

Despre antenele verticale montate la sol.

YO4UQ – Cristian Colonati

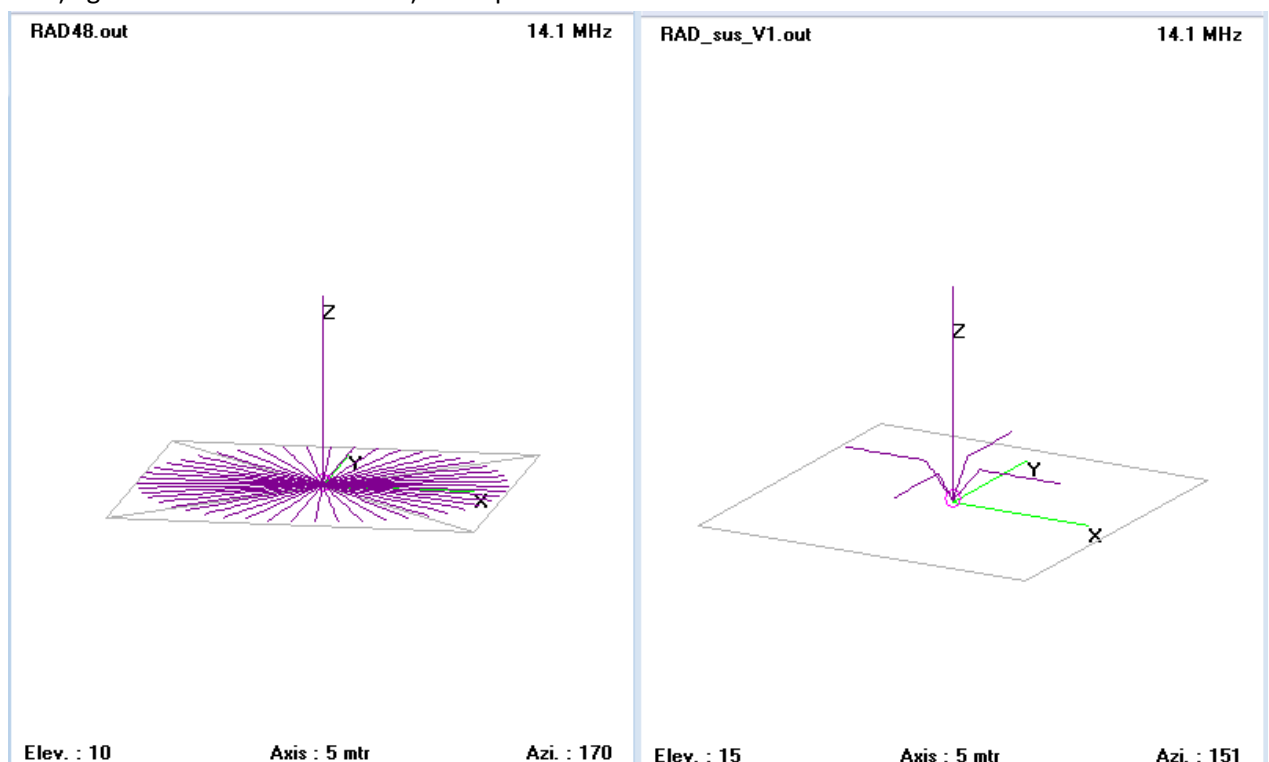
În cartea lui Florin YO8CRZ "RADIOTEHNICĂ Teoretică și Practică" la paginile 155 ÷ 160 sunt descrise conceptele pentru "antene verticale montate la sol cu radiale semi elevate". În carte se face afirmația că un număr mai mic de radiale semi elevate asigură performanțele unei antene verticale cu multe sau chiar foarte multe radiale la sol.

Pentru a confirma "cantitativ" acest lucru am realizat cu ajutorul programului de simulare 4NEC2 trei variante constructive de antene verticale la sol cu 12, 24 și 48 de radiale de lungime fixă în comparație cu trei variante cu numai 4 radiale "semi elevate acordate", pentru banda de 14MHz.

Pentru cei care au cartea lui Florin le recomand să citească cele câteva pagini, iar pentru cei care nu o au am atașat o scanarea acestora la prezenta expunere.

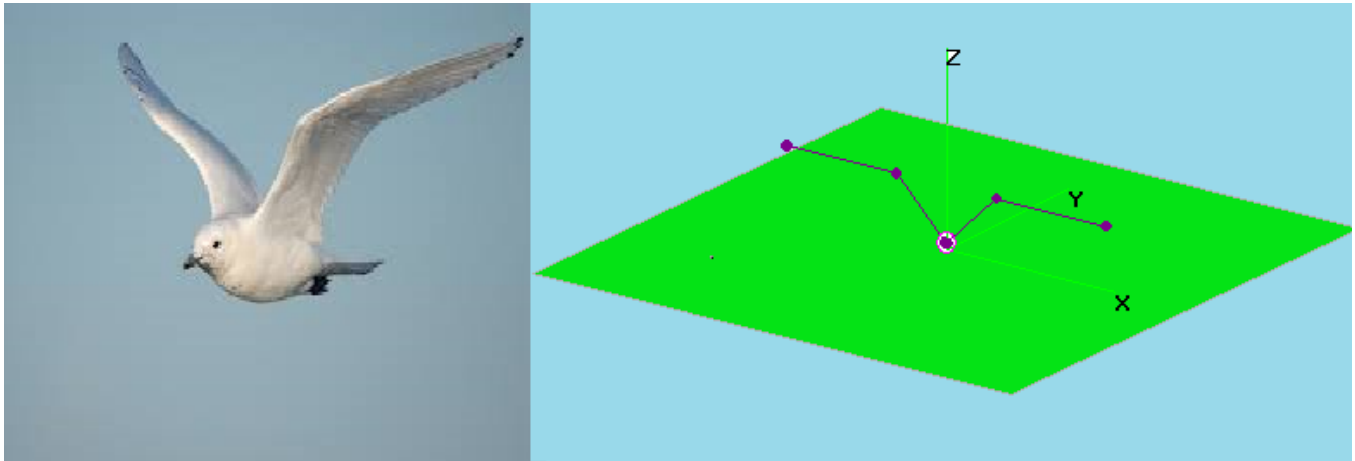
În această prezentare de sinteză ni se comunică:

- Pentru a elimina pierderile din zona de câmp reactiv / apropiat al antenei sunt necesare până la 120 de radiale.
- Ridicarea radialelor și decuplarea acestora de sol permite obținerea unei eficiențe ridicate cu un număr redus de radiale.
- Radialele parțial elevate trebuie ridicate la cca. $1/10\lambda$ față de sol, de regulă la cca. $1 \div 4m$ funcție de frecvența de lucru.
- Radialele semi elevate trebuie să rezoneze pe frecvența de lucru față de radialele la sol la care lungimea nu este critică ci important este numărul lor.
- Radialele semi elevate se mai numesc "aripă de pescăruș", în engleză "Gull Wing", datorită formei lor la montaj.
- Punctul central al antenei și cel al radialelor nu sunt conectate la sol, sunt izolate față de sol pentru a evita creșterea pierderilor în ambele situații.
- Schița generală a celor două situații este prezentată alăturat: 48 de radiale la sol versus 4 radiale elevate.

