THE 50 Ω STORY
door Rik ON7YD

De uitgangsimpedantie van een zender, de ingangsimpedantie van een antenne, de karakteristieke impedantie van een coaxkabel ... ze zijn (bijna) altijd 50 Ω. En zo nu en dan duikt de vraag op waarom dit zo is. Natuurlijk weten we dat voor een optimale overdracht van vermogen de impedanties van zender, transmissielijn en antenne gelijk moeten zijn. Maar waarom net 50 Ω?

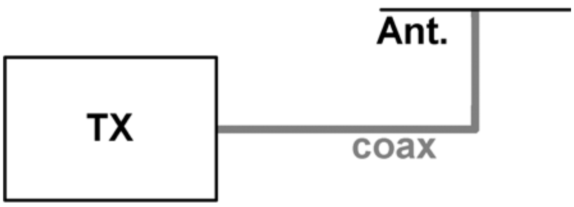

Fig. 1

Deze 50 Ω is niet zomaar toevallig gekozen. Bij deze waarde waarde is het verlies in de coaxkabel minimaal. Dit is relatief gemakkelijk aan te tonen, al komt er wel wat wiskunde aan te pas.

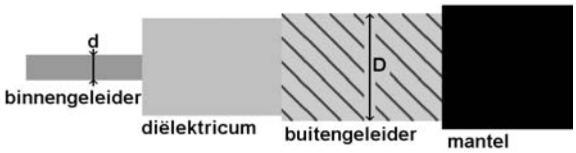

Fig. 2

Bekijken we even een klassieke opstelling met een zender en antenne die onderling verbonden zijn met een coaxkabel (fig. 1). Willen we het zendvermogen zo efficiënt mogelijk naar de antenne transporteren, dan moet het verlies in de coaxkabel zo klein mogelijk zijn. De hamvraag is dus: wat bepaalt de verliezen in een coaxkabel?

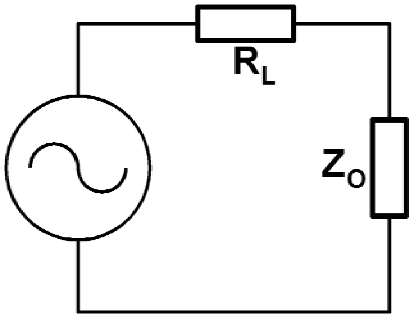

Fig. 3

Fig. 2 toont de opbouw van een coaxkabel. Enerzijds hebben we de verliezen in de geleiders, de binnengeleider en de afscherming, ook de 'ohmse verliezen' genoemd. Anderzijds hebben we de diëlektrische verliezen, maar deze laten we even buiten beschouwing.

We kunnen onze opstelling zender-coaxkabel-antenne ook beschouwen als een opstelling met een bron - de zender - en twee weerstanden: de verliesweerstand van de coaxkabel en de impedantie van de antenne (fig. 3). Laten we de diëlektrische verliezen buiten beschouwing dan is het 'rendement' van de opstelling evenredig met de verhouding tussen de impedantie van de antenne, welke gelijk is aan de karakterieke impedantie van de coaxkabel (Z_O), en de ohmse weerstand van de kabel (R_L):

$$\eta \approx \frac{Z_O}{R_L} \qquad \text{(formule 1)}$$

Hoe groter de verhouding Z_O/R_L, hoe minder verlies in de coaxkabel.

De karakteristieke impedantie van een coaxkabel wordt op zijn beurt bepaald door de (relatieve) diëlektriciteitsconstante van de isolatie (ε_R) en de verhouding van de diameters van de binnengeleider (d) en afscherming (D):

$$Z_O = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_R}} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right) \qquad \text{(formule 2)}$$

Willen de de optimale verhouding van D en d bepalen, dan mogen we de diëlektriciteitsconstante buiten beschouwing laten en kunnen we stellen dat:

$$Z_O \approx \ln\left(\frac{D}{d}\right) \qquad \text{(formule 3)}$$

Bij het bepalen van de verliesweerstand moeten we rekening houden met het skineffect, dat ervoor zorgt dat bij hoogfrequente signalen de geleiding enkel via de buitenste laag van een geleider gebeurt. Vanaf een frequentie van enkele 100 kHz is de 'skindiepte' zeer klein (minder dan 0,1 mm) ten opzichte van de dikte van de binnen- en buitengeleiders van de coaxkabel. In dat geval is de ohmse verliesweerstand van een geleider omgekeerd evenredig met het oppervlak van de geleider. Voor ronde geleiders is het oppervlak evenredig met de diameter, bijgevolg is ook de ohmse weerstand omgekeerd evenredig met de diameter. Vanuit de bron (zender) gezien staan de binnengeleider en buitengeleider van de coaxkabel in serie. De stroom gaat immers op 'heenweg' door de binnengeleider en keert via de buitengeleider terug. Waarbij de uitdrukkingen 'heen' en 'terug' natuurlijk erg relatief zijn voor een wisselspanning.

De ohmse verliesweerstand van de coax is dus evenredig met:

$$R_L \approx \frac{1}{d} + \frac{1}{D} \approx \left(\frac{D}{d} + 1\right) \cdot \frac{1}{D} \qquad \text{(formule 4)}$$

Omdat we enkel de optimale verhouding tussen D en d willen bepalen mogen we de ‘·1/D’ buiten beschouwing laten waardoor:

$$R_L \approx \frac{D}{d} + 1 \qquad \text{(formule 5)}$$

Vullen we nu de uitdrukkingen die we hebben voor R_L (uit formule 5) en Z_O (uit formule 3) in in de formule 1 dan wordt het ‘rendement’ van een coaxkabel evenredig met:

$$\eta \approx \frac{Z_O}{R_L} \approx \frac{\ln\left(\frac{D}{d}\right)}{\frac{D}{d} + 1} \qquad \text{(formule 6)}$$

Bekijken we het rendement in functie van de verhouding D/d dan zien we dat dit maximaal wordt bij D/d = 3,59 (fig. 4). Vullen we deze verhouding in in formule 2 en nemen we het goedkope en relatief verliesarme polyethyleen als diëlektricum (ε_R=2,25) dan komen we uit op een impedantie van:

$$Z_O = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_R}} \cdot \ln\left(\frac{D}{d}\right) = Z_O = \frac{60}{\sqrt{2{,}25}} \cdot \ln(3{,}59) = 51{,}1\Omega$$

Dit getal is dan gemakshalve afgerond naar 50 Ω. Het verschil in verlies tussen 51,1 Ω en 50 Ω is immers zeer klein.

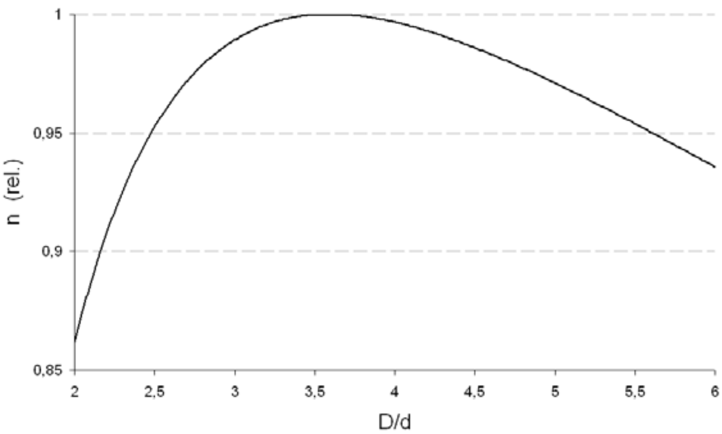

Fig. 4