

Antenne microstrip



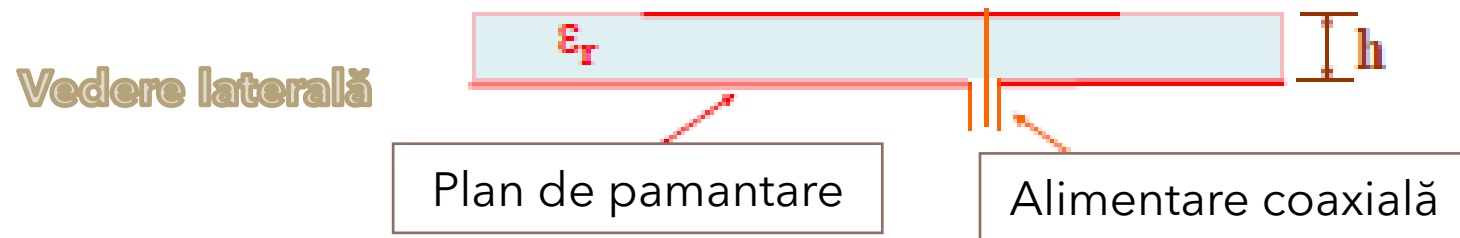
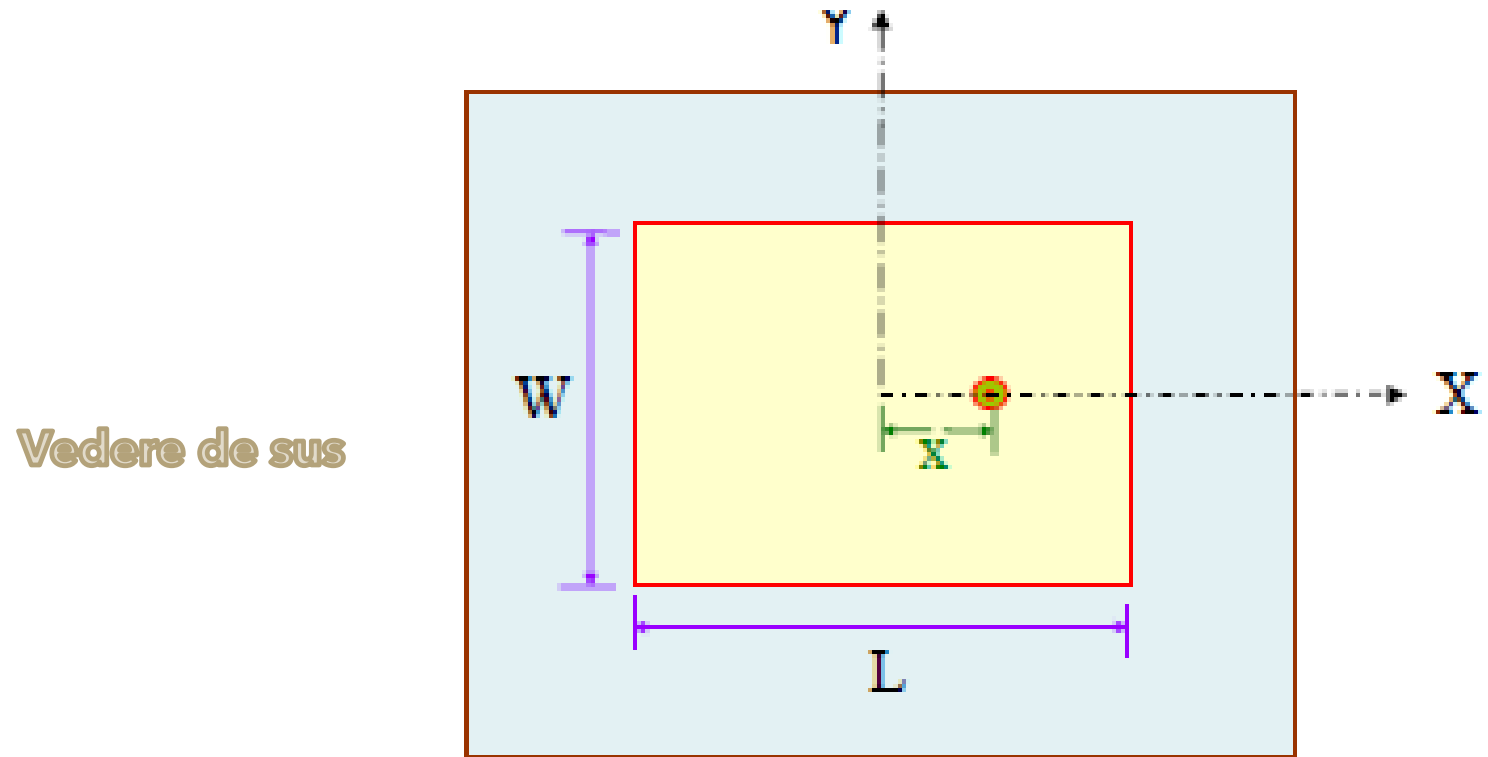
Avantaje

- **Profil redus și formă plană** — Antena este subțire, poate fi montată pe suprafețe plane sau curbate (carcase de dispozitive, fuselaje de aeronave).
- **Dimensiuni mici** — Funcționează la frecvențe înalte (microunde), unde dimensiunile fizice ale patch-ului sunt reduse. Ideală pentru telefoane, IoT, GPS, Wi-Fi.
- **Cost redus și fabricație simplă** — Se realizează prin fotogravare pe PCB, ceea ce permite producție în masă, toleranțe bune și preț mic.
- **Integrare facilă cu circuite RF** — Poate fi integrată direct cu MIC/MMIC pe același substrat, reducând complexitatea sistemului.
- **Versatilitate în formă și polarizare** — Patch-ul poate fi dreptunghiular, circular, triunghiular etc., iar antena poate oferi polarizare liniară sau circulară.
- **Greutate redusă** — Materialele dielectrice și structura plană o fac foarte ușoară, potrivită pentru drone, sateliți și echipamente portabile.
- **Integrare în rețele (arrays)** — Patch-urile pot fi combinate în rețele pentru a obține câștig mare și direcționare electronică a fasciculului (beam steering).
- **Precizie ridicată a orientării** — Rețelele microstrip permit formarea unor modele de radiație complexe, greu de obținut cu antene clasice.
- **Suport pentru multiband și dual-polarization** — Pot funcționa pe două sau trei benzi și pot transmite/recepționa în polarizări diferite.
- **Reducerea modurilor nedorite** — Alimentarea pe linia de simetrie minimizează excitația modurilor parazite.

Dezavantaje

- **Lățime de bandă foarte îngustă** — Tipic $\sim 1\%$, mult sub cerințele aplicațiilor moderne mobile ($\approx 8\%$). Aceasta limitează utilizarea în sisteme wideband sau multiband fără tehnici suplimentare de extindere a benzii.
- **Eficiență scăzută** — În special pentru variantele scurtcircuitate (ex. PIFA), unde apar pierderi în substrat și unde undele de suprafață reduc eficiența radiativă.
- **Pierderi în substrat și unde de suprafață** — Substraturile groase pot crește câștigul, dar generează unde de suprafață care degradează diagrama de radiație și eficiența. (Inferat din comportamentul substraturilor descris în literatura tehnică.)
- **Tehnici de alimentare dificil de implementat** — Cuplajul prin deschidere sau proximitate necesită precizie ridicată și poate complica fabricația.
- **Eficiență redusă în rețele (arrays)** — Într-o rețea, fiecare element introduce pierderi suplimentare, ceea ce scade eficiența totală a alimentării.
- **Câștig limitat pentru un singur element** — Un patch tipic oferă doar $\sim 6\text{--}9$ dBi, ceea ce poate fi insuficient pentru aplicații ce necesită câștig mare fără array.
- **Sensibilitate la toleranțe de fabricație** — Frecvența de rezonanță depinde puternic de dimensiunile fizice și de constantele dielectrice; variații mici pot duce la detunare.
- **Polarizare și moduri parazite** — Dacă alimentarea nu este perfect simetrică, pot apărea moduri nedorite și degradarea polarizării.

Antene microstrip dreptunghiulare



Circuite integrate de microunde (MIC) vs MSA (Microwave Semiconductor Amplifier)

Parametrii	MIC	MSA
Constanta dielectrică (ϵ_r)	Mare	Mică
Grosime (h)	Mică	Mare
Lățime (w)	În general mică (depinde de impedanță)	În general mare
Radiație	Minimă	Maximă
Exemple	Filtre, divizoare de putere, cuploare, amplificatoare, etc.	Antene

Substrat pentru MSA

Substrat	Constanta dielectrică (ϵ_r)	Tangenta de pierderi ($\tan\delta$)	Cost
Alumină	9,8	0,001	Foarte mare
SticlăEpoxy	4,4	0,02	Mic
Duroid/Arlon	2,2	0,0009	Foarte mare
Spumă	1,05	0,0001	Mic/mediu
Aer	1	0	NA

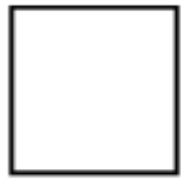
Aplicații

- Pagere și telefoane mobile
- Doppler și alte radare
- Comunicare prin satelit
- Radio altimetru
- Comandă de ghidare și telemetrie în rachete
- Elementele de alimentare în antene complexe
- Receptor de navigație prin satelit
- Radiator biomedical

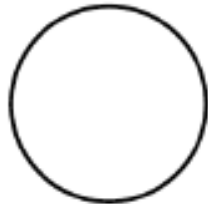


Microstrip Patch Antenna

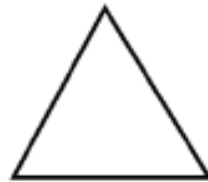
Forme multiple ale antenelor microstrip



Square



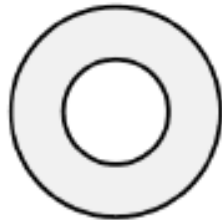
Circular



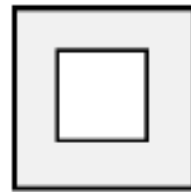
Triangular



Semicircular



Annular ring



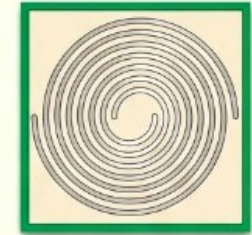
Square ring



(a) Bow-tie
Use: UWB and wideband communications



(b) Circular patch
Use: Circular polarization and radar



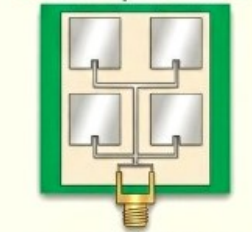
(c) Spiral
Use: Multi-octave wideband performance



(d) Slot insertion
Use: Multi-band and dual-polarization operation



(e) Rectangular patch
Use: General purpose, low-cost applications



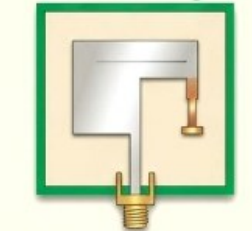
(f) Array antenna
Use: Phased array beamforming



