

**MUF en MUF - factor  
anders bekeken**

**en**

**MUF versus Ion Hoogte**

## MUF en MUF-factor anders bekeken

### 1 Inleiding:

Ionosfeerpropagatie is in zijn geheel afhankelijk van de zonneactiviteit, zoals dagelijkse variatie van dag en nacht, seizoenen enz.

De interactie van onze golf heeft twee verschillende componenten: een gereflecteerde golf die van uit het grensvlak terugkaatst en een gereflecteerde golf die in een ander medium afgebogen wordt. Dit proces van refractie van radiogolven wordt "skip" genoemd. Uitgaande van de kritische frequentie ( $f_o$ )(\*) die de hoogste frequentie is die terug gereflecteerd wordt, (gemeten met een ionosonde, die hoogte en ionendichtheid meet) is deze nochtans niet de maximale bruikbare frequentie (MUF).

Wanneer een signaal juist boven  $f_o$  in de ionosfeer komt met een opstraalhoek groter dan 0-graden ( $0^\circ$ ) zal het een grotere afstand afleggen dan de golf die met een verticale opstraalhoek uitgezonden wordt. Dus heeft de golf meer tijd om een grotere interactie met de ionen te hebben en heeft dus een grotere kans te refracteren voor ze in de ruimte gaat. Om die reden ervaren niet verticale (oblique) invallende signalen een grotere maximale bruikbare frequentie (MUF) hoger dan  $f_o$ .

(\*) De kritische frequentie  $f_o$  is een totaal functie van de ionendichtheid en is evenredig met de vierkantswortel uit de maximale elektronendichtheid.

### 2 MUF:

De MUF is dus gelijk aan meer dan  $f_o$ , die afhankelijk is van de hoek van de invallende golf met de ionosfeer, daaruit volgt:

$$MUF = f_o / \cos(i)$$

waarbij (i) = invalshoek

de MUF of  $f_{max}$  kan ook berekend worden door:

$$f_{max} = \operatorname{cosec}(a) \times f_o \text{ of nog } f_{max} = 1/\sin(a) \times f_o$$

waarbij (a) = opstraalhoek

bij opstralen onder een schuinere hoek neemt de hoogte van de bruikbare frequentie toe.

Noteer dat de zendfrequentie nooit groter kan zijn dan de MUF.

### 3 MUF-factor of M-factor:

We hebben nog een factor die verwant is met de MUF en de kritische frequentie, terug te vinden op een ionogram als "M", en aangeduid wordt als de  $M(3000)F_2$  (voor de F-regio).

De M-factor of de oblique factor is omgekeerd evenredig met de sinus van de invalshoek tussen de golf en de atmosfeer gekend als de secans wet volgens:

$$\sec(a) = 1/\cos(a)$$

De MUF-factor of M-factor is dus gelijk aan  $1/\cos(i)$  zodat dan de  $MUF = M \times f_o$ . noteer dat, daar de  $\cos(i)$  altijd kleiner of gelijk is aan 1, de M-factor altijd gelijk of groter zal zijn dan 1.

### voorbeeld:

$i = 0^\circ$  en de  $\cos$  van  $0 = 1$  zodat  $M = 1$

$i = 75^\circ$  en  $\cos$  van  $75 = 0,26$  dan is  $M = 3,8$

we kunnen daaruit besluiten dat de MUF altijd gelijk of groter is dan  $f_o$ , afhankelijk van de invalshoek (incidence angle). De opstraal hoek = a en de invalshoek = i

belangrijk is een raar fenomeen van de MUF te bekijken: men zou kunnen concluderen dat als de ion-regio stijgt, de skip afstand en de MUF stijgen. Dit is waar voor de skip afstand, maar het omgekeerde

voor de MUF. Denk even, wanneer "h" stijgt, de invalshoek "i" dichterbij de verticale (0°) opstraling komt. Daar de invalshoek daalt en volgens de vergelijking:  $MUF = f_o / \cos(i)$  de waarde van de cos de 1 nadert, de MUF dan kleiner dan de waarde  $f_o$  wordt.

