

# DE SWR en GEREFLLECTEERD VERMOGEN

## PA0MBO - VERON ZENDCURSUS OKTOBER 2016

### Inleiding

In de cursus kwam de vraag op hoe het verband is tussen de staandegolfverhouding (Eng. Standing Wave Ratio SWR) en het gereflecteerde vermogen in een transmissie lijn. De SWR of in het Nederlands de SVG wordt behandeld in het cursusboek paragraaf 6.3.6 , pagina 34 en 35.

In dat stuk handelt het in feite om de **spannings** staandegolfverhouding (Eng. Voltage SWR VSWR) gedefinieerd als

$$VSWR = \frac{u_{max}}{u_{min}} \quad (1)$$

Als de bronweerstand (zender) gelijk is aan de karakteristieke impedantie van de transmissielijn en de belasting een Ohmse weerstand is van dezelfde waarde is, dan is er alleen een lopende golf van bron naar belasting en is de spanning op elke plaats in de transmissielijn hetzelfde. Zie figuur 1.

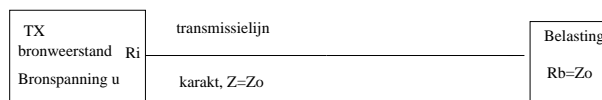


Figure 1: Zender-transmissielijn-belasting gelijke impedanties

In die situatie geldt :

$$u_{max} = u_{min} = u_{bron}/2 \quad (2)$$

en

$$VSWR = \frac{u_{bron}/2}{u_{bron}/2} = 1 \quad (3)$$

Er is geen reflectie, al het door de bron geleverde vermogen wordt overgedragen aan de belasting en dat vermogen is het maximale dat de bron met zijn inwendige weerstand (bronweerstand) kan leveren.

In de praktijk is de situatie zo, dat we te maken hebben met een antenne in plaats van de Ohmse belasting gelijk aan  $Z_0$ . De impedantie van de antenne is meestal ongelijk aan  $Z_0$  en complex, maar kan echter met een goede ATU getransformeerd worden tot een Ohmse impedantie met de waarde  $Z_0$  en dan hebben we weer de boven geschetste situatie in de transmissielijn vanaf de zender

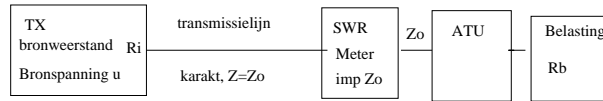


Figure 2: Zender-transmissielijn-swr-meter-atu

tot aan de ATU en de SWR-meter wijst dan 1 aan. Ook dan (zie figuur 2) is de vermogensoverdracht van zender naar belasting (nu de antenne) optimaal.

Merk op dat in deze figuur de ATU vlakbij de antenne is geplaatst. Als de zender ver weg van de antenne staat is de transmissielijn lang, maar in die lange transmissielijn is de SWR dus 1.

Er zijn echter ook gevallen waarin de SWR-meter en ATU vlakbij de set staan of daarin zijn ingebouwd terwijl de antenne ver weg is en er dus een lange transmissielijn zit tussen de ATU en de antenne. Het gevolg is dat de SWR op die transmissielijn veelal ongelijk is aan 1 (de antenne heeft niet precies 50 Ohm als impedantie) en er dus een staande golf op die transmissielijn optreedt. Het zelfde gebeurt ook als de set wel dicht bij de antenne staat maar er geen ATU is of als de in de set ingebouwde ATU onvoldoende regelbereik heeft om de SWR op 1 te krijgen.

Die staande golf ontstaat door interferentie tussen twee lopende golven: de heengaande die van de set naar de antenne gaat en een teruggaande lopende golf die door reflectie aan de niet aangepaste antenne wordt veroorzaakt. De amplitude van die teruggaande lopende golf is meestal kleiner. Het gevolg van die interferentie is dat de amplitude van de spanning op de transmissielijn niet overal gelijk is: er ontstaan maxima en minima in deze amplitude (buiken en knopen). Dat geldt niet alleen voor de spanning maar ook voor de stroom, waar een spanningsbuik heerst is er een stroomknoop en omgekeerd. Of dat nare gevolgen heeft, hangt af van de kwaliteit van de transmissielijn. Als die niet verliesarm is, kun je op de plaatsen waar er veel stroom loopt verwarming krijgen en op plaatsen waar de spanning een buik heeft, kun je overslag krijgen. Voor bijvoorbeeld een goede kwaliteit openlijn (kippenladder) zijn die verschijnselen te verwaarlozen.

Voor het bepalen van de SWR wordt niet daadwerkelijk langs de gehele transmissielijn overal de waarde van de spanning ter plekke gemeten om daaruit de  $U_{max}$  en  $U_{min}$  te bepalen en die dan op elkaar te delen. De meting gebeurt met een SWR-meter die beschreven staat in het cursusboek in hoofdstuk 8, paragraaf 8.2.2, bladzijde 15 en 16. In die meter zit een tweetal koppelingen waarmee de amplitudes van de heen- en teruggaande golf bepaald worden. Vanuit die metingen worden of de SWR, of zoals in de doorgangswattmeters de vermogens van de heen- en teruggaande golf berekend en getoond.