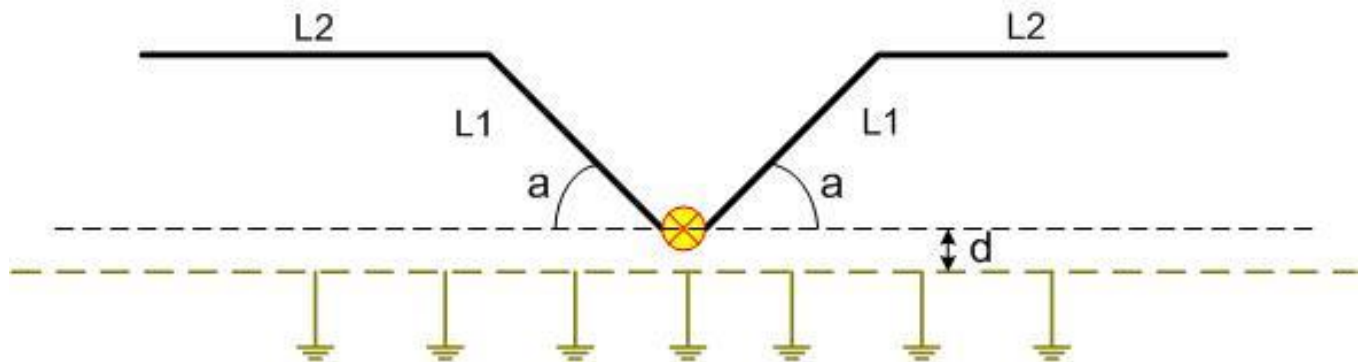


Prezenta expunere reprezintă o încercare de a demonstra puterea simulatoarelor de antene pentru a estima o corectă dimensionare și funcționare a acestora. Nu în ultimul rând, pentru cei interesați de o antenă simplă monoband, poate fi un bun exemplu dimensional de execuție. Fiind vorba despre “radialele elevate” ne vom concentra practic pe acestea cu câteva scurte referințe și anume:

- Așa arată silueta de la care și-au luat numele radialele elevate.



- Iar acestea sunt elementele dimensionale: distanța la sol = d , unghiul = a , aripile = $L1$ și $L2$.

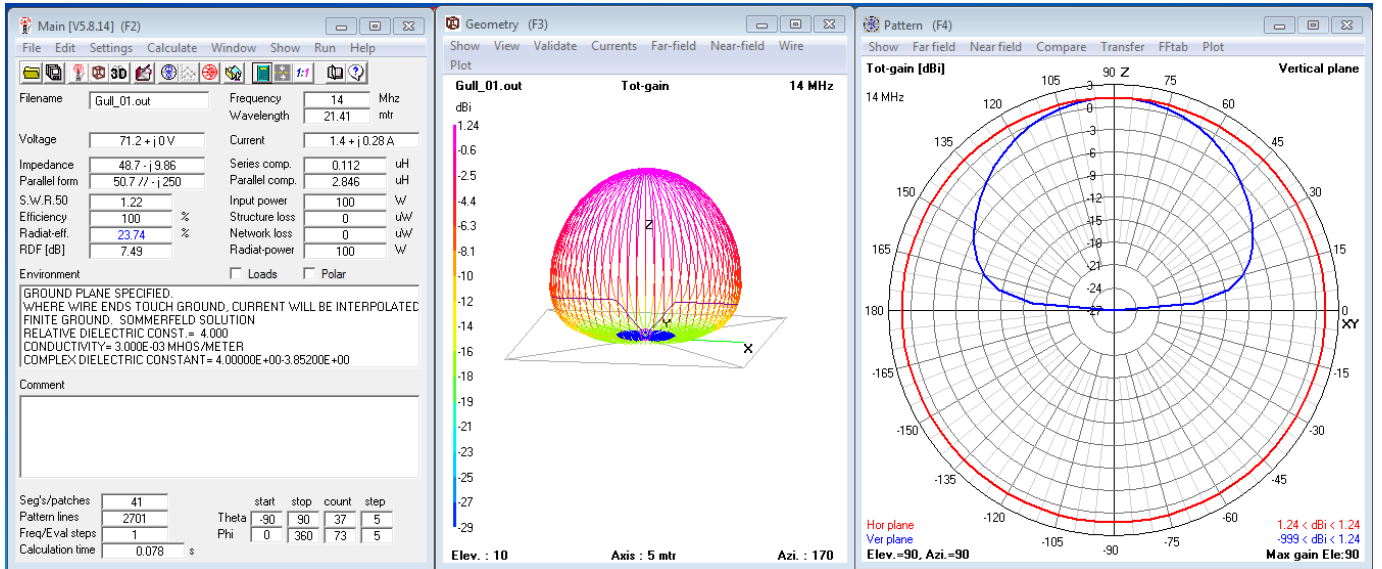


Schita de principiu pentru radialele semi elevate “Gull Wing” ale antenei verticale montate la sol.

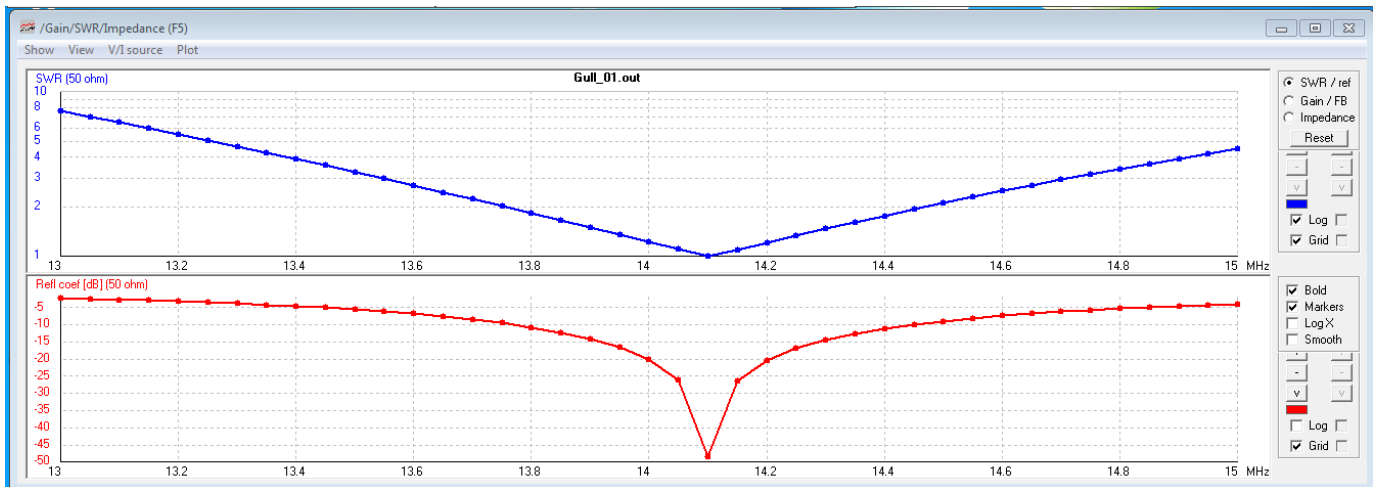
1. Pentru verificare și determinarea dimensiunilor orientative ale radialelor elevate, care trebuie să fie rezonante la frecvența de lucru, a fost făcută cu 4NEC2 o dimensionare a acestora fără elementul radiant vertical pentru o pereche de radiale elevate (cfm. figurii) similar cu o antenă dipol foarte apropiată de sol. Cu geometria din planșa alăturată și cu dimensiunile de pornire $L1=2m$, $L2=3m$, unghiul $a=45^\circ$, la înălțimea față de sol $d=0,15m$ (notată aici cu H) s-a generat o optimizare numai pentru lungimea $L2$ pentru a obține rezonanța în $14,1MHz$. Așa arată coordonatele antenei din fereastra **Geometry**.

Gull_01.nec - 4nec2 Edit										
File Cell Rows Selection Options										
Symbols		Geometry			Source/Load		Freq./Ground		Others	Comment
Geometry (Scaling=Meters)										
Nr	Type	Tag	Segs	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Radius
1	Wire	1	10	$-L2 \cdot L1 \cdot \cos(045) - 0.05$	0	$L1 \cdot \cos(045) + H$	$-L1 \cdot \cos(045) - 0.05$	0	$L1 \cdot \cos(045) + H$	0.001
2	Wire	2	10	$-L1 \cdot \cos(045) - 0.05$	0	$L1 \cdot \cos(045) + H$	-0.05	0	H	0.001
3	Wire	3	1	-0.05	0	H	0.05	0	H	0.001
4	Wire	4	10	0.05	0	H	$L1 \cdot \cos(045) + 0.05$	0	$L1 \cdot \cos(045) + H$	0.001
5	Wire	5	10	$L1 \cdot \cos(045) + 0.05$	0	$L1 \cdot \cos(045) + H$	$L2 + L1 \cdot \cos(045) + 0.05$	0	$L1 \cdot \cos(045) + H$	0.001