We willen besluiten dat:  $f_o F_2$  en  $M(3000)F_2$  of M-factor de twee belangrijkste karakteristieken bij ionogrammen zijn om de MUF te kunnen bepalen. Ook nog te vermelden is dat de parameter "D" de skip afstand in km is.

We gebruiken daarom uiteraard antennes met een stralingshoek "a" kleiner dan 90°.

Om bovenstaande overzichtelijker te maken wordt hierna een artikel gegeven van Carl Leutzelschwab K9LA met als titel: Maximum Usable Frequency (MUF) versus Ion Region Height.

### MUF versus Ion hoogte

#### Inleiding:

Na analyse van een aantal gerelateerde uitgaven over de MUF geeft Carl Leutzelschwab, K9LA, een benadering door gebruik te maken van de sferische of bolgeometrie eerder dan de gewoonlijk gebruikte vlakke aarde Cartesische geometrie (\*). Hierbij de bolbenadering Fig.1 met de daaruit volgende tabellen 1 en 2.

Voor de ion-regio hoogte "H", de opstraalhoek "a" en de invalshoek "b", is de boog van de skip afstand D/2 gelijk aan het product van de radius of straal en de ingesloten hoek "c" in radialen (\*\*):

$$D/2 = R \times c / (180/\pi), \text{ zodat } D = (2R/57,3)c$$

Daar de hoeken a,b,c van de driehoek moeten opgeteld worden bij 180, bekomen we:

$$D = (2R/57,3) \times (90-a-b)$$

volgens de sinuswet:  $R/\sin(b) = (r+H)/\sin(90+a)$  zodat  $b = \arcsin\left\{\left[\frac{R}{(R+H)}\right]\right\} \times \sin(90+a)$

en uiteindelijk verkrijgen we:

$$D = (2R/57,3) \times \text{boogsinus}\left\{\left[\frac{R}{(R+H)}\right]\right\} \times \sin(90+a)$$

De diameter van de aarde is aan de evenaar ongeveer 12740km of  $R = 6370\text{km}$ .

Hierna de resultaten van enkele berekeningen gebruikmakende van Excel macro om tot tabel 1 te komen. Noteer van de figuur dat, als de stralingshoek stijgt, de straal van de invalshoek ,b, verkleint en zo de hoek (90-b) stijgt. Van tabel 1 kan men direct zien dat als de ion-regiohoogte ,H, stijgt, de skip stijgt, maar de MUF verkleint. De reden is, wanneer ,H, stijgt de invalshoek verkleint, dat brengt uiteraard de straal dichterbij de verticale invalshoek, zodat de kans vermindert dat de golf gerefracteerd wordt, tenzij de frequentie daalt. Lagere M-factor = lagere MUF.

#### (\*) cartesisch coördinaten stelsel:

waarbij de afstand tussen twee coördinaatlijnen constant is. Voor elke dimensie is er een as en de assen staan loodrecht op elkaar. Alle punten in dit stelsel die gegeven worden, vormen samen door hun coördinaten ten opzichte van de assen het cartesisch vlak (2 dimensies). De naam komt van de Franse wiskundige René Descartes, in het latijn: Cartesius.

#### (\*\*) radialen:

is de vlakke hoek tussen twee stralen, die op de omtrek een boog afsnijden waarvan de lengte gelijk is aan die van de straal.

