

*Een veel besproken onderwerp voor de radioamateur is de antenne, antennekabel en antennetuner. Eén van de daarbij behorende parameters is de 'staande golf verhouding'.*

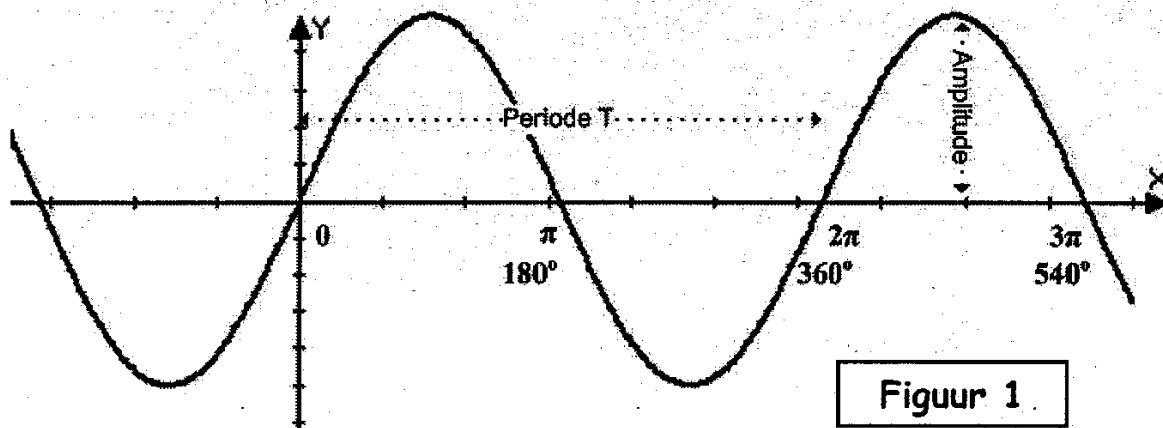
*Onlangs had ik een verbinding met een amateur die zich verontschuldigde voor de verbindingkwaliteit want zijn 'staande golf' was niet één op één. Er blijken nog steeds veel misverstanden hieromtrent te zijn, reden voor PEOJDS om hierover het volgende artikel te schrijven.*

### Hoe zat het ook al weer.

Met de term 'staande golf' bedoelen we eigenlijk de SWR. De SWR staat voor Standing Wave Ratio. De SWR is de verhouding (ratio) tussen de maximale amplitude en de minimale amplitude van een gedeeltelijke staande golf binnen een elektrische transmissielijn. Een transmissielijn in deze context is een medium van een bepaalde materie dat geschikt is voor het transport van elektromagnetische golven. Een voorbeeld van een transmissielijn is een coax kabel. Over transmissielijnen wordt in dit artikel niet verder ingegaan. Eerst in een korte herhaling over elektromagnetische golven.

### Sinusoïden

Een sinusoïde of een sinusgolf kan worden uitgedrukt in termen van een sinusfunctie of een cosinusfunctie. Figuur 1 geeft een sinusvorm weer die door de oorsprong gaat. Op de X-as kan de tijd  $t$  in seconden staan of de hoek  $\alpha$  in graden of radialen. De Y-as kan bijvoorbeeld spanning  $V$  of stroom  $I$  zijn.



Eén periode  $T$  van een sinus omvat  $2\pi$  radialen of 360 graden.

Dit noemen we een sinuscyclus. Het aantal van deze cycli ofwel perioden wordt de frequentie genoemd.

In formule:  $T = \frac{1}{f}$ , waarbij  $T$  wordt uitgedrukt in seconde en  $f$  in Herz.

Onder amplitude wordt verstaan de top-waarde van de sinusoid.

De hoek  $\alpha$  heeft een relatie met de tijd  $t$ .