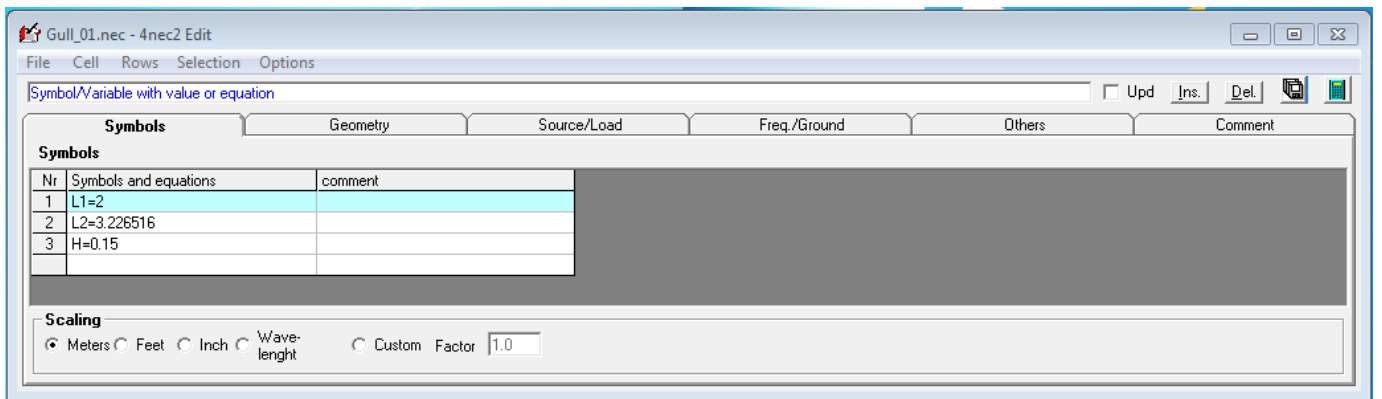
- În continuare așa arată diagrama de radiație totală (foarte apropiată de NVIS) cu obținerea după optimizare a unei impedențe convenabile.



- Se observă curba de rezonanță pronunțată la 14,1MHz.



- După optimizare și aducerea la rezonanță rezultatele au fost de $L1=2m$, $L2=3,22m$, $a=45^\circ$ și $d=0,15m$ așa cum se vede în captura de ecran alăturată.



- Ca o concluzie intermediară rezultă că pentru rezonanța radialelor elevate la 14MHz este nevoie ca suma celor două dimensiuni $L1+L2$ să fie mai mare decât 5m. Vom vedea cum se obține rezonanța optimizând întregul ansamblu: element radiant vertical + 4 radiale elevate, adică o întregă antenă la sol de acest gen.

2. În continuare au fost făcute trei simulări pentru antene cu radialele la sol cu 12, 24 și 48 radiale. Radialele au fost alese de lungime fixă de 6m iar acordul și rezonanța sau obținut prin optimizarea lungimii elementului radiant vertical.
3. De asemeni au fost făcute și trei simulări pentru antene la sol cu câte 4 radiale elevate și anume:
 - două simulări au avut ca elemente de optimizare toate cele 4 elemente L1, L2, unghiul a și lungimea H a elementului radiant pentru o impedanță de intrare cât mai apropiată de 50 ohmi.
 - o simulare păstrând un unghi de 45 de grade (comod din punct de vedere constructiv) și optimizând cu celelalte 3 elemente L1, L2 și H. S-a obținut o soluție dimensională convenabilă cu condiția adaptării la bază cu un balun (UnUn) cu raport de 4:1 adică 50 la 12,5 ohmi. Impedanța obținută după optimizare a fost de 13 ohmi.

Toate elementele cantitative de intrare în procesele de evaluare și optimizare precum și rezultatele obținute în urma utilizării programului 4NEC2 sunt prezentate în tablourile de sinteză alăturate. Capturile de ecran pentru fiecare simulare în parte cât și fișierele .nec (pe care le puteți lansa cu 4NEC2 pentru edificare) sunt anexate. Pentru cei care nu au răbdare să vadă toate detaliile prezentăm grafic cu capturi de ecran câte unul din rezultatele obținute pentru o antenă cu radialele la sol și una cu radialele elevate. Ambele au șanse de realizare practică pentru cei interesați.

Parametrii de intrare pentru evaluarea performanțelor celor trei antene cu radiale la sol precum și ai celor trei variante pentru optimizare cu radialele elevate sunt prezentate în tabelul alăturat.

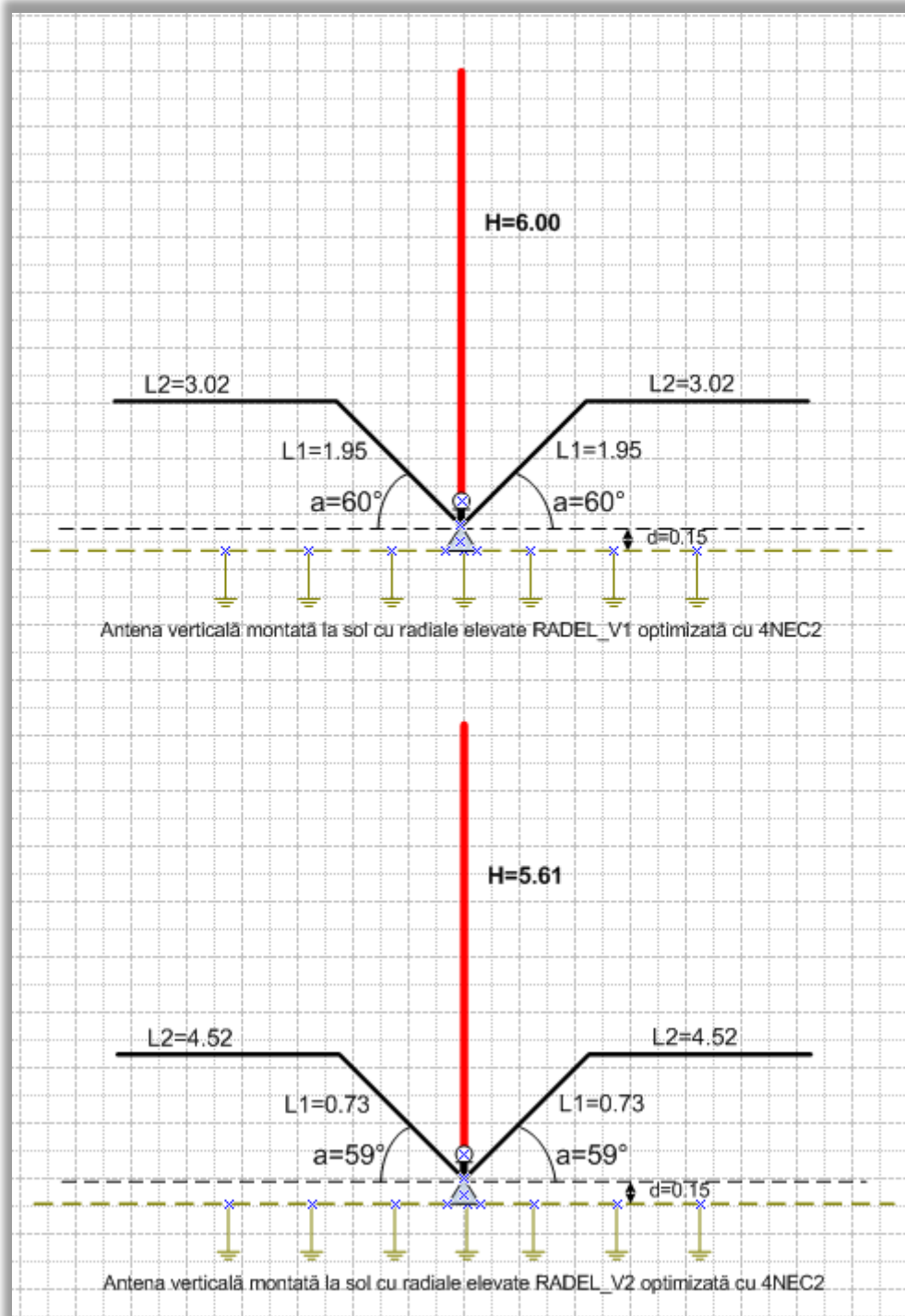
	Parametru	RAD12	RAD24	RAD48	RadElev V1	RadElev V2	RadElev V3
1	Frecvența [MHz]	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1	14.1
2	Raza elementului radiant [m]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
3	Înălțime element radiant [m]	5	5	5	5	5	5
4	Lungime radiale la sol [m]	6	6	6	-	-	-
5	Mărimi inițiale radiale elevate	-	-	-	L1,L2,a°	L1,L2,a°	L1,L2,a°
5.1	L1 [m]	-	-	-	2	2	2
5.2	L2 [m]	-	-	-	3	3	3
5.3	a° [grade]	-	-	-	45	45	45
6	Raza fir radial [m]	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
7	Distanța centrală la sol [m]	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
8	Tipul de sol	Real	Real	Real	Real	Real	Real
9	Conductivitate	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
10	Constanta dielectrică	4	4	4	4	4	4
11	Sursa de tensiune [V]	1 + j0	1 + j0	1 + j0	1 + j0	1 + j0	1 + j0
12	Puterea [W]	100	100	100	100	100	100

Rezultatele parametrilor electrici și dimensionali după evaluarea cu 4NEC2 și optimizare.