(g) Fractal
Use: Miniaturization and multi-band operation



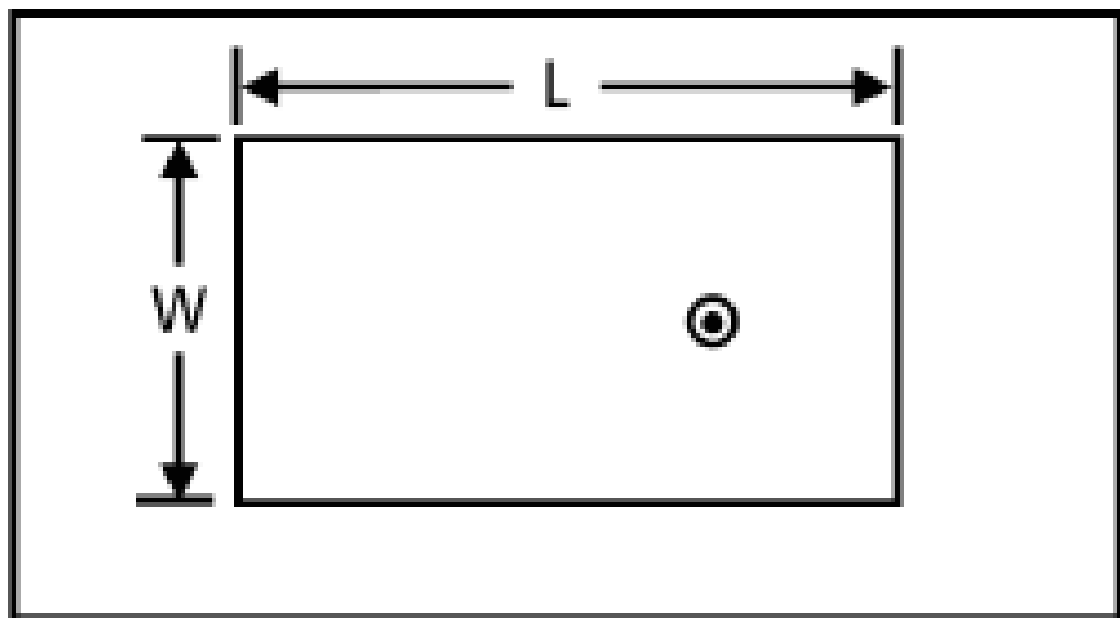
(h) E-shaped patch
Use: Dual-band and multi-band mobile communications



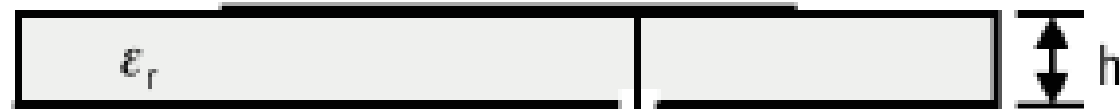
(i) Planar inverted-F antenna (PIFA)
Use: Highly compact internal antennas for space-constrained devices (e.g., smartphones, wearables)

Moduri de alimentare – alimentare coaxială

Vedere de sus



Vedere laterală



Plan de pamantare

Alimentare coaxială

Pentru un patch dreptunghiular alimentat coaxial, impedanța variază de la $\approx 300 \Omega$ la **margine** până la $\approx 0 \Omega$ în **centru**.

De aceea, punctul de alimentare trebuie ales astfel încât:

$$R_{in}(x) = 50 \Omega$$

Conform modelelor din literatura de specialitate, poziția optimă se calculează cu formula:

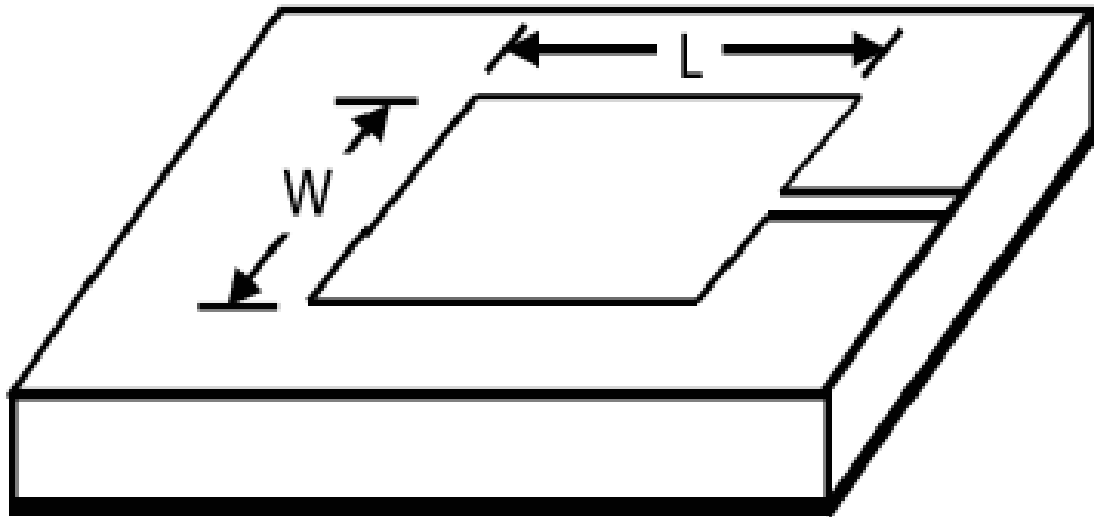
$$x_f = \frac{L}{\pi} \cos^{-1} \left(\sqrt{\frac{Z_0}{R_{edge}}} \right)$$

unde:

- **L** = lungimea patch-ului
- **Z₀** = impedanța dorită (50 Ω)
- **R_{edge}** = impedanța la marginea patch-ului ($\approx 300 \Omega$ pentru un patch tipic)
- **x_f** = distanța față de marginea patch-ului, pe axa de simetrie

• Dacă se dorește impedanța de 50 Ω, punctul de alimentare se află de obicei la **10–25% din lungimea L**, măsurat de la marginea patch-ului.

Moduri de alimentare – alimentare cu o linie microstrip



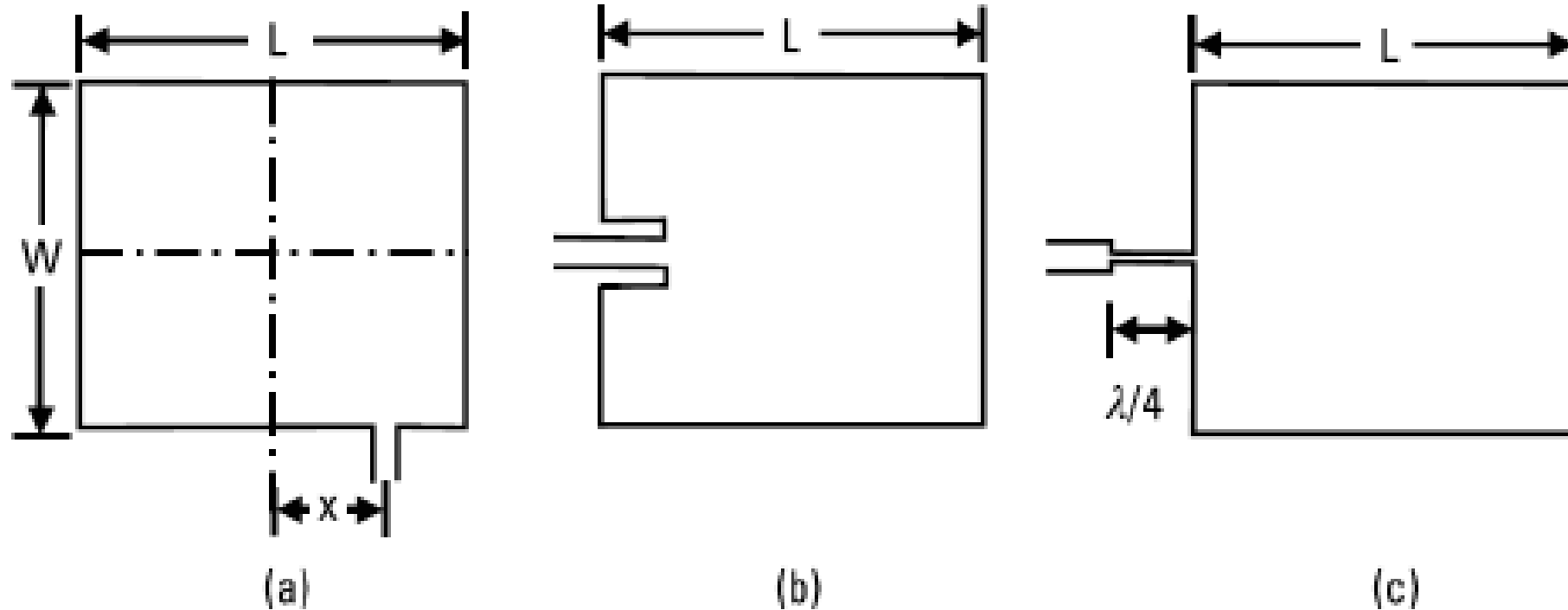
În mod obișnuit lungimea unui microstrip variază precum în relația următoare, unde λ_d este lungimea de undă a dielectricului:

$$L \approx (0.47 - 0.49) \cdot \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = (0.47 - 0.49) \cdot \lambda_d$$

Pentru a determina lățimea unui microstrip care să aibă impedanță caracteristică de o anumită valoare se va folosi formula de mai jos de unde se va extrage valoarea lui w

$$Z_0 = \begin{cases} \frac{60}{\epsilon_{eff}} \ln\left(\frac{8h}{w} + \frac{w}{4h}\right), & \text{unde } \frac{w}{h} \leq 1 \\ \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left[\frac{w}{h} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{w}{h} + 1.444\right) \right]}, & \text{unde } \frac{w}{h} \geq 1 \end{cases}$$

Moduri de alimentare – alimentare cu o linie microstrip



alimentare cu linie microstrip de-a lungul (a) marginii nonradiante; (b) marginii radiante cu alimentare inserată (inset feed); (c) marginii radiante cu un transformator de sfert de lungime de undă (quarter wave transformer)