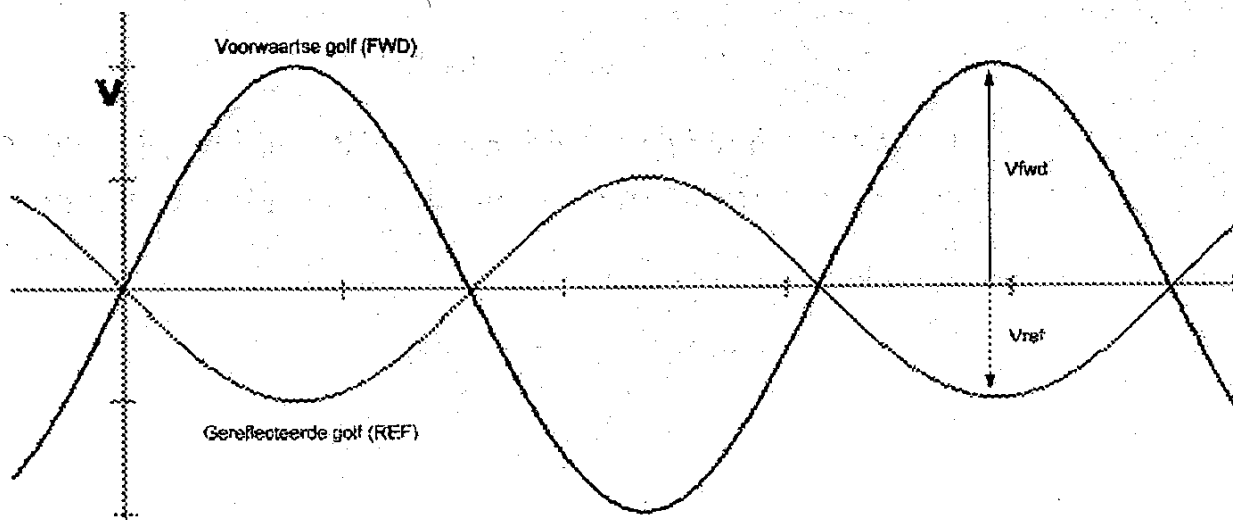
In formule:  $\theta = \omega * t$  waarbij  $\omega$  de constante hoeksnelheid is en gelijk is aan  $2 * \pi * f$ . In formule:  $\omega = 2 * \pi * f$ .

De amplitude van een sinusfunctie is altijd 1. Om nu toch een sinusoid van spanning of stroom weer te geven dan moet deze amplitude worden vermenigvuldigd met de top-waarde  $V$  voor spanning of  $I$  voor stroom

In formule:  $v(t) = V \sin \omega t$ , waarbij  $v$  (variabele spanning in tijd) en  $V$  (amplitude spanning) in Volt worden uitgedrukt. Op tijdstip  $t=0$  hoeft  $\sin \omega t$  niet altijd 0 te zijn waarbij in dat geval een constante hoek  $\phi$  bij  $\omega t$  moet worden opgeteld. In formule:  $v(t) = V \sin \omega t + \phi$ , waarbij het faseverschil  $\phi$  in radialen wordt uitgedrukt.

### Weer terug naar de SWR

De SWR is meestal gedefinieerd als een spanningsratio, te weten VSWR (Voltage Standing Wave Ratio). Het is ook mogelijk om stroomratio ISWR of vermogenratio PSWR te definiëren echter voor dit artikel wordt alleen de spanningsratio uitgelegd. Overigens is de ratio gelijk voor VSWR, ISWR en PSWR. In een optimale transmissielijn waarbij de impedantie van de zender, antennesysteem en de coax exact op elkaar zijn afgestemd, zal de energie van de elektromagnetische golf volledig worden overgedragen naar het antennesysteem.



Als de karakteristieke impedanties niet exact op elkaar zijn afgestemd dan zal een gedeelte van de voorwaartse elektromagnetische golf aan het eind van de transmissielijn reflecteren. De gereflecteerde golf houdt dezelfde frequentie echter met een kleinere amplitude en omgekeerde fase.

Er ontstaan zogeheten buiken en knopen in de golven wat staande golven wordt genoemd. De spanningscomponent van een staande golf bestaat uit de amplitude van de voorwaartse golf  $V_{fwd}$  geprojecteerd op de amplitude van de gereflecteerde golf  $V_{ref}$ .

$$\Gamma = \frac{V_{ref}}{V_{fwd}}$$

Hier kunnen we de reflectiecoëfficiënt uit berekenen. In formule

Bedenk daarbij dat  $\Gamma$  een complex nummer is door niet alleen de amplitude te representeren maar ook het faseverschil. Voor de VSWR zijn we echter alleen geïnteresseerd in de grootte van de amplitude en geven dit aan met  $\varphi$  waarbij  $\varphi = |\Gamma|$  (alleen de positieve waarde dus).

Op sommige plaatsen op de transmissielijn interfereren de voorwaartse en gereflecteerde golven dusdanig dat ze elkaar versterken waardoor de maximale spanning  $V_{max}$  een optelsom is van de spanningsamplitudes van beide elektromagnetische golven.