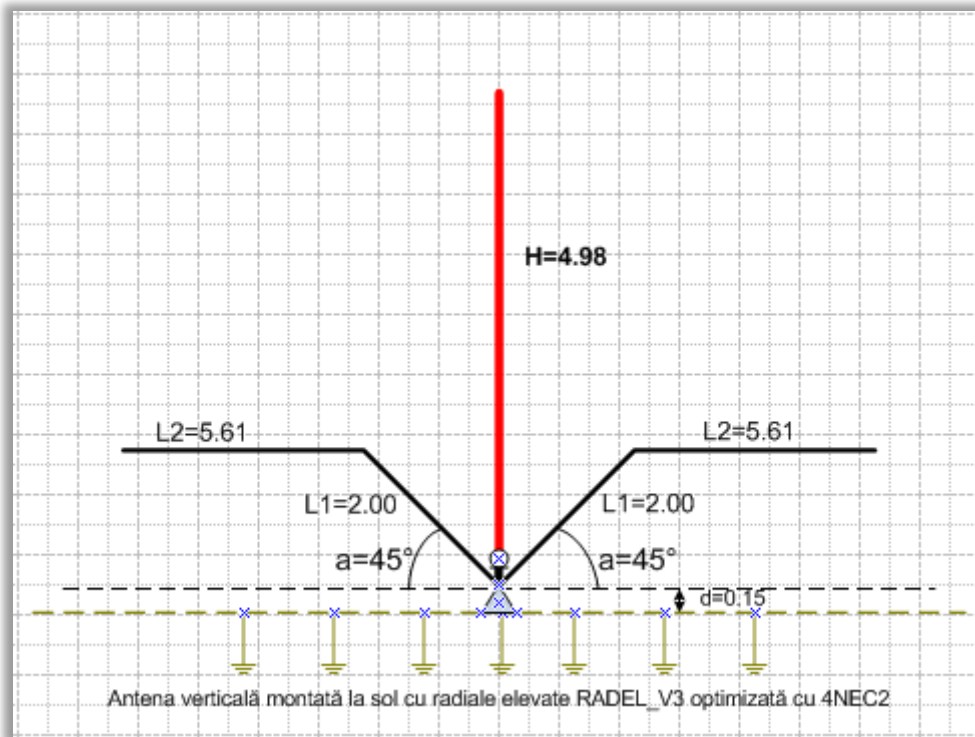
	Parametru	RAD12	RAD24	RAD40	RadElev V1	RadElev V2	RadElev V3
1	Interval de eșantionare [MHz]	13 ÷ 15	13 ÷ 15	13 ÷ 15	13 ÷ 15	13 ÷ 15	13 ÷ 15
2	Pasul de eșantionare [MHz]	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
3	Modul impedanță Z [ohmi]	42.5	40.91	40.03	42.09	46.46	13.01
4	Impedanța Z=Rs±jXs [ohmi]	42.1-j0.05	40.9-j0.75	40.0-j0.18	42.1-j0.51	46.5+j0.15	13.0-j0.08
5	SWR la 50 de ohmi	1.19	1.22	1.25	1.19	1.08	3.84
6	Eficiența %	100	100	100	100	100	100
7	Radiația efectivă %	15.46	16.19	16.88	12.55	13.51	13.53
8	Return Loss [-dB]	-21.28	-19.97	-19.11	-21.29	-28.7	-4.6
9	Elevație [grade]	30° / (150°)	30° / (150°)	30° / (150°)	25° / (155°)	25° / (155°)	25° / (155°)
10	Înălțime element radiant [m]	5.13	5.17	5.18	6.00	5.61	4,98
11	Lungimi radiale L1,L2,a° [m]	6	6	6	1.95, 3.02,60	0.73, 4.52,59	2.0, 5.61,45

12	Câștig total [dBi] la 14,1MHz	-2.91	-2.71	-2.53	-3.67	-3.48	-3.59
13	Tensiune [V]	64.9+j0	64+j0	63.3+j0	64.9+j0	68.2+j0	36.1+j0
14	Curent [A]	1.54	1.56	1.58	1.54	1.47	2.77
15	Adaptare Balun / UnUn	Nu	Nu	Nu	Nu	Nu	UnUn 4:1

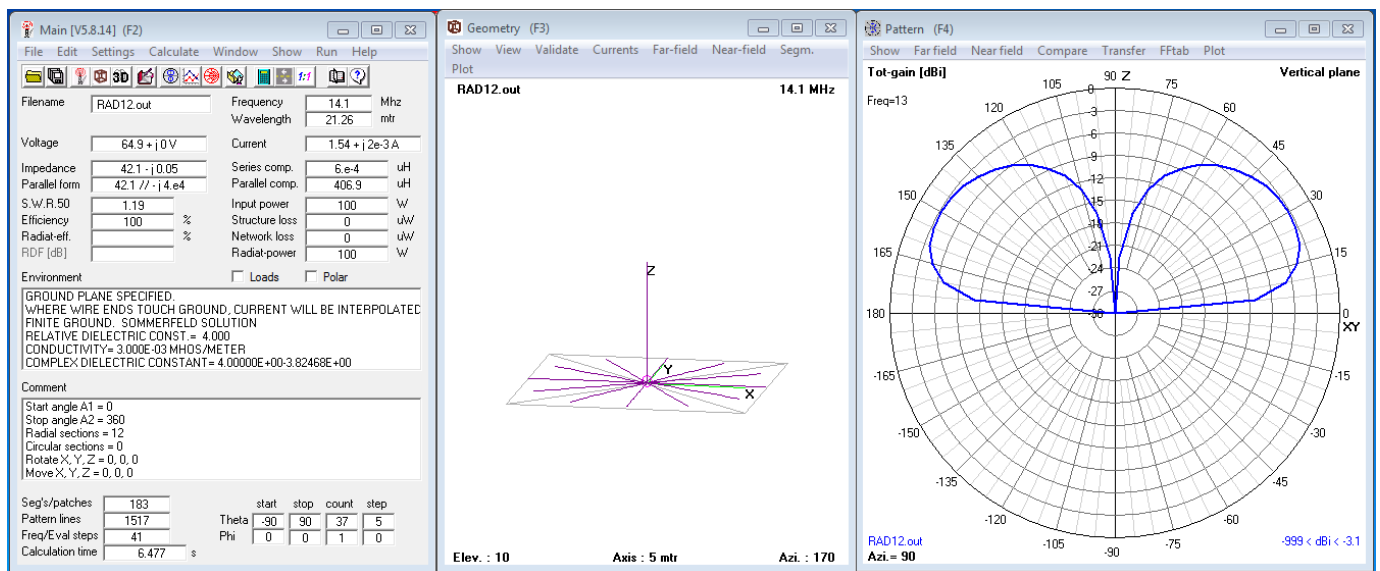
Schițele dimensionale ale celor trei variante de antene verticale la sol cu radiale elevate se văd alăturat.



Aceste prime două schițe răspund condiției de adaptare la aproape 50 de ohmi impedanța de intrare. Cea de a treia reprezintă optimizarea cu pastrarea unghiului de 45° și adaptarea cu un balun 4:1.