Moduri de adaptare

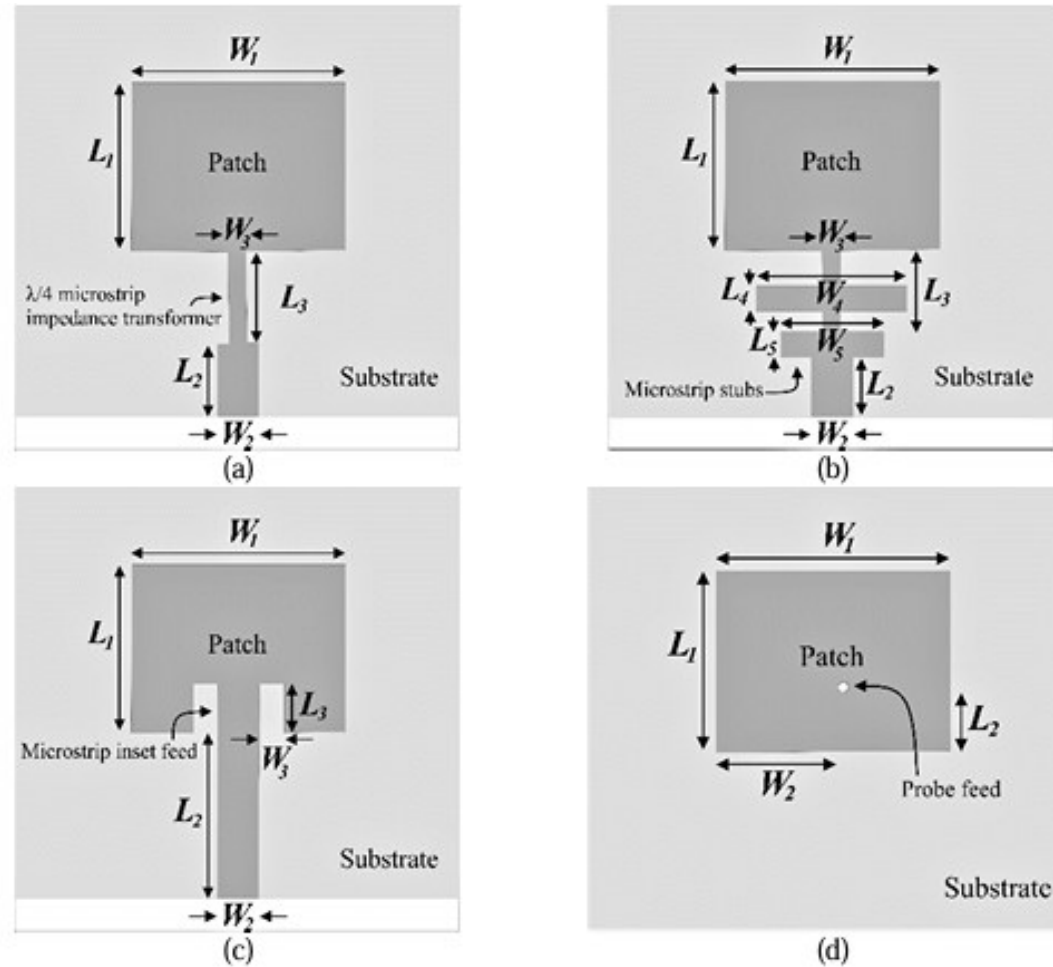
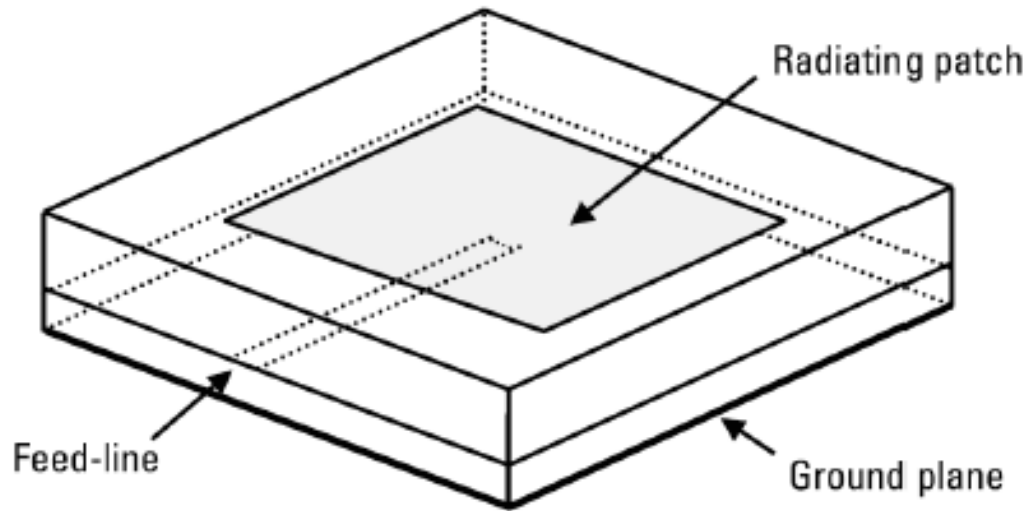


Fig. 2. Impedance matching technique using (a) $\lambda/4$ microstrip impedance transformer, (b) microstrip stubs, (c) microstrip inset-feed, and (d) probe feed.

Moduri de alimentare – alimentare cuplată electromagnetic



În cadrul acestei metode, linia microstrip NU se conectează direct la patch.

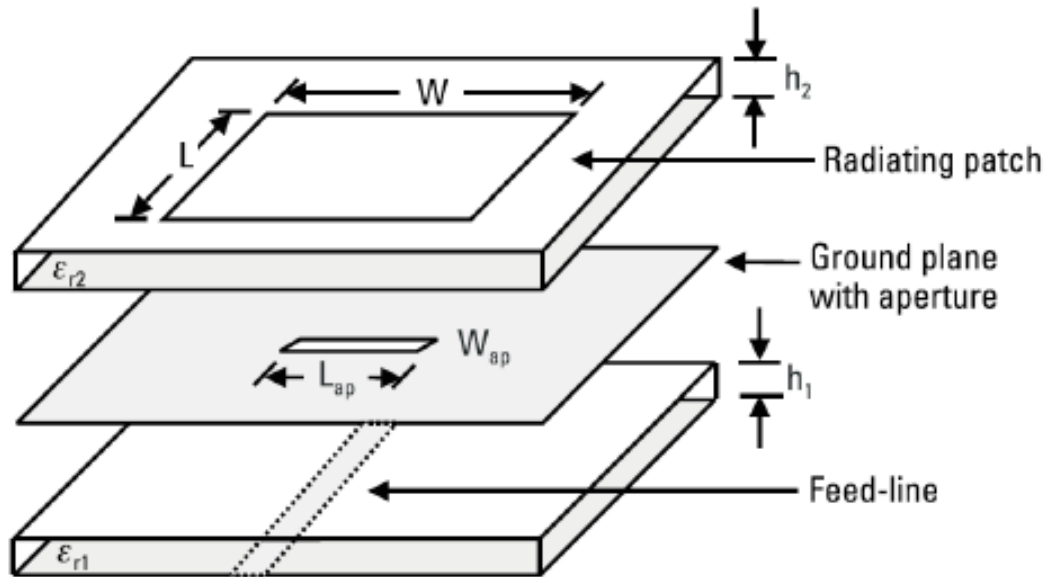
În schimb:

- linia microstrip se află pe partea inferioară a substratului
- între linie și patch există un plan de masă
- în planul de masă se decupează o fantă (slot)
- energia trece prin fantă și excită patch-ul prin cuplaj electromagnetic

Cu alte cuvinte, patch-ul este alimentat fără contact electric, doar prin câmpul electromagnetic.

- ✓ Se poate obține 10-20% lățime de bandă, față de 2-5% la alimentarea directă.
- ✓ Izolare excelentă între linia microstrip și patch
- ✓ Linia microstrip nu radiază parazit, pentru că este ascunsă sub planul de masă.
- ✓ Ideală pentru substraturi groase Patch-urile pe substraturi groase radiază mai bine → câștig mai mare.
- ✓ Permite optimizare independent substratul patch-ului poate fi ales pentru **radiație**, substratul liniei microstrip poate fi ales pentru **pierderi mici**

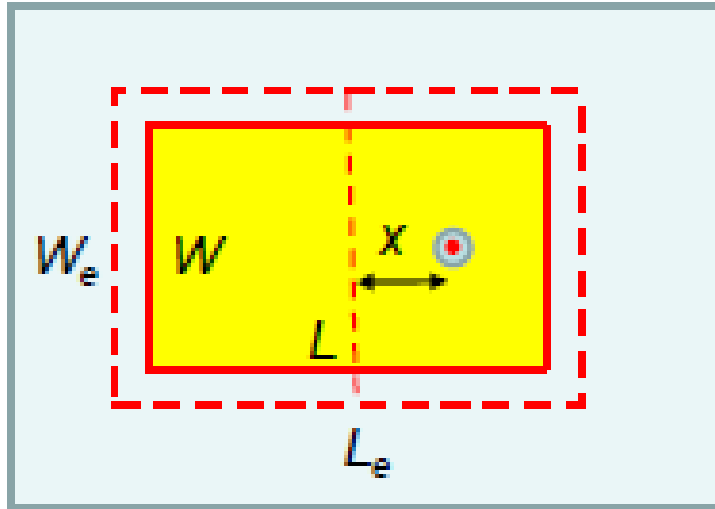
Moduri de alimentare – alimentare prin cuplare prin deschidere



Avantaje

- ✓ izolare foarte bună între feed și patch
 - ✓ radiații parazite reduse
 - ✓ bandă mai largă decât inset feed
 - ✓ eficiență mai mare
- foarte bună pentru:
- antene performante
 - aplicații RF sensibile

RMSA: Frecvența de rezonanță



$$L_e = L + 2\Delta L$$

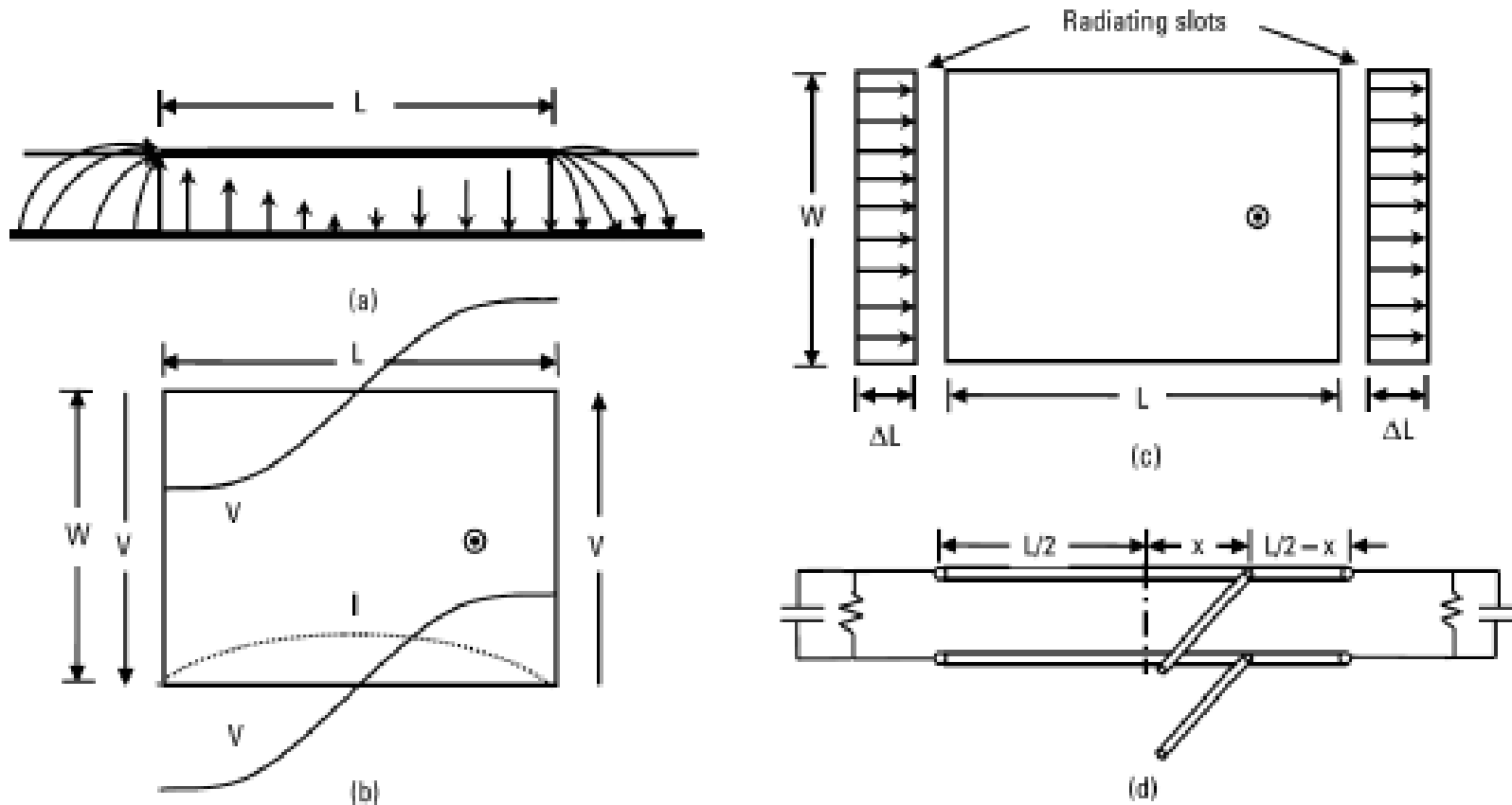
$$W_e = W + 2\Delta W$$

$$\Delta L \approx \frac{b}{\sqrt{\epsilon_e}}$$

$$f_0 = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_e}} \left[\left(\frac{m}{L} \right)^2 + \left(\frac{n}{W} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Unde m și n sunt moduri ortogonale de excitație. Modul fundamental este modul TM_{10} unde $m=1$ și $n=0$