maurits de paepe  
on4apn  
april 2012

K9LA - Figure 1

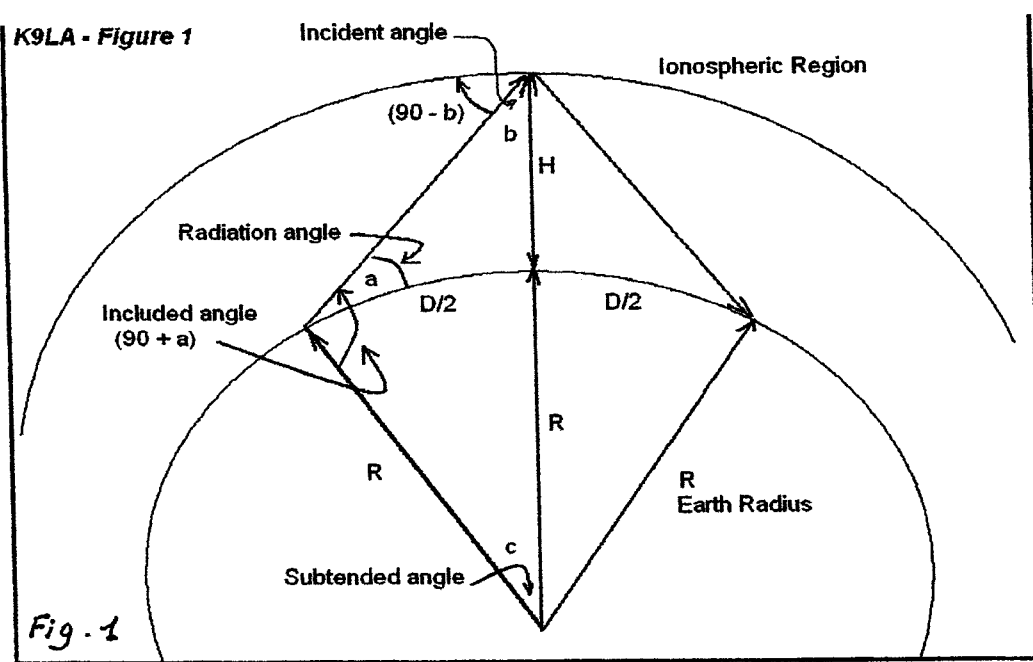


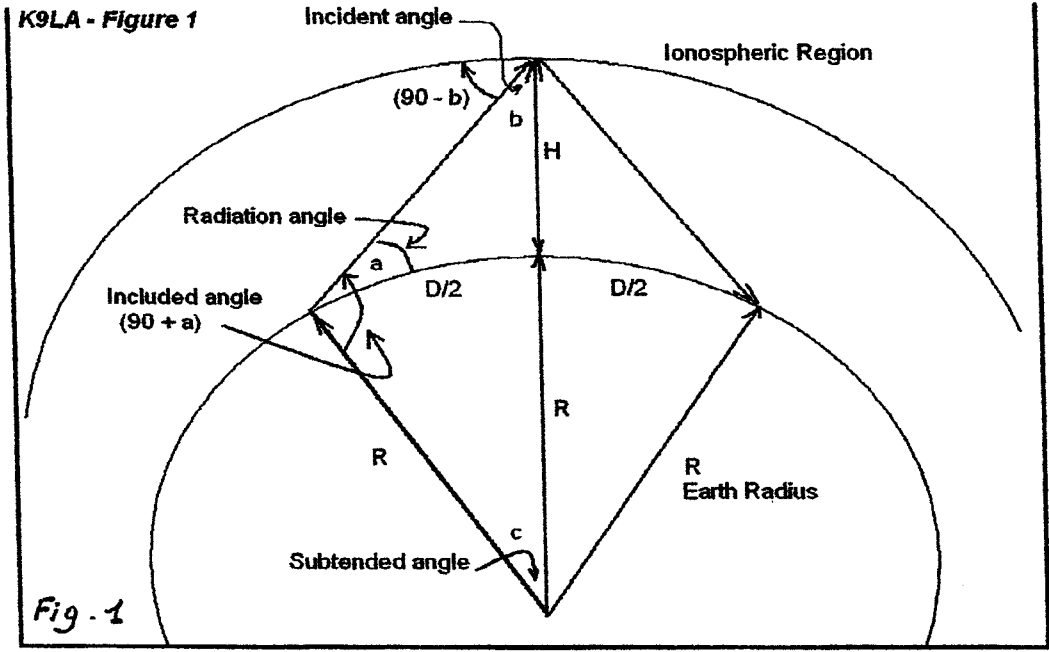
Fig. 1

$H$ (Km)	$a$ (Deg)	$b$ (Deg)	$90-b$ (Deg)	$D$ (Km)	$M$ - Factor
100	0	79.9	10.1	2241	5.7
100	5	78.8	11.2	1388	5.1
100	10	75.8	14.2	925	4.1
100	25	63.2	26.8	407	2.2
100	50	39.3	50.7	164	1.3
200	0	75.8	14.2	3150	4.1
200	5	75.0	15	2225	3.9
200	10	72.7	17.3	1619	3.4
200	25	61.5	28.5	780	2.1
200	50	38.6	51.4	321	1.3
300	0	72.8	17.2	3834	3.4
300	5	72.1	17.9	2876	3.3
300	10	70.1	19.9	2192	2.9
300	25	59.9	30.1	1123	2.0
300	50	37.9	52.1	473	1.3
400	0	70.2	19.8	4400	3.0
400	5	69.6	20.4	3421	2.9
400	10	67.9	22.1	2686	2.7
400	25	58.5	31.5	1441	1.9
400	50	37.2	52.8	619	1.3
500	0	68.0	22	4889	2.7
500	5	67.5	22.5	3896	2.6
500	10	65.9	24.1	3125	2.4
500	25	57.2	32.8	1738	1.8
500	50	36.6	53.4	759	1.2

Tabel 1

height "h"	take-off angle "a"	hop distance "d"	angle of incidence "90-b"	M-factor
100 km	0 deg	2243 km	10.1 deg	5.7
	5 deg	1389 km	11.3 deg	5.1
	10 deg	927 km	14.2 deg	4.1
300 km	0 deg	3836 km	17.3 deg	3.4
	5 deg	2877 km	17.9 deg	3.3
	10 deg	2193 km	19.9 deg	2.9
400 km	0 deg	4401 km	19.8 deg	3.0
	5 deg	3422 km	20.4 deg	2.9