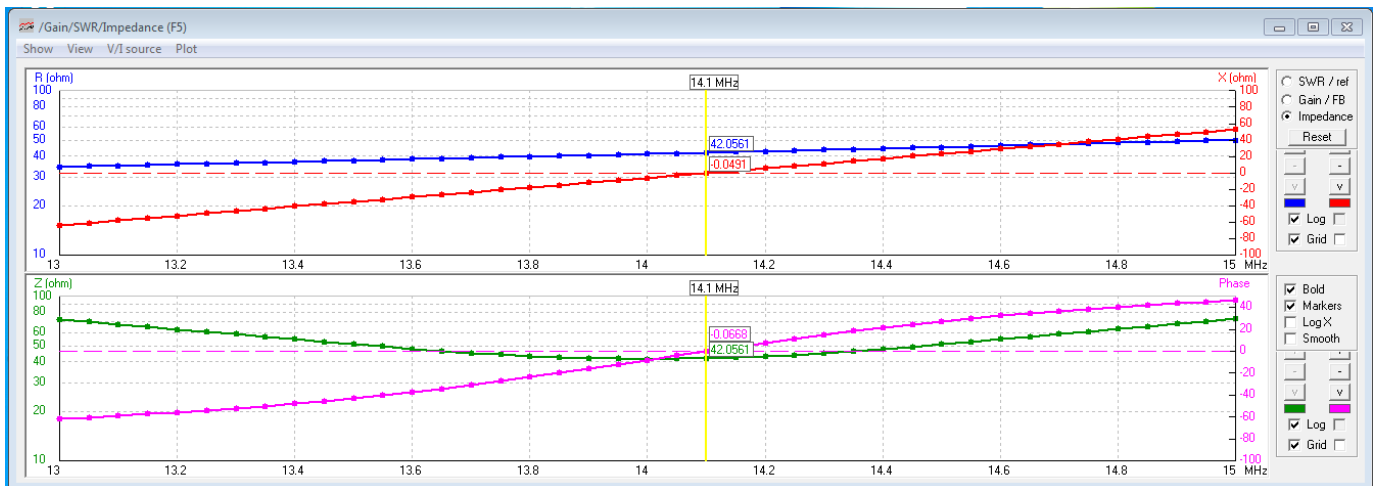
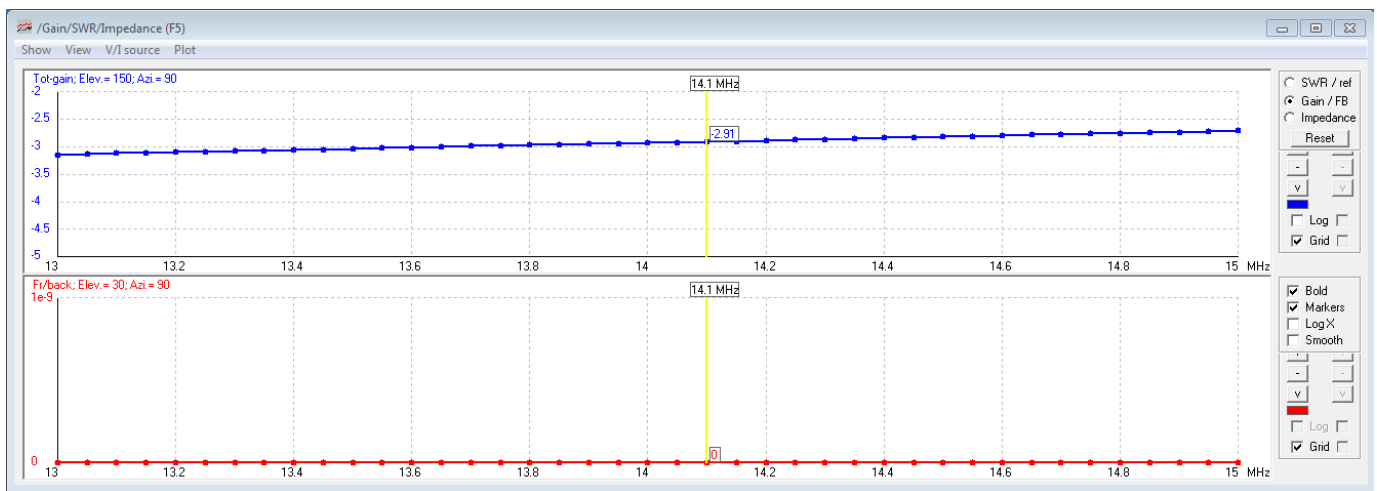
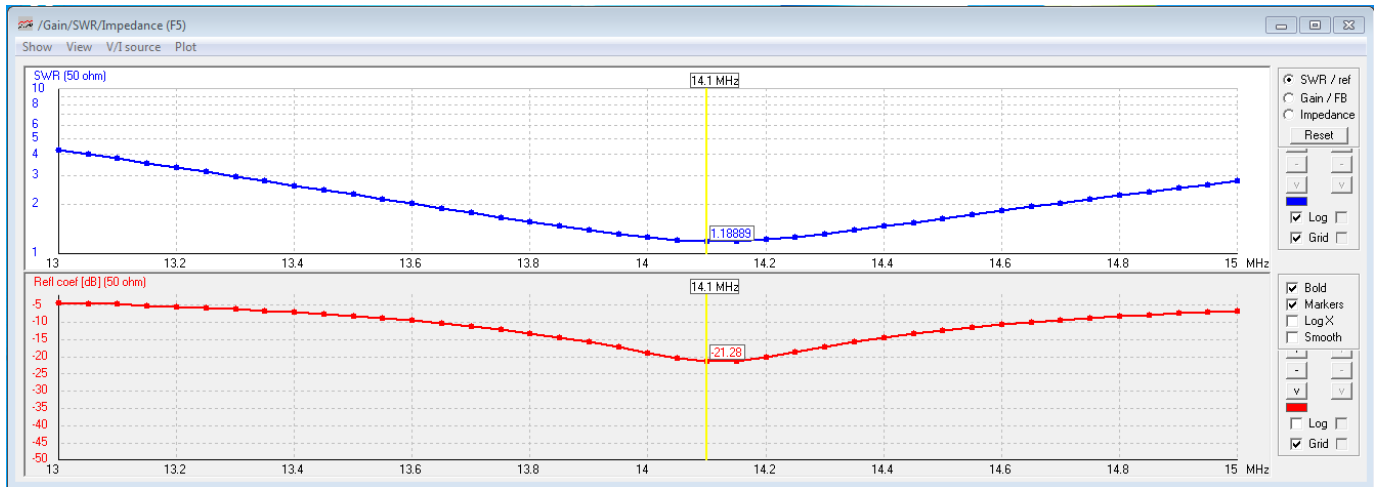


Așa cum am promis putem vizualiza capturile de ecran pentru procesul de optimizare la o antenă cu radialele la sol și anume cea cu 12 radiale care mi se pare mai economică și ușor de realizat. Din categoria antenelor cu radiale semi elevate voi alege varianta V1 care de asemeni mi se pare mai convenabilă de realizat.



Sunt prezentate pe rând:

- Configurația generală pregătită pentru eșantinare în intervalul 13 ÷ 15 MHz (modul Sweep).
- Urmează fereastra de acord pe frecvența 14,1MHz cu evidențierea SWR și a coeficientului de reflexie RL.
- În continuare câștigul Gain și raportul față spate Forward / Backward.
- Iar în ultima fereastră de parametrii electrici R_s , X_s , $|Z|$ și faza Ph .



În continuare trei imagini interesante, sugestive, privind parametrii câmpului radiant îndepărtat în care se regăsesc principalii parametri funcționali inclusiv eficiența de radiație precum și coordonatele geometrice ale elementelor antenei cu rezultatul optimizat al elementului radiant pentru un SWR minim și X_s cât mai aproape de zero. X_s cât mai aproape de zero asigură o tensiune de RF mică sau nulă între punctul central și pământ.