RMSA - Caracterizare



Modul fundamental TM_{10} a unei RMSA: (a) distribuția câmpului electric ; (b) (_____) variația de tensiune și (.....) variația de curent; (c) 2 sloturi radiante și (d) modelul echivalent de linii de transmisie

RMSA: ecuații de proiectare

$$\epsilon_e = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \left[1 + \frac{10b}{W} \right]^{-1/2}$$

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}}$$

$$L_e = L + 2\Delta L = \frac{\lambda_0}{2\sqrt{\epsilon_e}} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_e}}$$

Se alege punctul de alimentare x între L/6 și L/4

RMSA: ecuații de proiectare

- Se proiectează o antene microstrip dreptunghiulară pentru aplicații Wi-Fi (2,400 - 2,483 GHz)
- Substratul va avea: $\epsilon_r = 2.32$, $h = 0.16$ cm și $\tan \delta = 0.001$

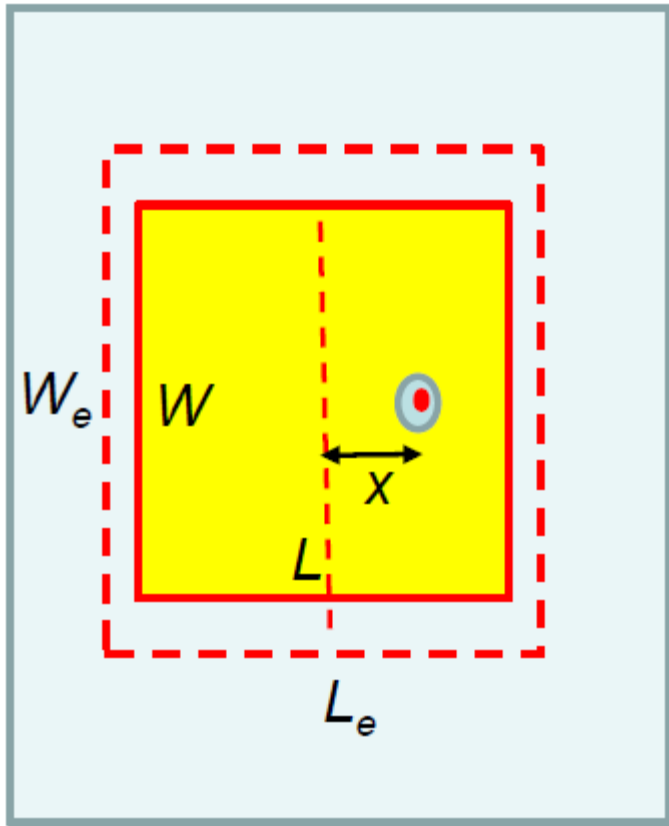
$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} = 3 \times 10^{10} / (2 \times 2.4415 \times 10^9 \times \sqrt{1.66}) = 4.77 \text{ cm. } \quad \mathbf{W = 4.7 \text{ cm}}$$

$$\epsilon_e = \frac{(\epsilon_r + 1)}{2} + \frac{(\epsilon_r - 1)}{2} \left[1 + \frac{10h}{W} \right]^{-1/2} = 2.23$$

$$L_e = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_e}} = 3 \times 10^{10} / (2 \times 2.4415 \times 10^9 \times \sqrt{2.23}) \text{ cm} = 4.11 \text{ cm}$$

$$L = L_e - 2 \Delta L = 4.11 - 2 \times 0.16 / \sqrt{2.23} = \mathbf{3.9 \text{ cm}}$$

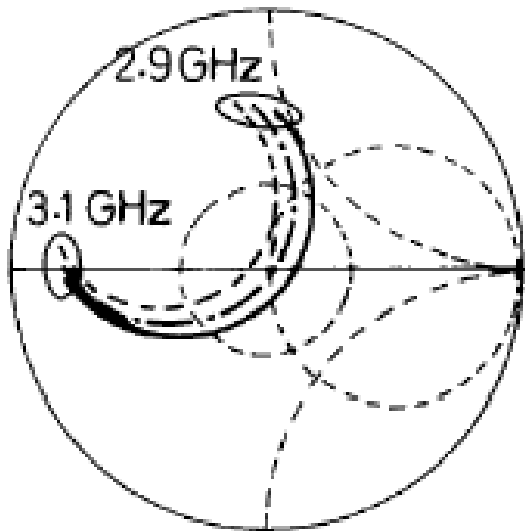
Efectul diferențelor parametrilor asupra performanțelor antenelor microstrip dreptunghiulare



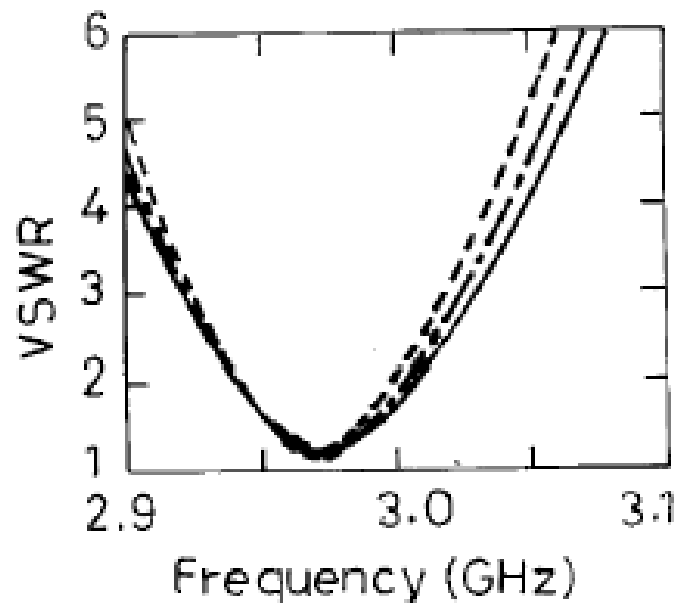
$$L = 3 \text{ cm} \quad W = 4 \text{ cm}$$

- Parametrii substratului sunt;
 $\epsilon_r = 2.55$, $h = 0.159 \text{ cm}$, $\tan \delta = 0.001$
- Diametrul alimentării (probe) = 0.12 cm pentru conectorul SMA.

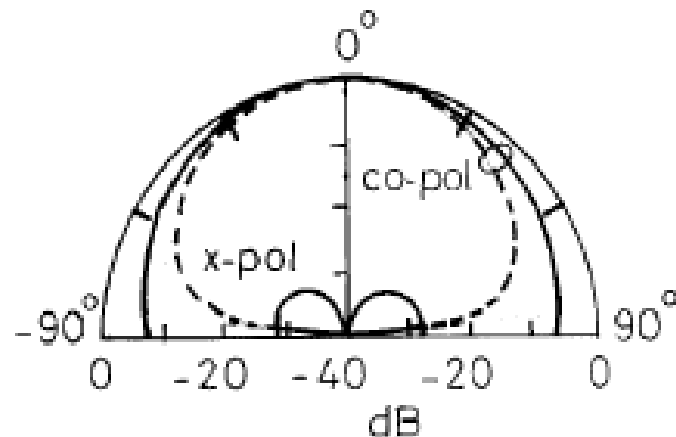
Efectul locației punctului de alimentare(x)



(a)



(b)

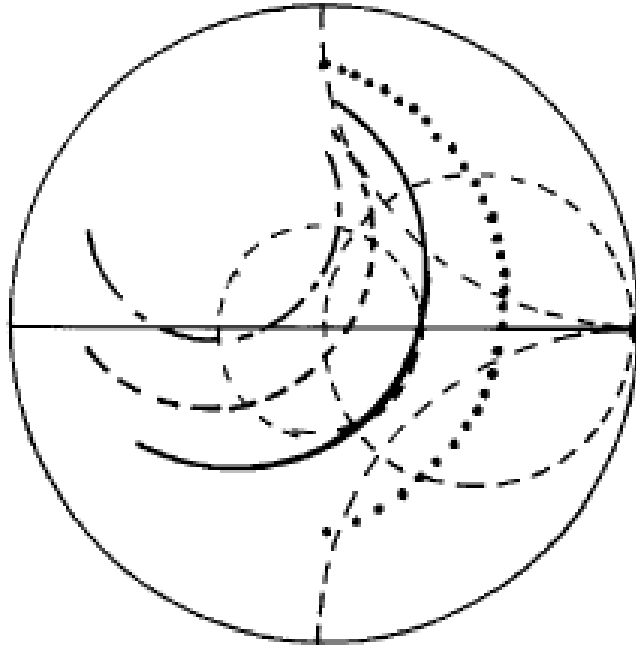


(c)

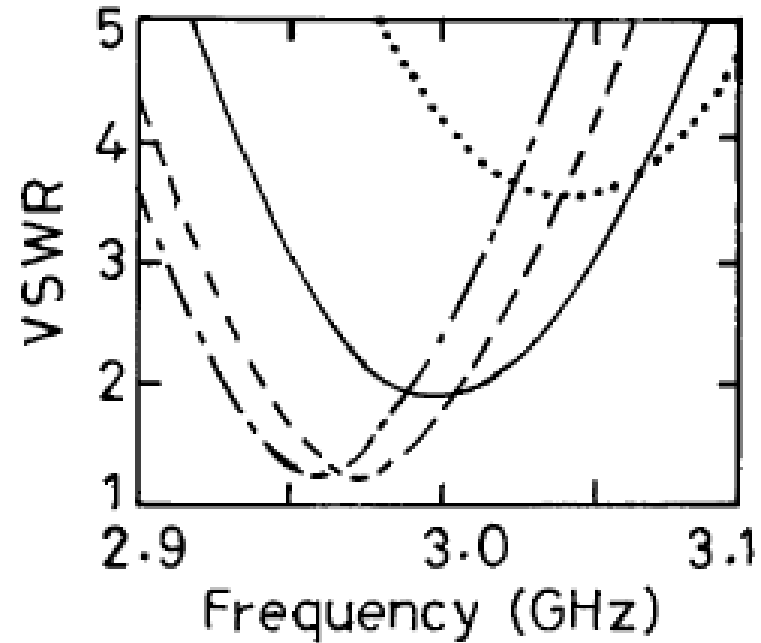
(a) impedanța de intrare și (b) VSWR pentru 3 valori diferite ale lui x (---) 0,55, (-.-) 0.60 și (___) 0.65 cm și (c) patternul de radiație la 2,975 GHz pentru $x=0,65$ cm; (___) planul E și (---) planul H Pentru plan de pământare infinit

Odată cu creșterea lui x impedanța de intrare se mută spre dreapta spre valori mai mari ale impedanței

Efectul lățimii (W)



(a)

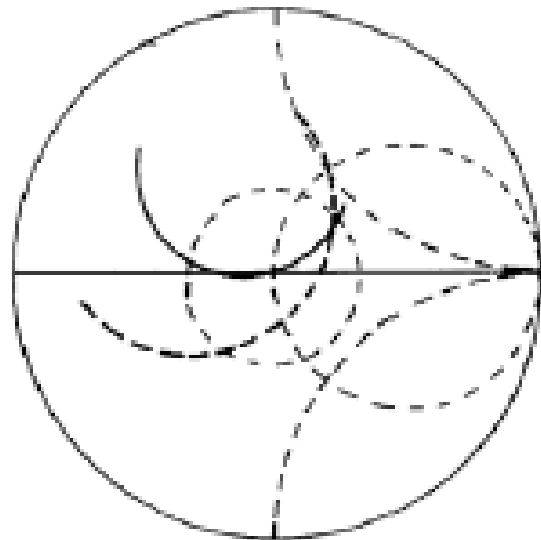


(b)