	10 deg	2687 km	22.1 deg	2.7

Tabel 2



<u>H</u> (Km)	<u>a</u> (Deg)	<u>b</u> (Deg)	<u>90-b</u> (Deg)	<u>D</u> (Km)	<u>M-</u> <u>Factor</u>
100	0	79.9	10.1	2241	5.7
100	5	78.8	11.2	1388	5.1
100	10	75.8	14.2	925	4.1
100	25	63.2	26.8	407	2.2
100	50	39.3	50.7	164	1.3
200	0	75.8	14.2	3150	4.1
200	5	75.0	15	2225	3.9
200	10	72.7	17.3	1619	3.4
200	25	61.5	28.5	780	2.1
200	50	38.6	51.4	321	1.3
300	0	72.8	17.2	3834	3.4
300	5	72.1	17.9	2876	3.3
300	10	70.1	19.9	2192	2.9
300	25	59.9	30.1	1123	2.0
300	50	37.9	52.1	473	1.3
400	0	70.2	19.8	4400	3.0
400	5	69.6	20.4	3421	2.9
400	10	67.9	22.1	2686	2.7
400	25	58.5	31.5	1441	1.9
400	50	37.2	52.8	619	1.3
500	0	68.0	22	4889	2.7
500	5	67.5	22.5	3896	2.6
500	10	65.9	24.1	3125	2.4
500	25	57.2	32.8	1738	1.8
500	50	36.6	53.4	759	1.2

Tabel 1

<u>height "h"</u>	<u>take-off angle "a"</u>	<u>hop distance "d"</u>	<u>angle of incidence "90-b"</u>	<u>M-factor</u>
100 km	0 deg	2243 km	10.1 deg	5.7
	5 deg	1389 km	11.3 deg	5.1
	10 deg	927 km	14.2 deg	4.1
300 km	0 deg	3836 km	17.3 deg	3.4
	5 deg	2877 km	17.9 deg	3.3
	10 deg	2193 km	19.9 deg	2.9
400 km	0 deg	4401 km	19.8 deg	3.0
	5 deg	3422 km	20.4 deg	2.9
	10 deg	2687 km	22.1 deg	2.7

Tabel 2