantenner t ex några former av W8JK och antenner med parasitelement och "close spacing". Andra tillfällen där ytresistansen kan vara av betydelse är vid dimensionering av en jordledning mellan sändaren och ett jordtag i marken.

När en högfrekvent ström flyter i en ledare uppstår ett fenomen som kallas strömfrängning eller "skineffekt". Detta yttrar sig genom att strömtätheten i ledarens tvärsnitt avtar in mot ledarens centrum och att huvuddelen av strömmen börjar flyta nära av ledarens yta.

Ett mått på skineffekten är *inträngningsdjupet*. Inträngningsdjupet representerar tjockleken av ett ringformigt avsnitt av tråden med ytterradien a där all ström tänks flyta med konstant strömtäthet. Inträngningsdjupet minskar med ökande frekvens. En konsekvens av skineffekten är att man vid mycket höga frekvenser inte längre behöver använda solida ledare - det går lika bra att använda tunna rör eller metallfolie.

Ett litet inträngningsdjup medför en ökning av trådens resistans jämfört med resistansen vid likström. Ytimpedansen eller egenimpedansen för en cylindrisk ledare betecknas Z_e och kan beräknas som

$$(1) \quad Z_e = L \cdot \frac{1+j}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \sqrt{\frac{\omega \mu \cdot \mu_0}{2 \cdot \sigma}}$$

Storheterna i ekvationen ovan är följande:

a = ledarens radie i meter

L = trådens längd i meter

ω = vinkelfrekvensen = $2 \cdot \pi \cdot f$ rad/s

μ = permeabiliteten för ledarmaterialet

μ_0 = permeabiliteten för vacuum = $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Henry/m

σ = konduktiviteten för ledarmaterialet mho/meter

Det är intressant att notera att ytresistansen och ytreaktansen är *lika stora*.

Ytresistansen för cylindriska trådar är den reella delen av ytimpedansen enligt ovan:

$$(2) \quad R_e = L \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot a} \cdot \sqrt{\frac{\omega \mu \cdot \mu_0}{2 \cdot \sigma}}$$

Inträngningsdjupet definieras som

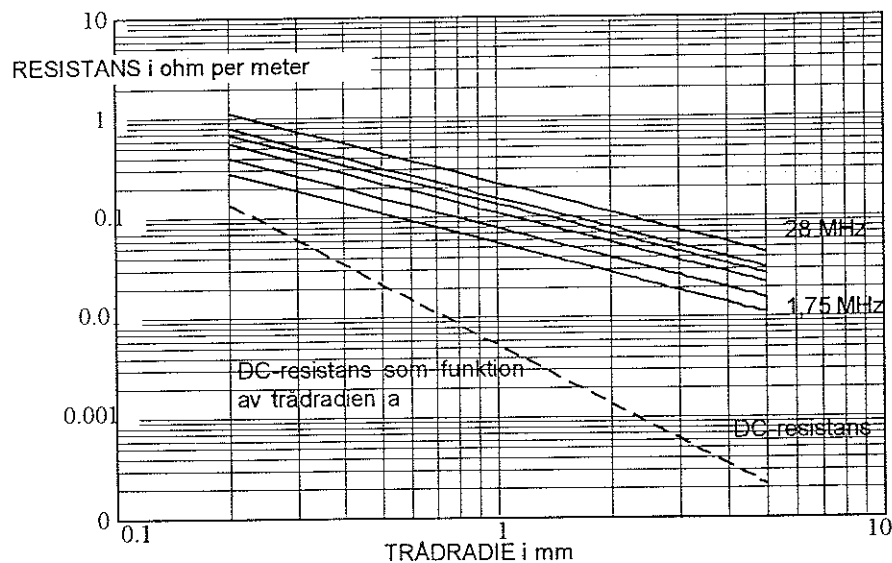
$$(3) \quad d_s = \sqrt{\frac{2}{\mu \cdot \mu_0 \cdot \omega \cdot \sigma}}$$

Inför man d_s i ekvationen för trådens ytresistans (2) ovan erhålls ett alternativt uttryck för R_e :

$$(4) \quad R_e = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot d_s \cdot \sigma}$$

För koppartråd är konduktiviteten i mho/meter ca $5.8 \cdot 10^7$ och $\mu = 1$. I beräkningarna nedan förutsätts att $\mu = 1$ (omagnetiskt material).

I diagrammet 1 nedan ser vi hur trådens ytresistans varierar med trådradien på frekvensbanden 1.75, 3.5, 7, 10.5, 14 och 28 MHz.



FIGUR 1: Ytresistans i ohm/meter hos koppartrådar på amatörförbanden 1.8 - 28 MHz

För jämförelse är värden på likströmsresistansen R_{DC} som funktion av trådradien a inlagda i diagrammet. En extrapolation visar att någonstans nära radien 0.15 mm börjar trådens DC-resistans dominera över dess HF-resistans vid frekvenser på top band. Använder man klenare trådar inträffar "brytpunkten" vid högre frekvenser.

Så klenta tråddimensioner förefaller dock orealistiskt små (åtminstone så länge vi tänker på antenntrådar och trådar i HF-induktorer) och vi kan dra slutsatsen att om vi vill beräkna HF-resistans hos trådar på amatörförbanden ska vi använda Rayleigh's formel ovan och glömma DC-resistansen!

Formeln för DC-resistansen *per meter* ledare är med samma beteckningar (radien a i meter och σ i mho/meter) som ovan:

$$(5) \quad R_{DC} = \frac{1}{\pi \cdot a^2 \cdot \sigma}$$

Ett sätt att minska inverkan av skineffekten är att dela upp ledaren i ett antal parallella trådar - ett bra exempel är "Litz-tråd" - ett begrepp som åtminstone veteranerna känner igen.

Om man använder n st parallellkopplade trådar i en "wire" behöver varje enskild tråd bara ha radien

$$a \cdot \sqrt{\frac{1}{n}}$$

för att totala ledararean skall förbli oförändrad. Eftersom ytresistansen bara är omvänt proportionell mot trådens radie och inte mot dess yta kommer den totala ytresistansen för ett knippe av n parallellkopplade trådar att bli kvadratroten ur n gånger lägre än om man använder en solid tråd med samma area som summan av de parallellkopplade trådarnas area.

Vi tar två exempel med hjälp av diagrammet i figur 1 för att visa storleksordningar på hur det kan bli:

a/ Egenresistansen hos en 80 meter lång loop med 1mm tråddiameter (0.5 mm radie) blir ca 12 ohm (80×0.15 ohm). Förtusten på a trådens ytresistans blir då ca 10% om loopen har strålningsresistansen 120 ohm!

b/ Egenresistansen hos en 42 m lång L-antenn med 1.5 mm tråddiameter (radie 0.75 mm) för Top Band som har dimensionerna 10 meter vertikalt och 32 meter horisontellt blir ca $42 \times 0.065 = 2.7$ ohm.

Strålningsresistansen hos en sådan antenn kan vara ca 7 ohm om den matas vid marken och man kan anta att ytterligare 10 ohm resistans finns i jordtaget (jordplanet). Verkningsgraden blir inte så lysande! Men jordplanet ger det överlägsset största bidraget! Forts. följer i nästa nummer