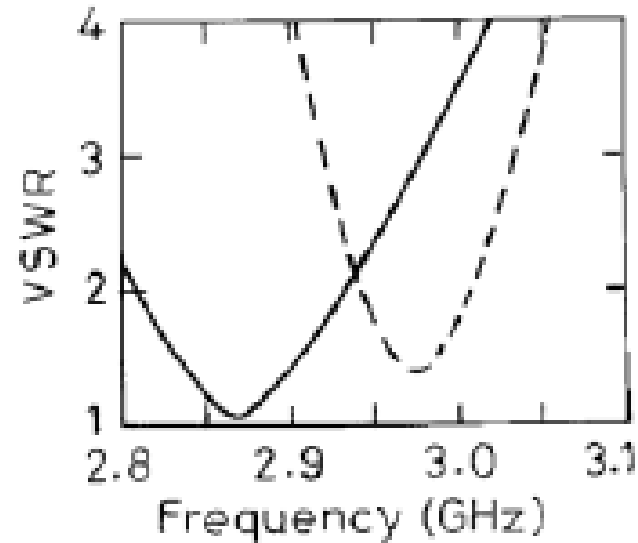
(a) impedanța de intrare și (b) VSWR pentru 4 valori diferite ale lui W (...) 2, (___) 3, (---) 4 și (-_-) 5 cm

Odată cu creșterea lui W, aria deschiderii și câmpurile de capăt cresc și ele, deci frecvența scade graficul impedanței de intrare se mută spre valori mai mici ale impedanței

Efectul grosimii (h)



(a)



(b)

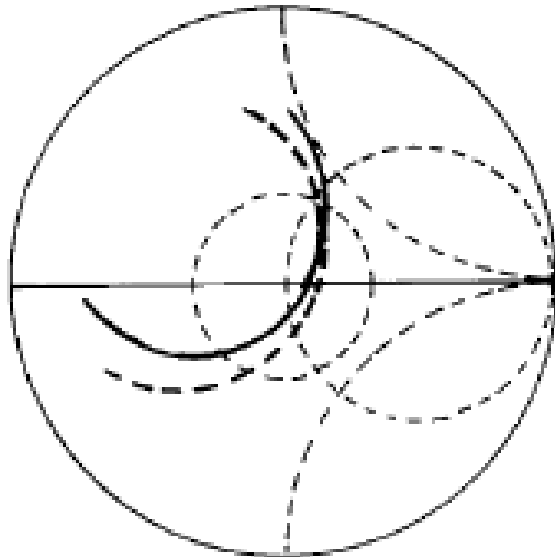
(a) impedanța de intrare și (b) VSWR pentru 2 valori diferite ale lui h (...) 0.159 și (___) 0.318 cm

Odată cu creșterea lui h , câmpurile marginale și inductivitatea probei de alimentare crește, frecvența descrește și reprezentarea impedanței de intrare se mută mai sus

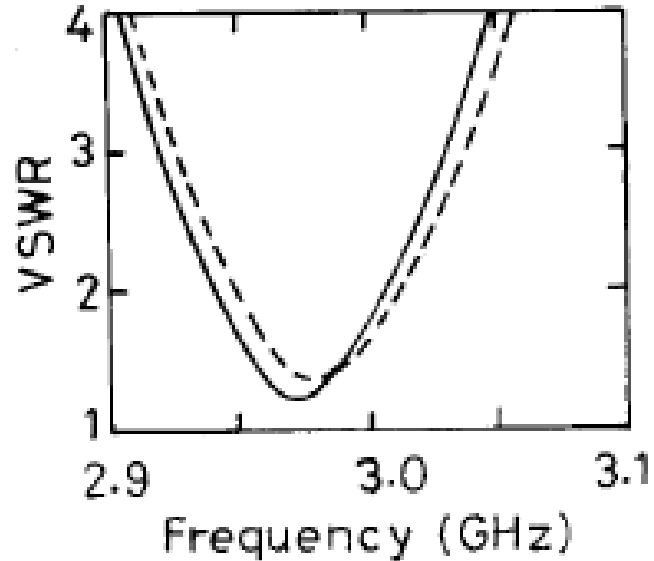
$$\frac{b}{\lambda_0} \leq \frac{0.3}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}}$$

Condiție pentru reducerea undelor de suprafață

Efectul diametrului probei



(a)

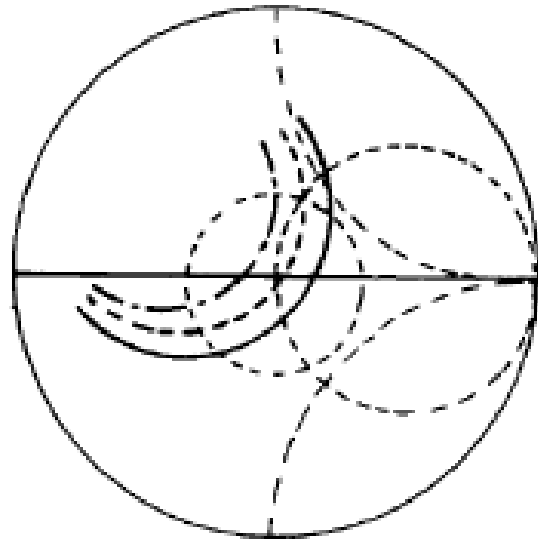


(b)

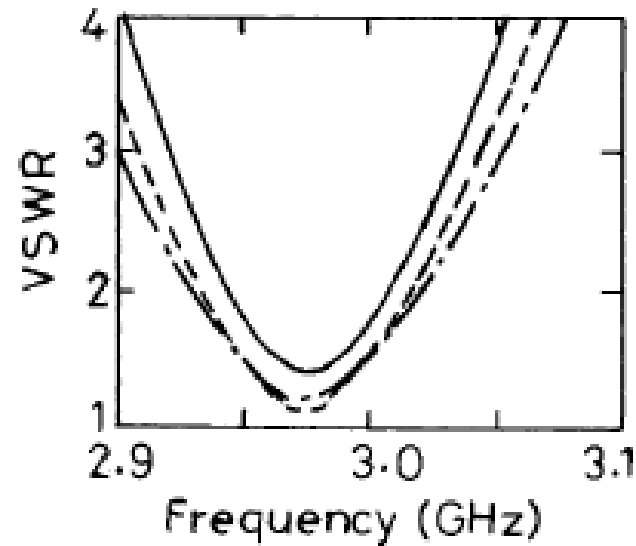
(a) impedanța de intrare și (b) VSWR pentru 2 conectori diferiți (...) tip N și (___) SMA

Odată cu scăderea diametrului probei de alimentare, inductivitatea probei crește, deci frecvența de rezonanță scade și locul impedanței de intrare se mută mai sus spre regiunea inductivă

Efectul tangentei de pierderi ($\tan\delta$)



(a)



(b)

(a) impedanța de intrare și (b) VSWR pentru diferite valori ale tangentei de pierderi (___) 0.001, (---) 0.01 și (—, —) 0.02

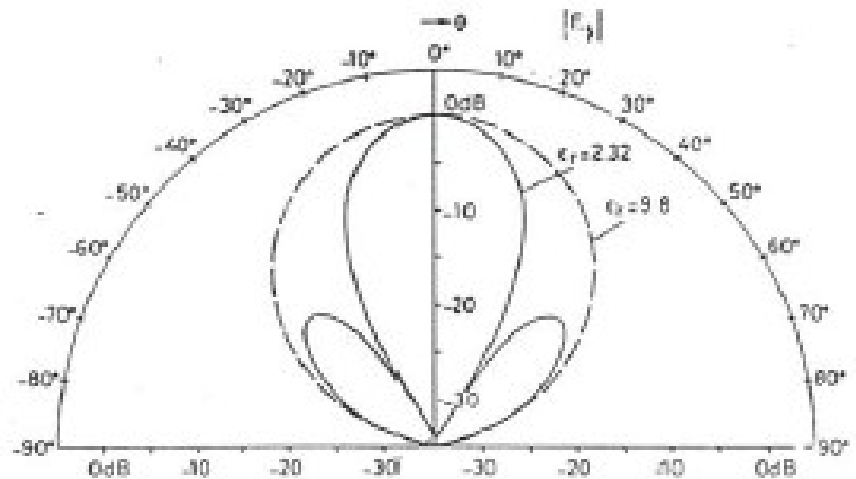
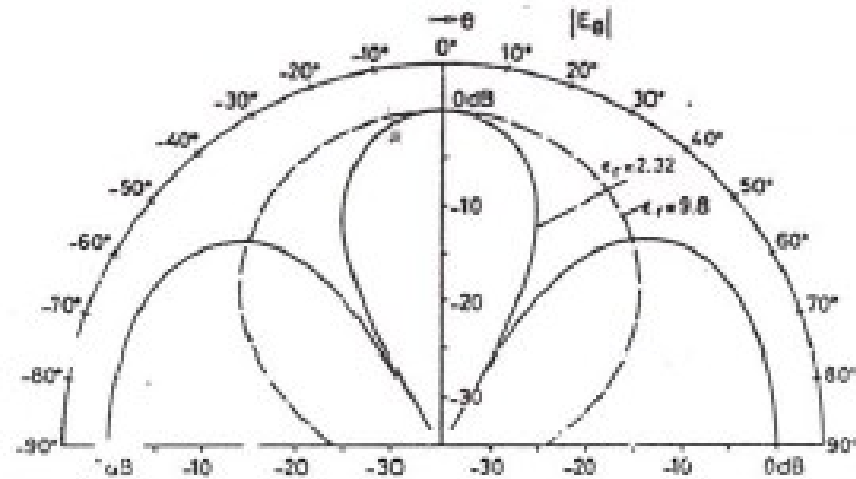
Odată cu creșterea tangentei de pierderi, pierderile din dielectric cresc, deci locul impedanței de intrare se mută spre dreapta spre valori mai mici ale impedanței. Lățimea de bandă crește dar eficiența și câștigul vor scădea