In formule:  $V_{max} = V_{fwd} + V_{ref} = V_{fwd} + \varphi V_{fwd} = V_{fwd}(1 + \varphi)$ .

Op andere plaatsen op de transmissielijn interfereren de voorwaartse en gereflecteerde golven dusdanig dat ze elkaar verzwakken waardoor de minimale spanning  $V_{min}$  ontstaat door de spanningsamplitudes van beide elektromagnetische golven van elkaar af te trekken.

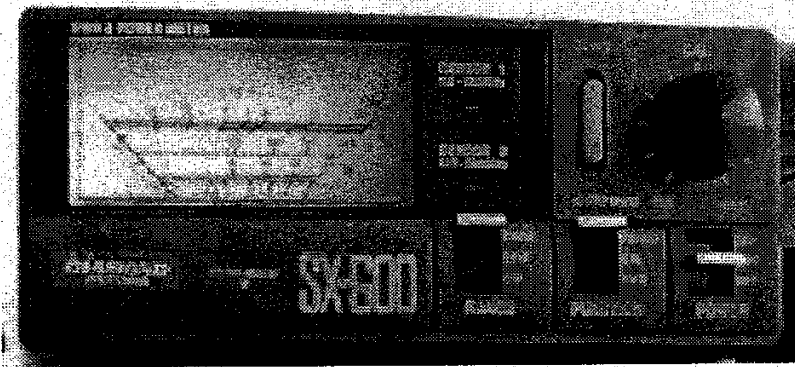
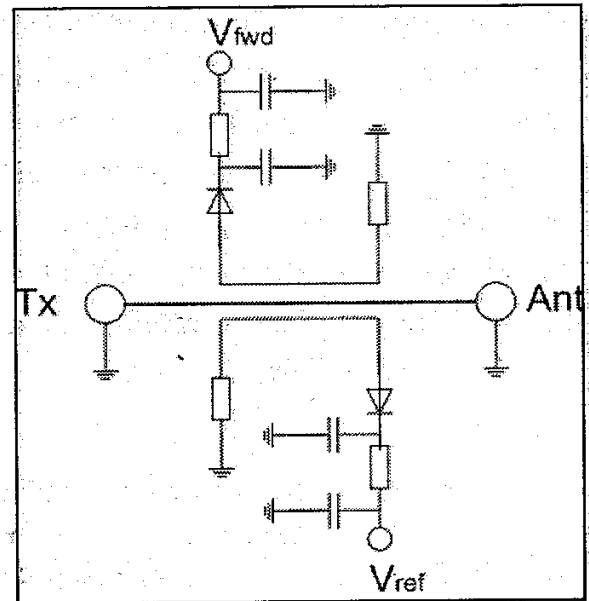
In formule:  $V_{min} = V_{fwd} - V_{ref} = V_{fwd} - \varphi V_{fwd} = V_{fwd}(1 - \varphi)$ .

Zoals in het begin van dit artikel al is gesteld: de (V)SWR is de verhouding (ratio) tussen de maximale amplitude en de minimale amplitude van een gedeeltelijke staande golf binnen een elektrische transmissielijn.

$$\text{In formule: } VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_{fwd}(1 + \varphi)}{V_{fwd}(1 - \varphi)} = \frac{(1 + \varphi)}{(1 - \varphi)}$$

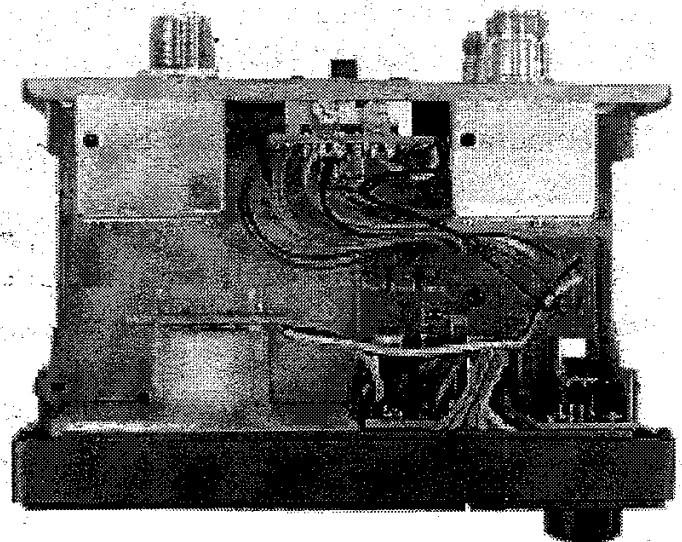
## De SWR meter.