## Van amplitudes naar vermogens

Laten we de amplitude van de heengaande golf  $V_f$  (van forward) en die van de teruggekaatste golf  $V_r$  (van reflected) noemen. Een doorgangswattmeter die ontworpen is voor een 50 Ohm systeem toont die waarden als vermogens via de berekeningen:

$$P_f = \frac{V_f^2}{50} \quad (4)$$

en

$$P_r = \frac{V_r^2}{50} \quad (5)$$

Die berekening heeft een correct resultaat als aan het einde van de transmissielijn een zuivere 50 Ohm zit; dan zien we op de meter het echte aan de belasting geleverde vermogen als  $P_f$  en geeft  $P_r$  0 te zien. Hebben we te maken met de situatie dat er aan het eind van de lijn een ATU met echte antenne zit en is de ATU goed ingesteld dan is de situatie precies hetzelfde we meten het juiste uitgaand vermogen en gereflecteerd vermogen is 0.

Wat nu als de SWR niet 1 is om welke reden dan ook. Wat stellen  $P_f$  en  $P_r$  dan voor?

Een veelgehoord misverstand is dat het gereflecteerde vermogen moet worden opgenomen door de bron. Dat is **niet het geval** en is als volgt te controleren: denk je de situatie in dat je aan de bron een verliesvrije transmissielijn knoopt die precies een golflengte lang is en waarvan het uiteinde open is. De doorgangswattmeter geeft een heengaand en teruggaand vermogen dat aan elkaar gelijk is, de bron levert geen vermogen; immers in het begin van de transmissielijn is net als aan het open uiteinde de stroom nul. Als de bron geen stroom levert levert hij ook geen vermogen. De wet van behoud van energie gaat echter nog steeds op: het verschil tussen heen- en teruggaand vermogen is immers ook nul.

Hier hebben we in ieder geval al een clou: het verschil tussen het heen- en teruggaand vermogen wordt geleverd aan de belasting. Wel is het zo dat de getallen van het heen- en teruggaand vermogen geen echte vermogens zijn die stromen in de transmissielijn. Het zijn berekende grootheden die **zouden optreden** als de heen- en teruggaande golven op een 50 Ohm weerstand zouden worden gezet. Maar dat is dus niet gebeurd.

De conclusies tot nu toe:

1. bij een gereflecteerd vermogen van nul is de SWR 1 en levert de bron zijn maximale vermogen aan de belasting
2. bij een gereflecteerd vermogen van nul zijn de spanning en de stroom op de transmissielijn overal gelijk en dus wordt die lijn niet blootgesteld aan extreme situaties
3. het verschil tussen het voorwaartse en terugkomende vermogen is het echte aan de belasting geleverde vermogen

4. de bron levert niet echt het voorwaartse vermogen
5. het terugkomende vermogen wordt niet door de bron opgenomen

### Van SWR naar vermogens

De VSWR is gedefinieerd in vergelijking 1. De vermogens  $P_f$  en  $P_r$  zijn gedefinieerd in termen van  $U_f$  en  $U_r$ . Om nu de vermogens naar de SWR om te rekenen of omgekeerd moeten we van  $U_{max}$  en  $U_{min}$  naar  $V_f$  en  $V_r$ . De  $U_{max}$  treedt op als de interferentie tussen de heen en teruggaande golf een maximum oplevert doordat ze in fase zijn:

$$U_{max} = V_f + V_r \quad (6)$$

De  $U_{min}$  als ze in tegenfase zijn:

$$U_{min} = V_f - V_r \quad (7)$$

Combineren we vergelijking 1 met de vergelijkingen 6 en 7 dan krijgen we:

$$VSWR = \frac{V_f + V_r}{V_f - V_r} \quad (8)$$

Deze vergelijking is om te werken naar:

$$\frac{V_r}{V_f} = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (9)$$

Gaan we deze kwadrateren dan krijgen we de vermogensverhouding:

$$\frac{P_r}{P_f} = \left( \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right)^2 \quad (10)$$

Nemen we nu een voorbeeld van een SWR 2 dan is de verhouding

$$\frac{P_r}{P_f} = \left( \frac{2 - 1}{2 + 1} \right)^2 \quad (11)$$

oftewel

$$\frac{P_r}{P_f} = \left( \frac{1}{3} \right)^2 = \frac{1}{9} \quad (12)$$

Bij 100 Watt naar de belasting komen we dan op een  $P_f=112,5$  W en  $P_r = 12,5$  W.

N.B. de verhouding van  $V_r$  en  $V_f$  wordt wel de reflectiecoëfficiënt gamma genoemd:

$$\frac{V_r}{V_f} = \Gamma \quad (13)$$

en de vermogensverhouding is dus die gamma in het kwadraat waarmee we vergelijking 10 ook kunnen schrijven als

$$\frac{P_r}{P_f} = \Gamma^2 = \left( \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right)^2 \quad (14)$$

## **Waarom een hoge SWR soms toch problemen kan geven**

Behalve de eerder genoemde problemen in een transmissielijn van niet al te beste kwaliteit bij hoge SWR kan een hoge SWR toch soms ook in de eindtrap van een zender problemen geven.

Een eindtrap is begrensd in de spanning en de stroom die hij kan leveren. Als de belastingsimpedantie erg afwijkt van de aanpassingswaarde is er als die impedantie te hoog is meer spanning nodig om het benodigde vermogen te leveren en kan de bovengrens van de te leveren spanning worden bereikt voordat het gewenste vermogen wordt overgedragen. Is omgekeerd de impedantie van de belasting erg laag dan is er een goede kans dat de limiet van de te leveren stroom wordt bereikt.

Tenslotte dient niet uit het oog te worden verloren dat bij een hoge SWR er in de eindtrap hogere spanningen dan normaal kunnen optreden die funest kunnen zijn.