Efectul constantei dielectrice (ϵ_r) pentru $h=0.159$ cm și $\tan\delta=0.001$

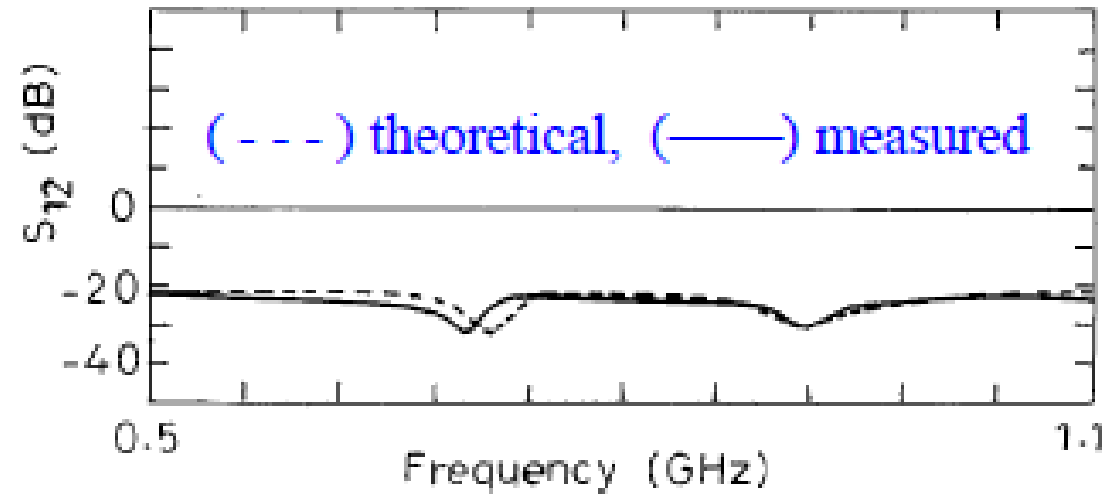
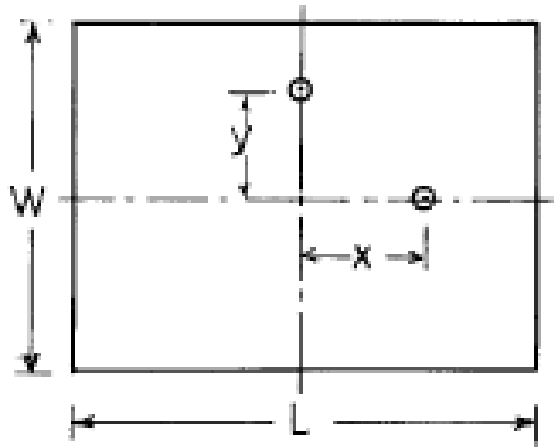
ϵ_r	L (cm)	W (cm)	x (cm)	f_0 (GHz)	R_{in} (Ω)	BW (MHz)	Gain (dB)
1	4.65	6.2	1.00	2.997	54	74	10.0
2.55	3.0	4.0	0.65	2.974	62	64	6.8
4.3	2.3	3.1	0.40	2.986	52	49	5.6
9.8	1.51	2.0	0.20	3.002	51	30	4.4

Odată cu creșterea constantei dielectrice , atât L cât și W vor scădea , ceea ce duce la scădere a valorilor câmpurilor de margine și zonei deschiderii, deci atât lățimea de bandă cât și câștigul vor scădea

Pattern de radiație pentru diferite valori ale ϵ_r mod TM_{30}



Polarizație duală (modurile TM_{10} și TM_{01})



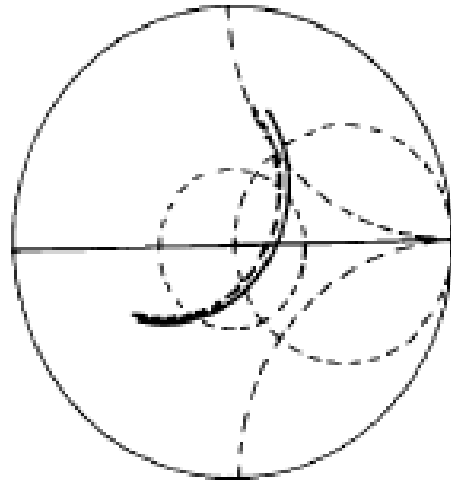
$L = 10.1 \text{ cm}$ and $W = 7.9 \text{ cm}$

$x = 3.8 \text{ cm}$ and $y = 2.9 \text{ cm}$

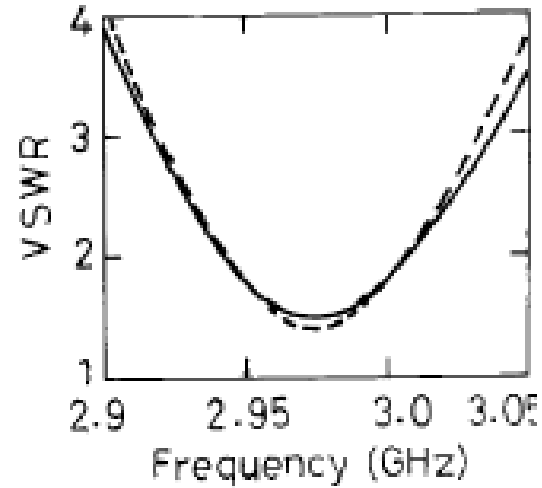
$\epsilon_r = 4.3$, $h = 0.16 \text{ cm}$, $\tan\delta = 0.02$

Frecvențele de rezonanță măsurate sunt 712 MHz și 913 MHz pentru 2 moduri ortogonale

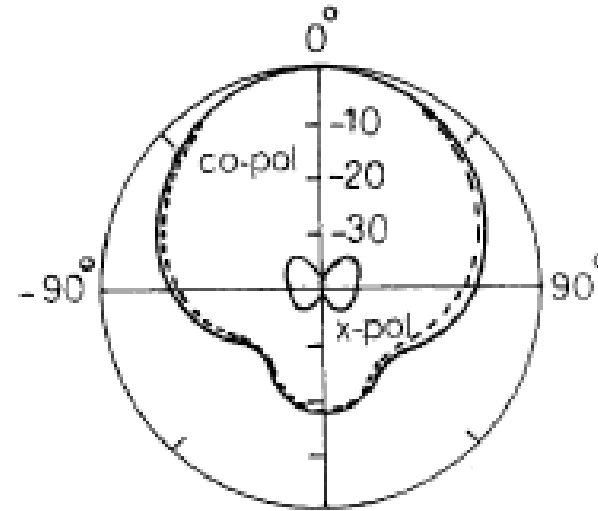
Efectele unui plan de pământare finit



(a)



(b)



(c)

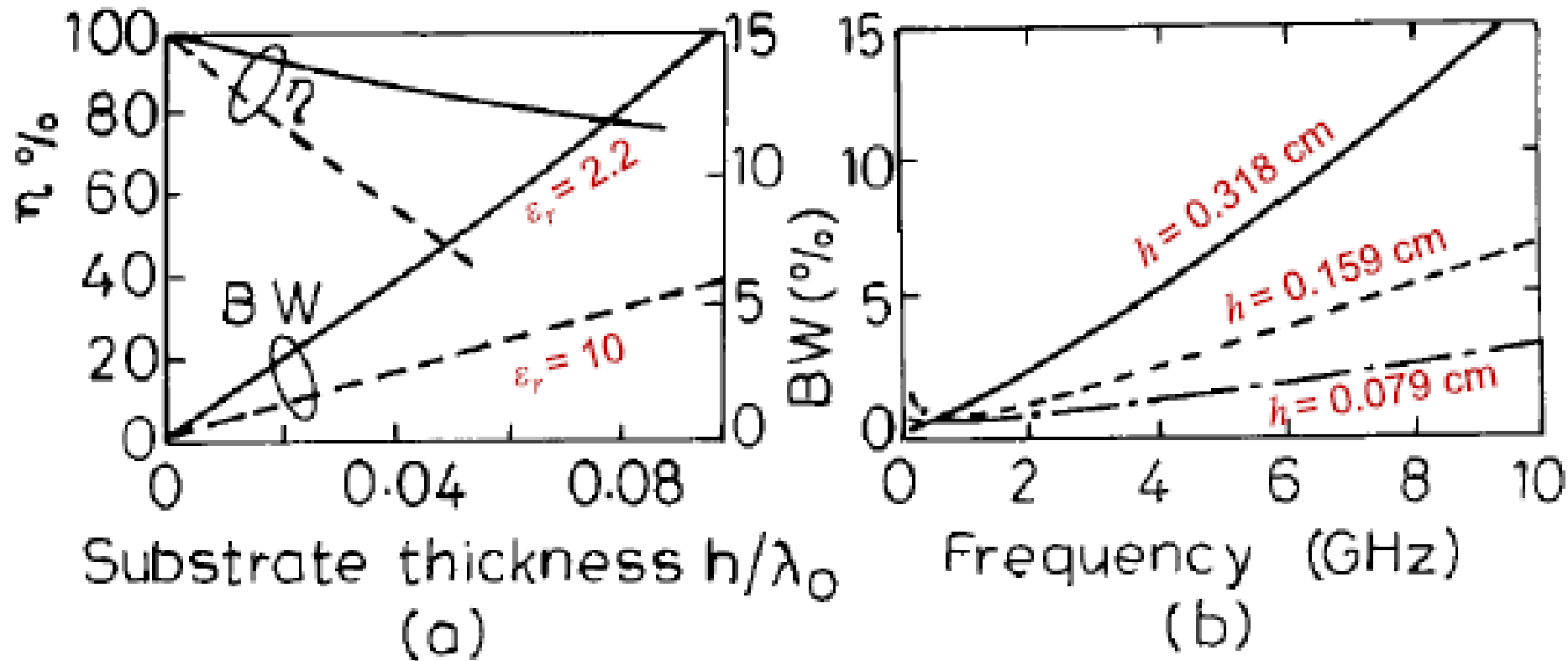
(a) impedanța de intrare și (b) VSWR pentru (—) plan de pământare finit, (---) plan de pământare infinit și (c) patternul de radiație pe planul finit de pământare (—)plan E și (---)plan H

Dimensiunile planului de pământare finit sunt date de relațiile:

$$L_g = L + 6h + 6h$$

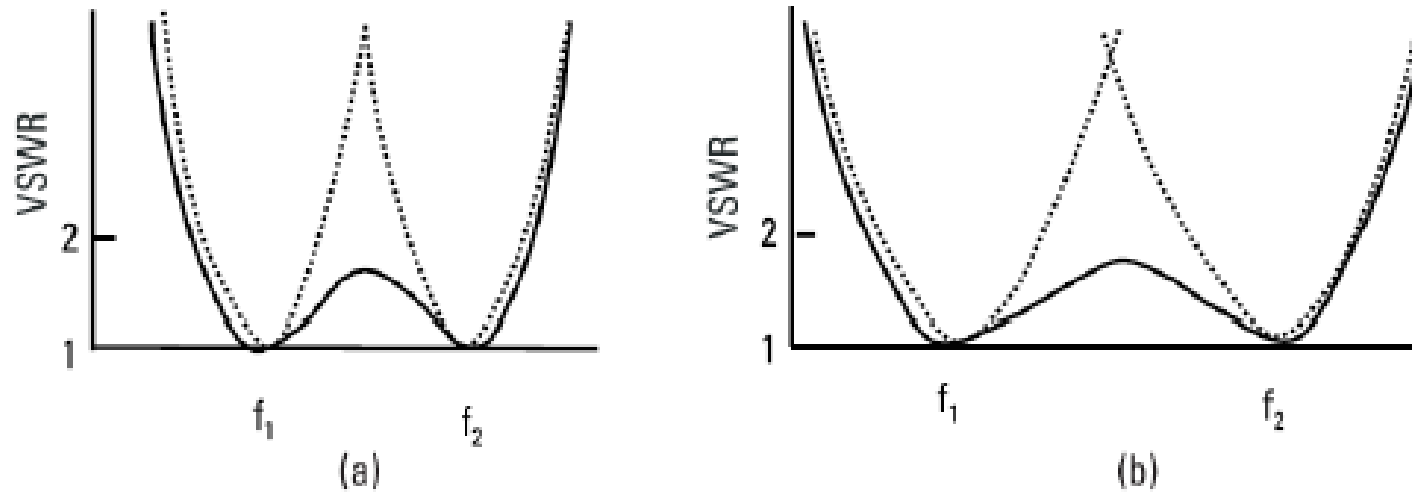
$$W_g = W + 6h + 6h$$

Lățimea de bandă – variația cu h și ϵ_r



(a) variația lățimii de bandă și a eficienței în procente a unei antene microstrip pătrate versus h/λ_0 (—) $\epsilon_r = 2.2$, (---) $\epsilon_r = 10$ și (b) variația bandei de frecvență în procente odată cu frecvența pentru cele 3 valori ale lui h și $\epsilon_r = 2.32$: (—) 0.318, (---) 0.159, (-.-) 0.079 cm.