Vele SWR meters zijn dusdanig gekalibreerd dat ze zowel de voorwaartse Power als gereflecteerde Power kunnen weergeven. Eigenlijk meten ze de spanning echter de meter geeft Power aan. Ik meet de VSWR aan het begin van de transmissielijn, waarbij de transmissielijn bestaat uit coaxbekabeling met weinig verliezen (in dit artikel gaan we niet verder in op transmissielijnen).



In een passieve SWR meter zijn de zender ingang en antenne uitgang intern verbonden met een transmissielijn die elektromagnetisch gekoppeld zijn met twee sensorlijnen. Een sensorlijn is verbonden met een weerstand aan het ene einde en een diode aan het andere einde.

De weerstandwaarde is zo gekozen dat deze overeenkomt met de karakteristieke impedantiewaarde van de sensorlijn. De ene sensorlijn neemt de voorwaartse golf waar en de andere sensorlijn neemt de gereflecteerde golf waar. De diode vertaalt de waarneming in  $V_{fwd}$  respectievelijk  $V_{ref}$ . Daarmee kan de VSWR berekend worden en weergegeven.

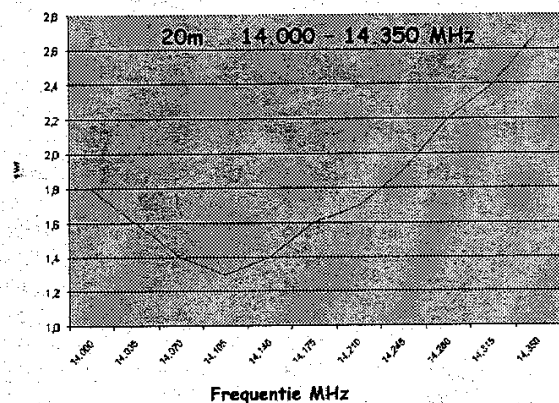
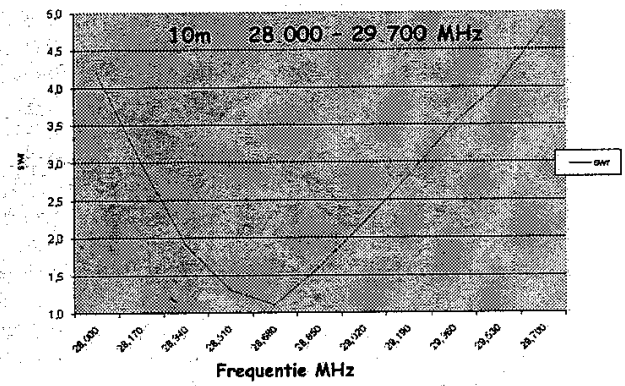


## De hulp van de computer.

Zoals gesteld meet ik de VSWR aan het begin van de transmissielijn (dus vlak na de transceiver). We zijn daarbij nieuwsgierig hoe een antenne (inclusief coax kabel) zich gedraagt op een bepaald frequentiegebied. Als voorbeeld neem ik de Diamond W8010. Op de 10 meter band is de VSWR gemeten van 28,000 MHz tot 29,700 MHz met een interval van 170KHz.

Van al deze samples is de waarde in een rekenblad ingevoerd (b.v. Microsoft Excel of de gratis Open Office Calc). Hetzelfde is gedaan op de 20 meter band waar VSWR samples zijn genomen van 14,000 MHz tot 14,350 MHz met een interval van 35 KHz. Het voordeel van rekenbladen zijn dat de twee kolommen SWR en Frequentie tegen elkaar afgezet kunnen worden in een grafiek.

Het resultaat kan dan als in bovenstaande grafieken worden weergegeven.



## Hoe erg of goed is nu een SWR waarde.

In de volgende tabel worden de equivalenten van VSWR in Return Loss (dB), Reflected Power (%) en Transmission Loss (dB) gepresenteerd.

$$\Gamma = \frac{V_{ref}}{V_{fwd}}$$

Return loss is gerelateerd aan de reflectiecoëfficiënt

In formule: Return loss =  $-20 \log_{10} |\Gamma|$  en uitgedrukt in dB. Het is simpelweg een andere weergave van VSWR. Stel in een perfecte situatie van VSWR is 1:1. Er is dan géén reflectie waardoor de Return loss oneindig wordt.