Main [V5.8.14] (F2)
 File Edit Settings Calculate Window Show Run Help

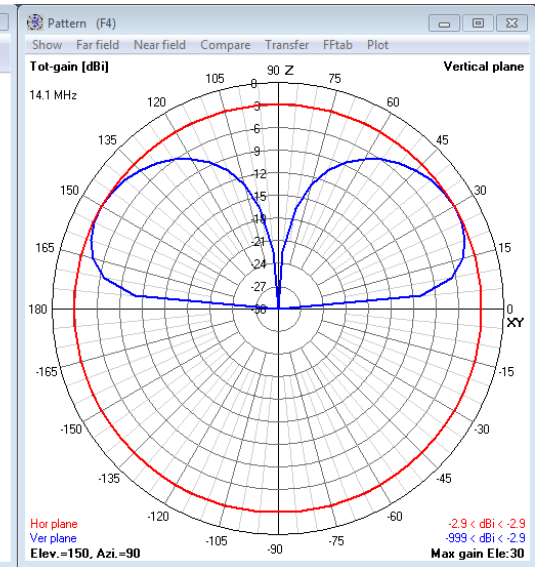
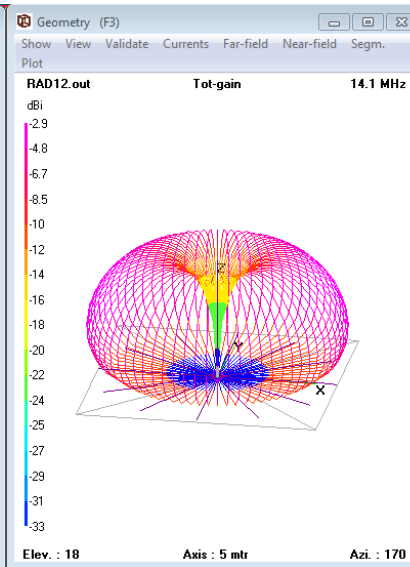
Filename: RAD12.out
 Frequency: 14.1 Mhz
 Wavelength: 21.26 mtr
 Voltage: 64.9 + j0 V
 Current: 1.54 + j2e-3 A
 Impedance: 42.1 - j0.05
 Series comp: 6.e-4 uH
 Parallel form: 42.1 // -j4.e4
 Parallel comp: 406.9 uH
 S.W.R.50: 1.19
 Input power: 100 W
 Efficiency: 100 %
 Structure loss: 0 uW
 Radiat-eff: 15.46 %
 Network loss: 0 uW
 RDF [dB]: 5.2
 Radiat-power: 100 W

Environment
 Loads Polar

GROUND PLANE SPECIFIED.
 WHERE WIRE ENDS TOUCH GROUND, CURRENT WILL BE INTERPOLATED
 FINITE GROUND. SOMMERFELD SOLUTION
 RELATIVE DIELECTRIC CONST. = 4.000
 CONDUCTIVITY = 3.000E-03 MHOS/METER
 COMPLEX DIELECTRIC CONSTANT = 4.00000E+00-3.82468E+00

Comment
 Start angle A1 = 0
 Stop angle A2 = 360
 Radial sections = 12
 Circular sections = 0
 Rotate X, Y, Z = 0, 0, 0
 Move X, Y, Z = 0, 0, 0

Seg's/patches: 183
 Pattern lines: 2701
 Freq/Eval steps: 1
 Calculation time: 0.219 s



RAD12.nec - 4nec2 Edit
 File Cell Rows Selection Options

Default straight line wire-element Upd Ins. Del.

Symbols		Geometry		Source/Load		Freq./Ground		Others		Comment	
Geometry (Scaling=Meters)											
Nr	Type	Tag	Segs	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Radius	Use wire tapering
1	Wire	1	14	0	0	.05	6.0	0	.05	.001	<input type="checkbox"/>
2	Wire	2	14	0	0	.05	5.196	3.0	.05	.001	<input type="checkbox"/>
3	Wire	3	14	0	0	.05	3.0	5.196	.05	.001	<input type="checkbox"/>
4	Wire	4	14	0	0	.05	0	6.0	.05	.001	<input type="checkbox"/>
5	Wire	5	14	0	0	.05	-3.0	5.196	.05	.001	<input type="checkbox"/>
6	Wire	6	14	0	0	.05	-5.196	3.0	.05	.001	<input type="checkbox"/>
7	Wire	7	14	0	0	.05	-6.0	0	.05	.001	<input type="checkbox"/>
8	Wire	8	14	0	0	.05	-5.196	-3.0	.05	.001	<input type="checkbox"/>
9	Wire	9	14	0	0	.05	-3.0	-5.196	.05	.001	<input type="checkbox"/>
10	Wire	10	14	0	0	.05	0	-6.0	.05	.001	<input type="checkbox"/>
11	Wire	11	14	0	0	.05	3.0	-5.196	.05	.001	<input type="checkbox"/>
12	Wire	12	14	0	0	.05	5.196	-3.0	.05	.001	<input type="checkbox"/>
13	Wire	13	1	0	0	0.05	0	0	0.15	.001	<input type="checkbox"/>
14	Wire	14	14	0	0	0.15	0	0	H	0.01	<input type="checkbox"/>

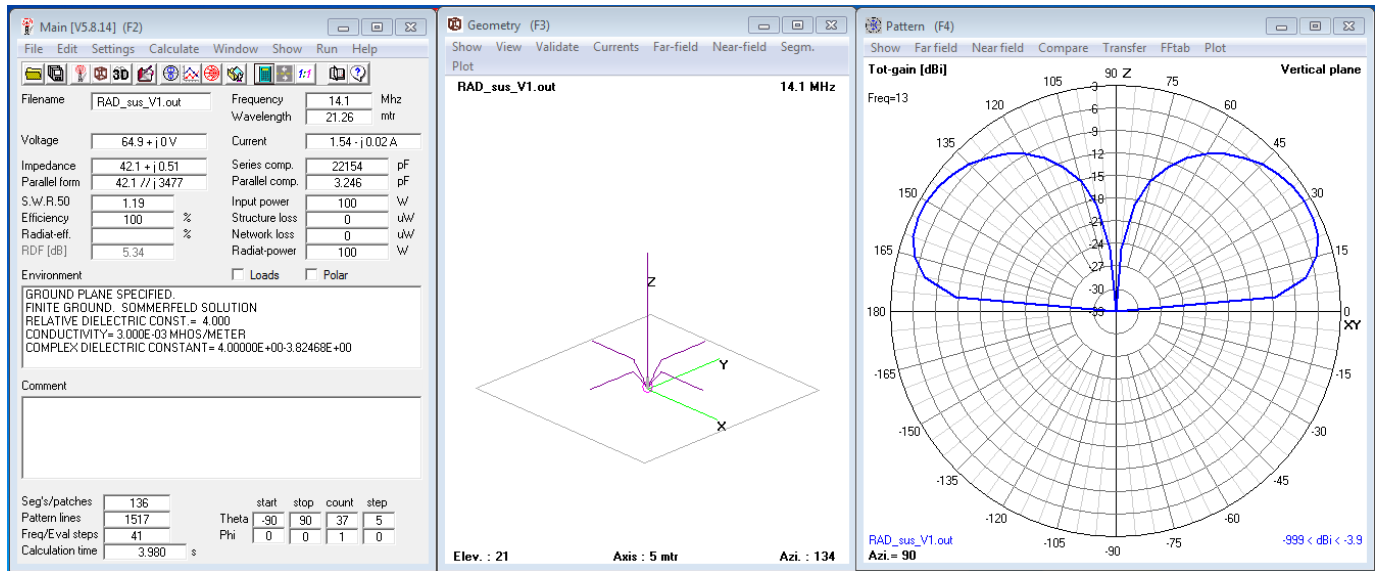
RAD12.nec - 4nec2 Edit
 File Cell Rows Selection Options

Symbol/Variable with value or equation Upd Ins. Del.