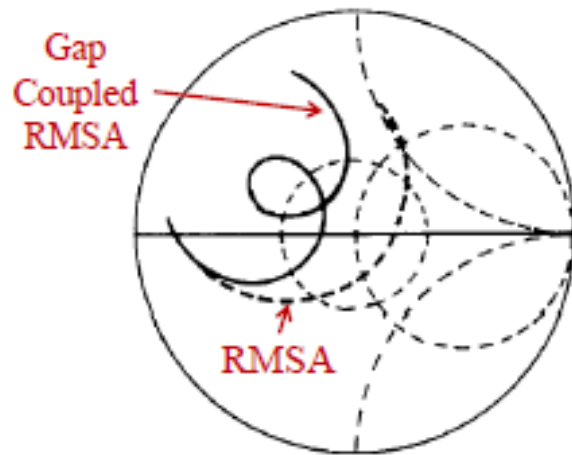
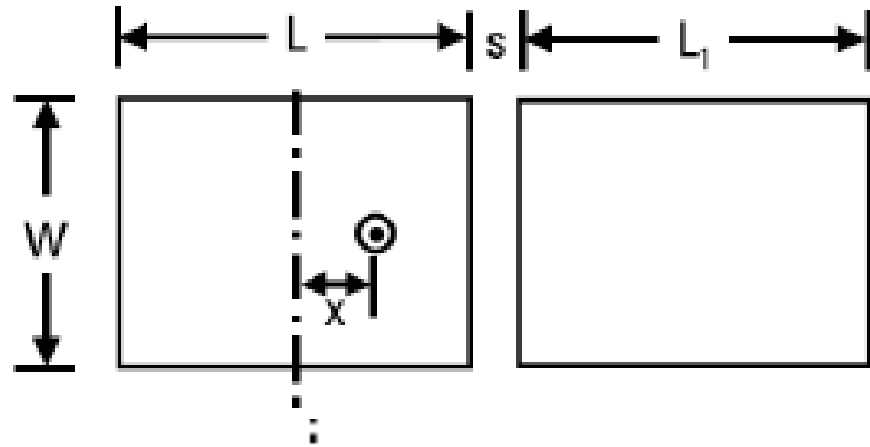
Antene microstrip cu bandă largă



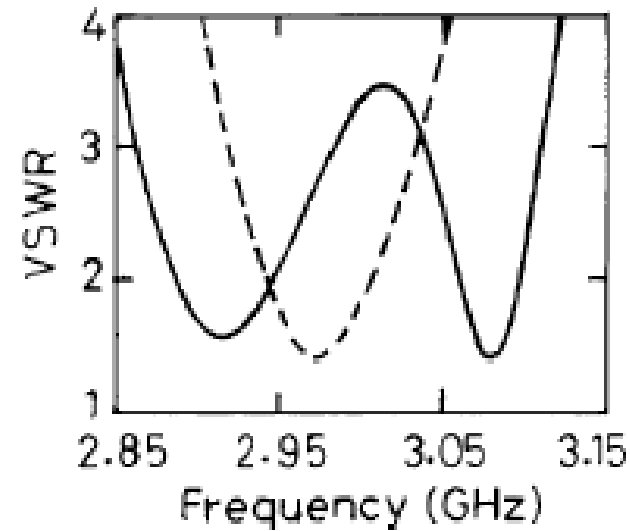
VSWR pentru 2 rezonatoare cuplate care au lăţimea de bandă: (a)îngustă și (b)largă
(....)rezonatoare individuale și (___)răspuns odată ce au fost cuplate

Două rezonatoare sunt cuplate în mod optim pentru a obține o lăţime de bandă largă

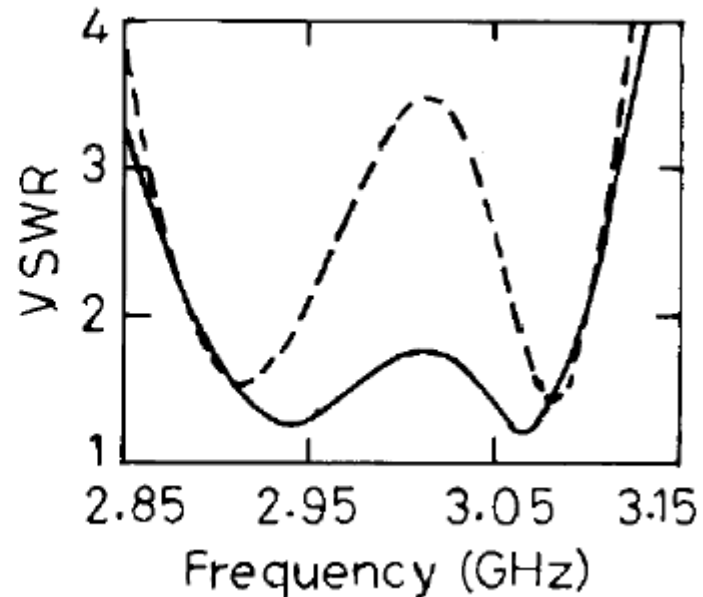
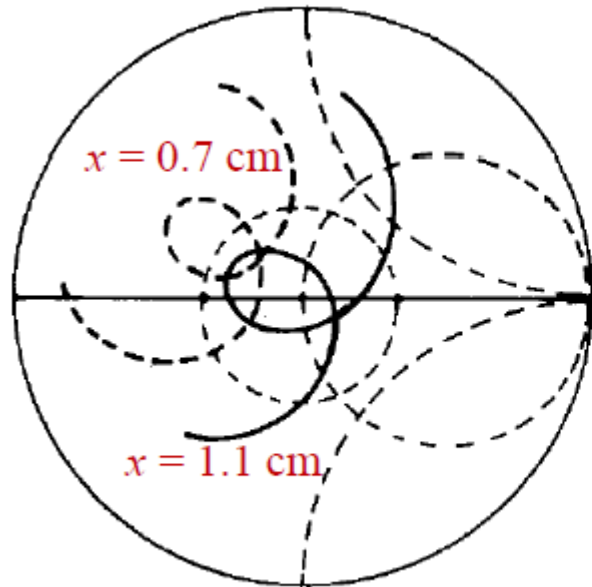
Două antene duplate printr-o distanță (gap)



$L = 3$ cm and $W = 4$ cm,
 $\epsilon_r = 2.55$ and $h = 0.159$ cm,
 $L_1 = 2.9$ cm, $W = 4$ cm,
 $s = 0.1$ cm and $x = 0.7$ cm.



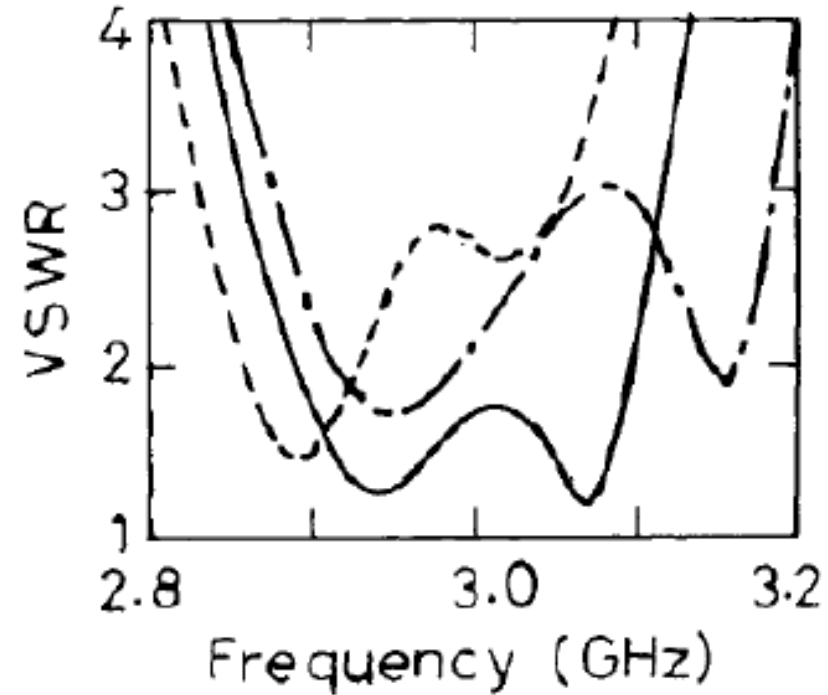
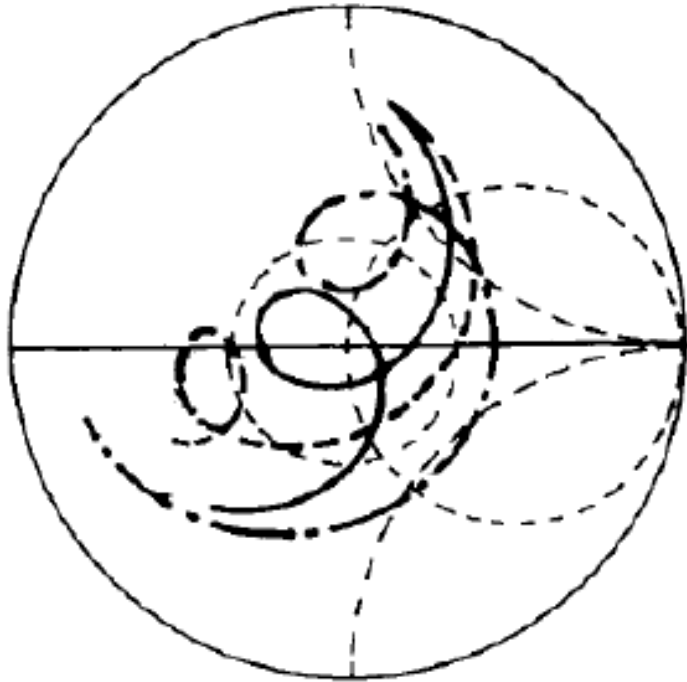
Efectul punctului de alimentare



Când x crește de la 0.7 la 1.1 cm, graficul impedanței de intrare migrează spre dreapta și bucla este în interior $\text{VSWR} = 2$ cercuri

Pentru $x = 1.1 \text{ cm}$, lățimea de bandă pentru $\text{VSWR} < 2$ este 207 MHz ($\sim 7\%$). Această lățime de bandă este de mai mult de 3 ori decât lățimea de bandă a unei singure antene microstrip dreptunghiulare.