In het slechtste geval (open circuit) is de reflectie maximaal en de Return loss wordt 0 dB. De meest informatieve waarden zijn de Reflected Power en Transmission Loss. Deze twee waarden geven aan of we iets moeten doen aan de opstelling, zoals aanpassing impedantie of gebruik antennetuner.

VSWR	Return Loss (dB)	Reflected Power (%)	Transmiss Loss (dB)	VSWR	Return Loss (dB)	Reflected Power (%)	Transmiss Loss (dB)
1.00	∞	0.000	0.000	1.38	15.9	2.55	0.112
1.01	46.1	0.005	0.0002	1.39	15.7	2.67	0.118
1.02	40.1	0.010	0.0005	1.40	15.55	2.78	0.122
1.03	36.6	0.022	0.0011	1.41	15.38	2.90	0.126
1.04	34.1	0.040	0.0018	1.42	15.2	3.03	0.132
1.05	32.3	0.060	0.0028	1.43	15.03	3.14	0.137
1.06	30.7	0.082	0.0039	1.44	14.88	3.28	0.142
1.07	29.4	0.116	0.0051	1.45	14.7	3.38	0.147
1.08	28.3	0.144	0.0066	1.46	14.6	3.50	0.152
1.09	27.3	0.184	0.0083	1.47	14.45	3.62	0.157
1.10	26.4	0.228	0.0100	1.48	14.3	3.74	0.164
1.11	25.6	0.276	0.0118	1.49	14.16	3.87	0.172
1.12	24.9	0.324	0.0139	1.50	14.0	4.00	0.18
1.13	24.3	0.375	0.0160	1.55	13.3	4.8	0.21
1.14	23.7	0.426	0.0185	1.60	12.6	5.5	0.24
1.15	23.1	0.488	0.0205	1.65	12.2	6.2	0.27
1.16	22.6	0.550	0.0235	1.70	11.7	6.8	0.31
1.17	22.1	0.615	0.0260	1.75	11.3	7.4	0.34
1.18	21.6	0.682	0.0285	1.80	10.9	8.2	0.37
1.19	21.2	0.750	0.0318	1.85	10.5	8.9	0.40
1.20	20.8	0.816	0.0353	1.90	10.2	9.6	0.44
1.21	20.4	0.90	0.0391	1.95	9.8	10.2	0.47
1.22	20.1	0.98	0.0426	2.00	9.5	11.0	0.50
1.23	19.7	1.08	0.0455	2.10	9.0	12.4	0.57
1.24	19.4	1.15	0.049	2.20	8.6	13.8	0.65
1.25	19.1	1.23	0.053	2.30	8.2	15.3	0.73
1.26	18.8	1.34	0.056	2.40	7.7	16.6	0.80
1.27	18.5	1.43	0.060	2.50	7.3	18.0	0.88
1.28	18.2	1.52	0.064	2.60	7.0	19.5	0.95
1.29	17.9	1.62	0.068	2.70	6.7	20.8	1.03
1.30	17.68	1.71	0.073	2.80	6.5	22.3	1.10
1.31	17.4	1.81	0.078	2.90	6.2	23.7	1.17
1.32	17.2	1.91	0.083	3.00	6.0	24.9	1.25
1.33	17.0	2.02	0.087	3.50	5.1	31.0	1.61
1.34	16.8	2.13	0.092	4.00	4.4	36.0	1.93
1.35	16.53	2.23	0.096	4.50	3.9	40.6	2.27
1.36	16.3	2.33	0.101	5.00	3.5	44.4	2.56
1.37	16.1	2.44	0.106	6.00	2.9	50.8	3.08

Stel ik meet een SWR van 1.5:1. Uit de tabel blijkt dat de Reflected Power slechts 4% is van de oorspronkelijke Power en de Transmission Loss slechts 0.18 dB is. Bij het gegeven dat een S-punt 6 dB is, dan is een verlies van 0.18 dB relatief weinig. Een aanpassing lijkt mij dan ook niet nodig.

Een hoge SWR van 6:1 geeft een 3 dB Transmission Loss en komt overeen met een halve S-punt. Dit is een significant verlies waardoor aanpassing noodzakelijk lijkt.

*Er zijn meer parameters van invloed die niet in dit artikel aan de orde zijn gekomen, zoals de transmissielijn (lengte en soort), antennesysteem, hoogte antenne enzovoort. Toch hoopt ik enige duidelijkheid in de VSWR wereld te hebben gegeven.*