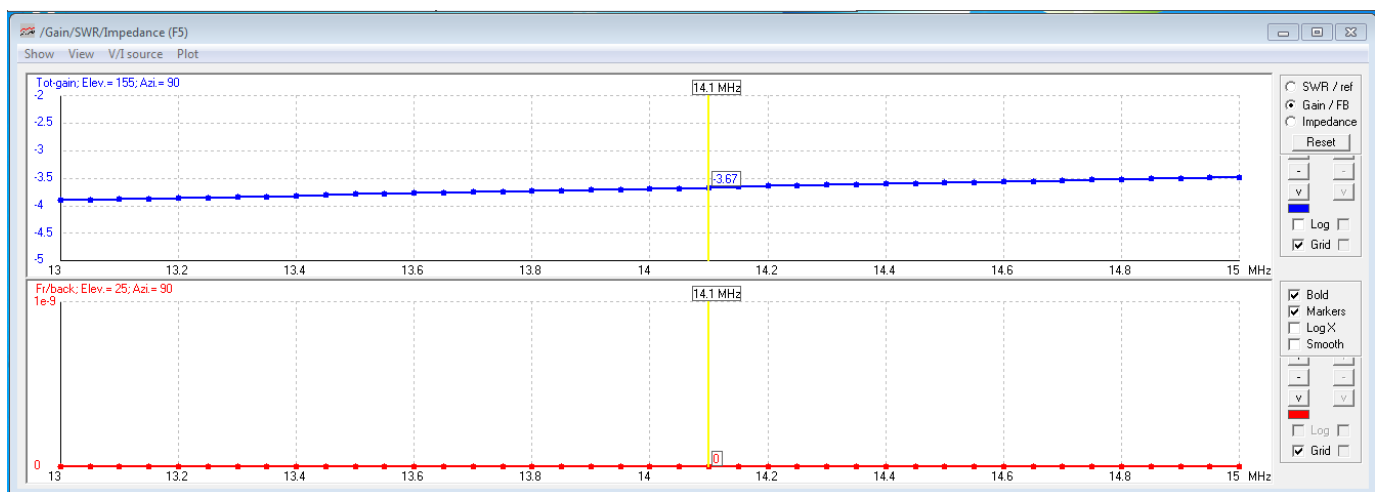
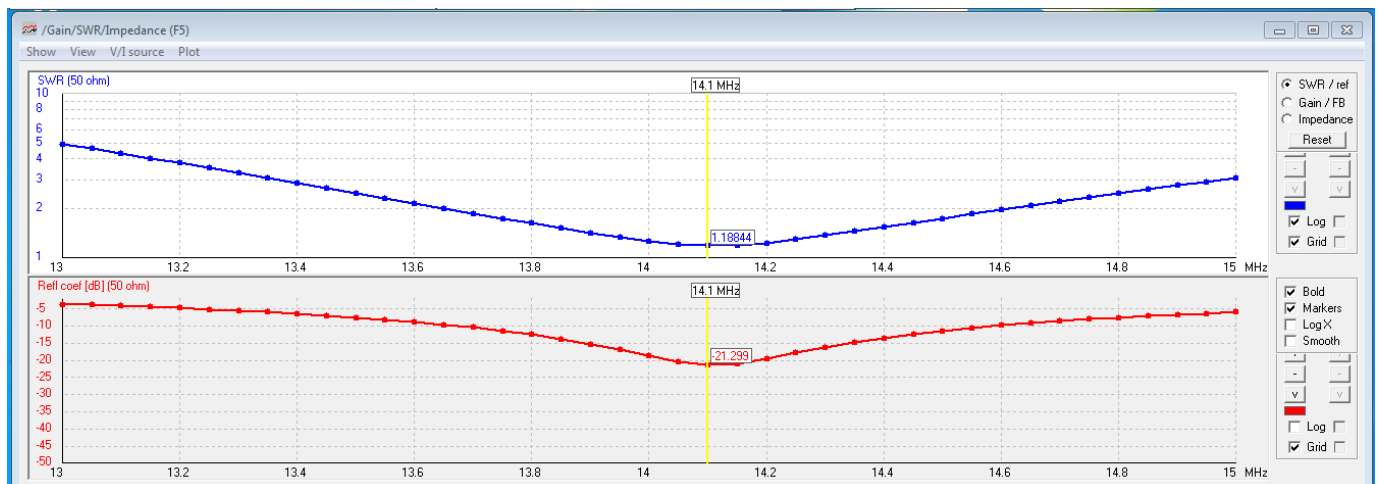
Symbols		Geometry		Source/Load		Freq./Ground		Others		Comment	
Symbols											
Nr	Symbols and equations		comment								
1	H=5.127874										

Scaling
 Meters Feet Inch Wave-length Custom Factor

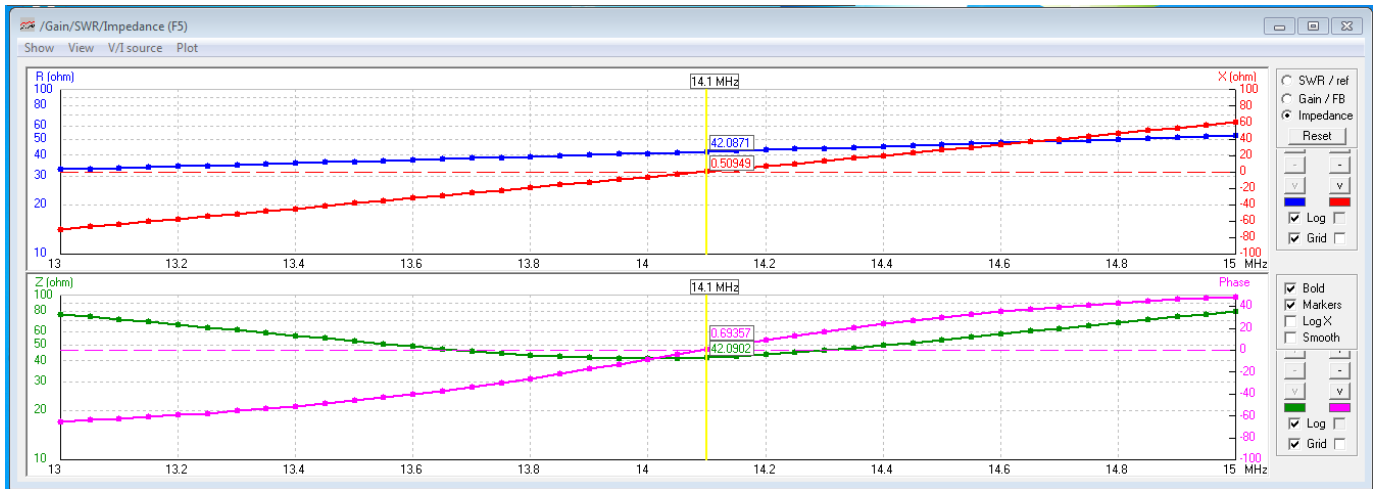
Să încercăm să realizăm o prezentare similară și pentru o antenă cu 4 radiale elevate.



Ferestrele principale și mai jos ferestrele de SWR, RL, Gain și raport față spate.



Parametrii Rs, Xs, |Z| și faza Ph.



Fereastra cu coordonatele geometrice ale antenei care a intrat în optimizare.

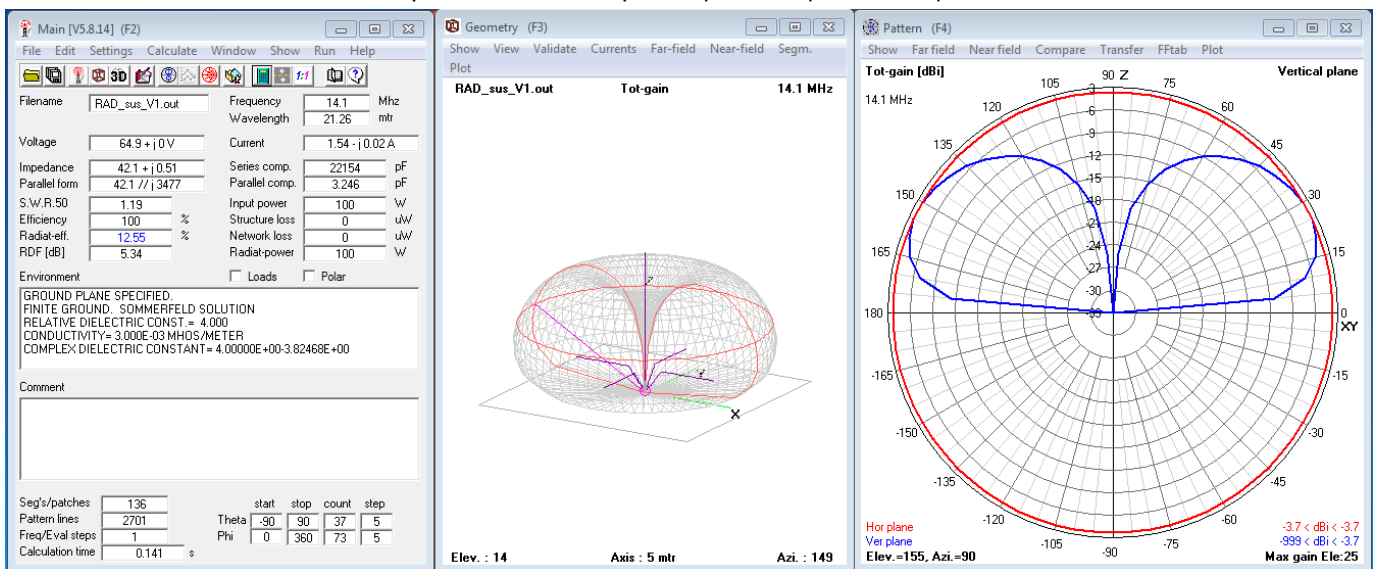
RAD_sus_V1.nec - 4nec2 Edit

File Cell Rows Selection Options

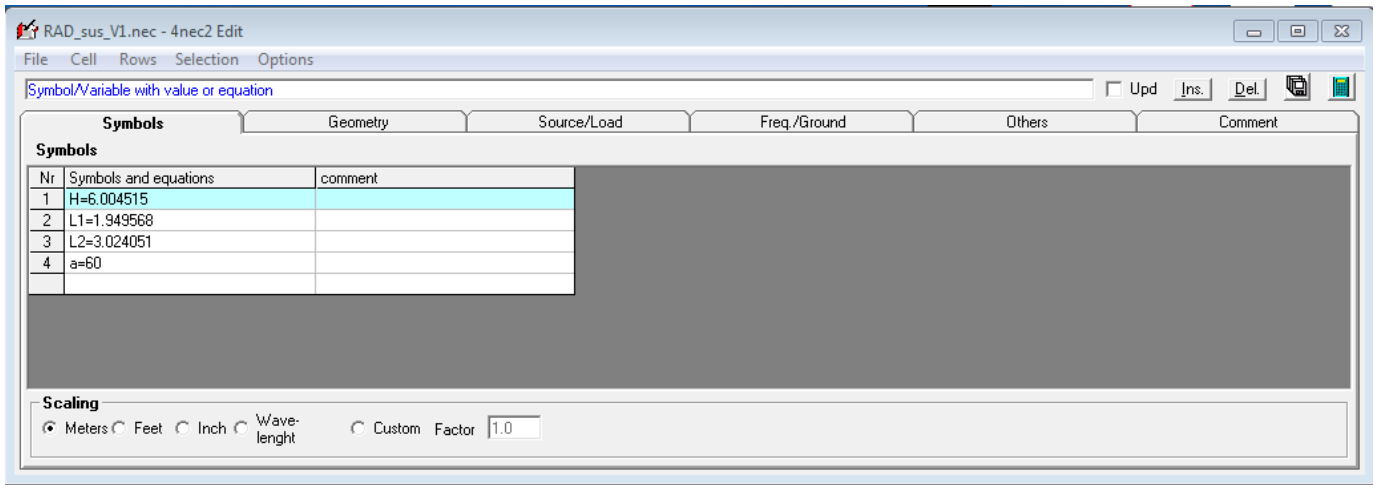
Default straight line wire-element

Geometry		Source/Load	Freq./Ground	Others	Comment					
Nr	Type	Tag	Segs	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	Radius
1	Wire	1	15	0	0	0.05	$L1 \cdot \cos(a)$	0	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	0.001
2	Wire	2	15	$L1 \cdot \cos(a)$	0	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	$L2 + L1 \cdot \cos(a)$	0	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	0.001
3	Wire	3	15	0	0	0.05	$-L1 \cdot \cos(a)$	0	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	0.001
4	Wire	4	15	$-L1 \cdot \cos(a)$	0	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	$-L2 - L1 \cdot \cos(a)$	0	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	0.001
5	Wire	5	15	0	0	0.05	0	$L1 \cdot \cos(a)$	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	0.001
6	Wire	6	15	0	$L1 \cdot \cos(a)$	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	0	$L2 + L1 \cdot \cos(a)$	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	0.001
7	Wire	7	15	0	0	0.05	0	$-L1 \cdot \cos(a)$	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	0.001
8	Wire	8	15	0	$-L1 \cdot \cos(a)$	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	0	$-L2 - L1 \cdot \cos(a)$	$L1 \cdot \cos(a) + 0.05$	0.001
9	Wire	9	1	0	0	0.05	0	0	0.15	0.001
10	Wire	10	15	0	0	0.15	0	0	H	0.01

Parametrii electrici ai câmpului radiant îndepărtat și eficiența de radiație.



Rezultatele optimizării pentru parametrii dimensionali H, L1, L2, și unghiul $a=60$ de grade păstrat constant.



Câteva concluzii.

Din comparația celor două categorii de evaluări se pot constata următoarele:

- Unghiul de elevație este mai bun la antenele cu radiale elevate față de cele cu radiale la sol 25° față de 30°
- Câștigul total este mai slab în medie cu cca. 1dBi la antenele cu radiale elevate
- Ambele categorii de antene au un câștig negativ în jurul a -3dBi
- Ambele categorii de antene au o eficiență de radiație scăzută între $12 \div 17\%$. La antenele cu radiale elevate este mai mică cu cca 3% față de cele cu radiale la sol.

Un scurt comentariu despre eficiența de radiație preluat din manualul 4NEC2:

Radiation efficiency

"If ground-, wire- or other R(LC)-losses are involved, the value for 'Radiation efficiency' might be useful data. Radiation efficiency is defined as the ratio of 'pure' radiated power to the antenne input-power.

This data is automatically generated and displayed on the 'Main' form when a full/3D far-field request is made."

și în traducere liberă:

Eficiența de radiație

În cazul în care calitatea solului, firele și alte componente de pierderi în R, L sau C sunt implicate, valoarea eficienței de radiație va fi afectată. Eficiența de radiație este definită ca raportul dintre puterea netă, efectiv radiată de antenă, și puterea la borna de intrare a acesteia. Datele sunt calculate și generate de 4NEC2 și sunt afișate în fereastra principală Main atunci când se cere o afișare în format 3D **pentru câmpul radiant îndepărtat**.

- Toți ceilalți parametrii electrici sunt simiari la cele două categorii de antene. Se pot obține dimensiuni, impedanțe și SWR-uri convenabile pentru acord la 50 de ohmi sau cu balun 4:1 sau 2:1 (50 la 12,5 sau 50 la 25). De regulă impedanța la intrare este mai joasă decât 50 de ohmi.
- Antenele cu radiale elevate sunt simplu de construit și economice. Se pare că sunt convenabile pentru un trafic continental. În limitele spațiului existent sau în deplasările în "spații mai generoase" se pot realiza ușor și în benzile joase cu un minimum de material și efort constructiv.
- Câteva sfaturi care pot prinde bine în cazul unei realizări efective: încercați o adaptare cât mai bună conform recomandărilor de reglaj local din cartea lui Florin YO8CRZ, în condițiile concrete de instalare. Aveți grijă de realizare la borna de intrare a unui șoc de RF din ferite corespunzătoare pentru diminuarea curentului de mod comun.
- După această analiză antenele cu radiale elevate mi se par chiar interesante iar lucrul cu programul de simulare 4NEC2 demonstrează cât de mult contează adevărul despre lucrurile care le vom folosi.
- Atențiune! Parametrii de funcționare pot varia foarte mult funcție de locul de instalare, solul și ambianța metalică înconjurătoare: alte antene, ancore, pereți, etc.

Anexe:

- Materialul în format .pdf.
- Pagini din “RADIOTAHNICĂ – Teoretică și Practică”
- Pagini despre balun (UnUn) cu raport 4:1 (50 la 12,5 ohmi)
- Fișierele compresate pentru capturi de ecran 4NEC2 ale antenelor cu radiale la sol RAD12, RAD24 și RAD48 precum și cu radiale elevate RADEL_V1, RADEL_V2 și RADEL_V3.
- Fișierele executabile .nec pentru toate antenele analizate lansabile cu 4NEC2 – NEC_files.

Bibliografie:

- Florin Crețu YO8CRZ – “RADIOTEHNICĂ Teoretică și Practică”
- Arie Voors – Manual 4NEC2.