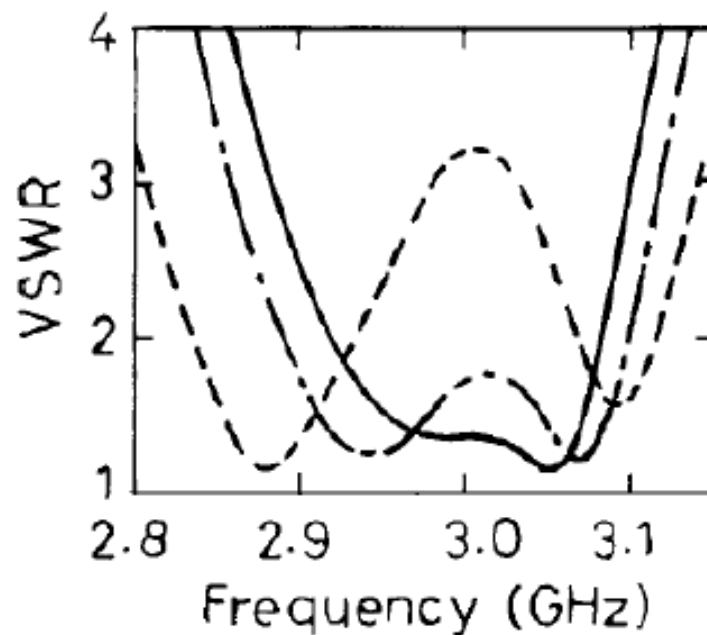
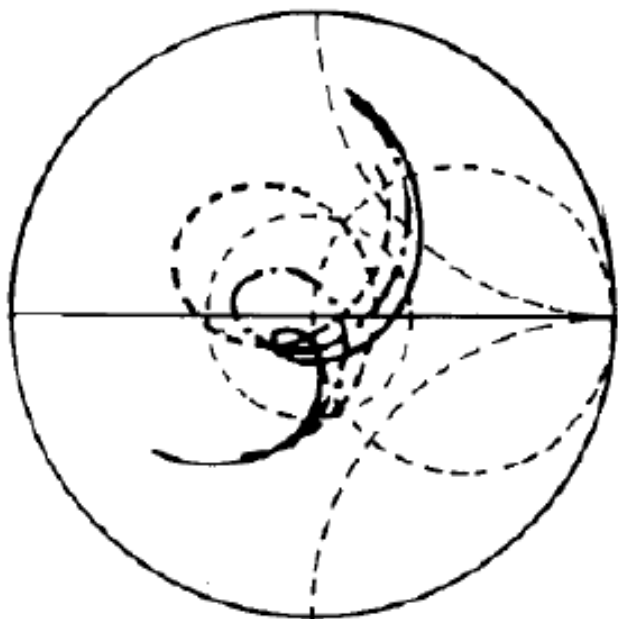
Efectul lungimii L_1



L_1 : (- - -) 2.8, (———) 2.9, and (- - -) 3.0 cm

Când L_1 descrește de la 3 la 2.8 cm, frecvența de rezonanță crește, și deci bucla din graficul impedanței de intrare se mută la valori mai mari ale frecvenței, în direcția acelor de ceasornic

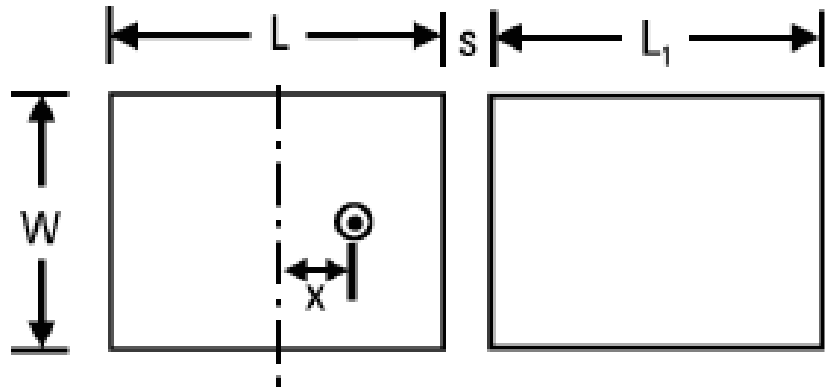
Efectul golului dintre microstripuri S



S : (- - -) 0.05, (- . -) 0.1, and (—) 0.15 cm.

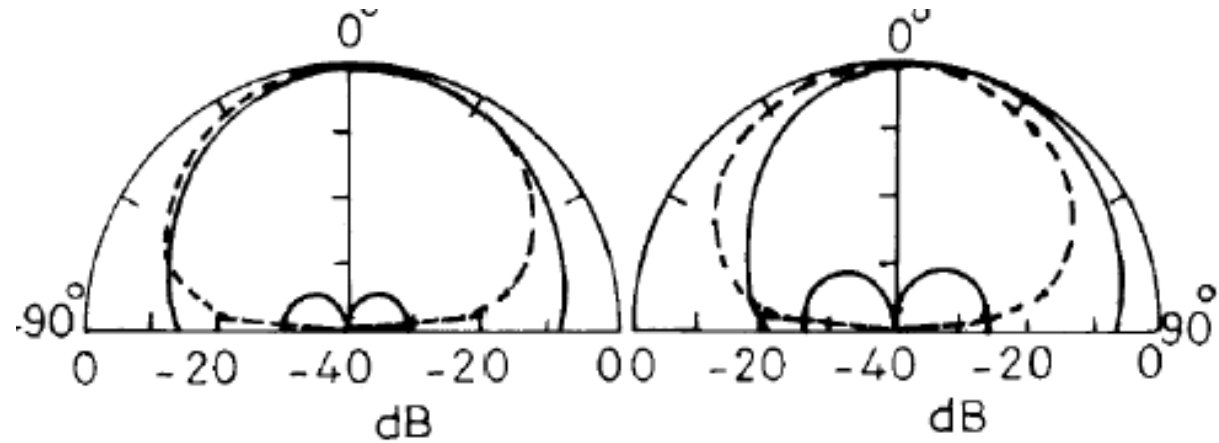
Când S crește de la 0.05 la 0.15 cm, cuplajul dintre cele 2 microstripuri este redus și deci dimensiunea buclei din graficul impedanței de intrare se reduce

Patternul de radiație



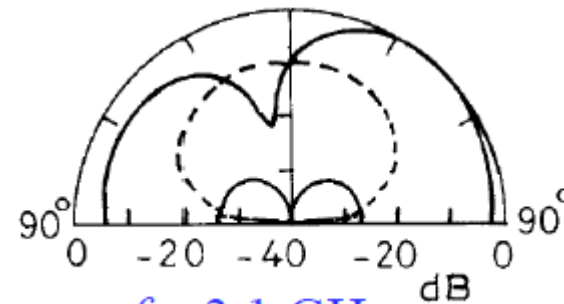
$L = 3$ cm and $W = 4$ cm,
 $\epsilon_r = 2.55$ and $h = 0.159$ cm,
 $L_1 = 2.9$ cm, $W = 4$ cm,
 $s = 0.1$ cm and $x = 1.1$ cm.

Lățimea de bandă pentru $VSWR < 2$ este 2.895 -3.102 GHz



$f = 2.9$ GHz

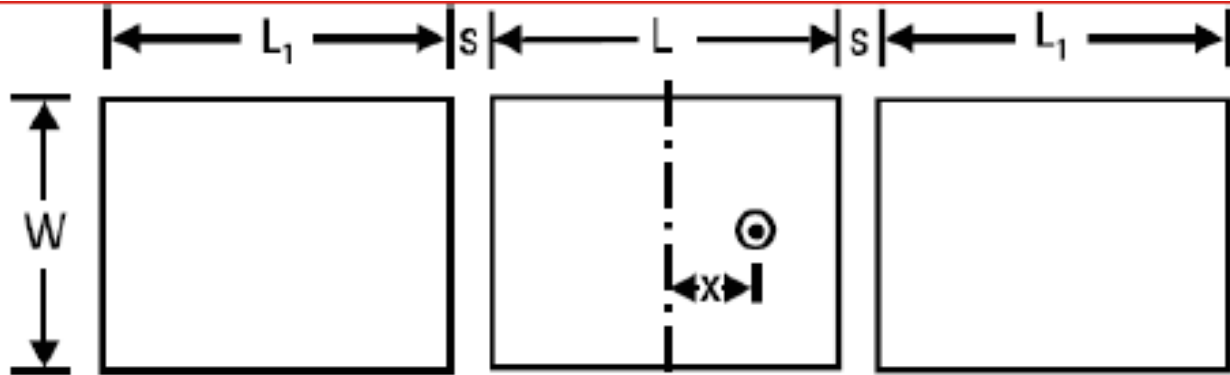
$f = 3.0$ GHz



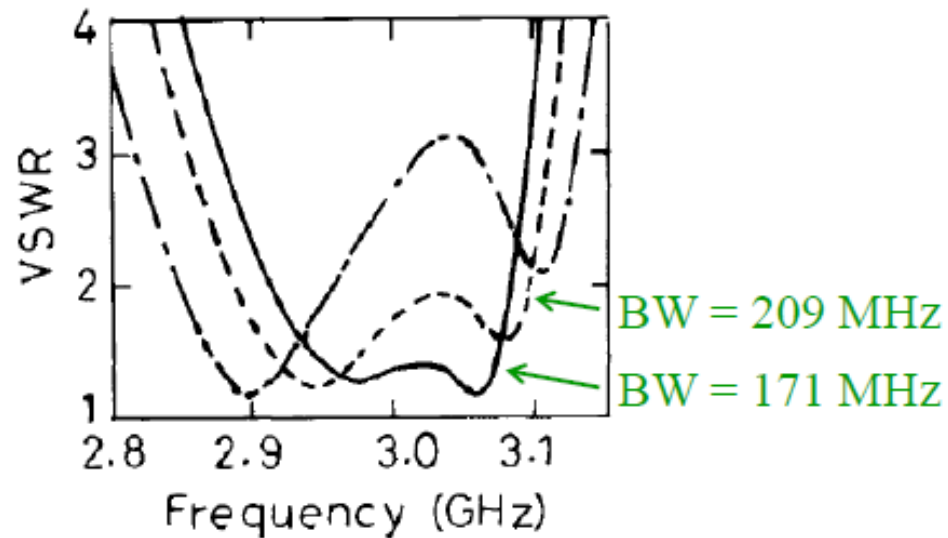
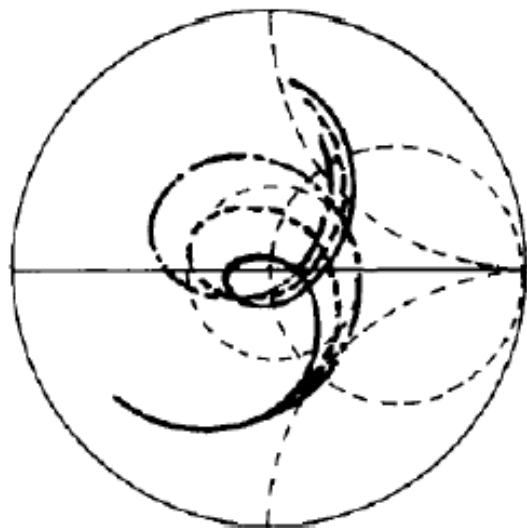
$f = 3.1$ GHz

(—) E-plane and (---) H-plane

Efectul valorii lui S

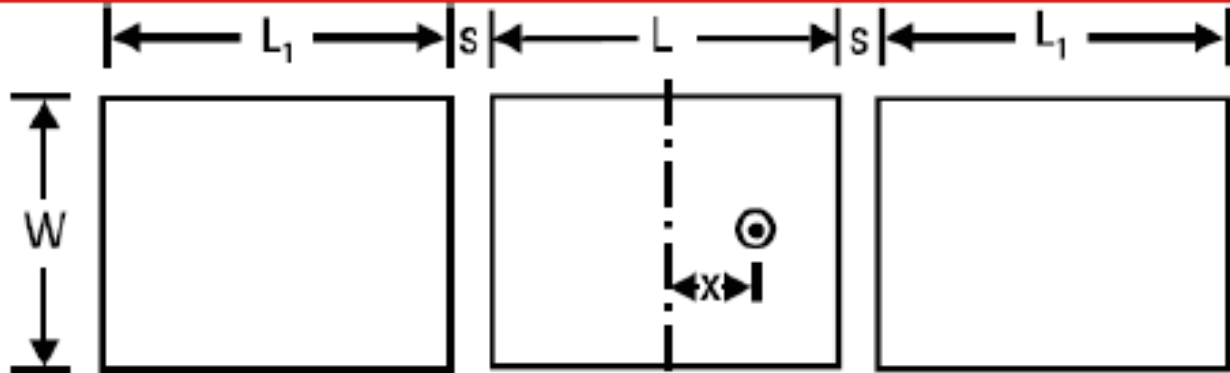


$L = 3$ cm, $W = 4$ cm, $\epsilon_r = 2.55$ and $h = 0.159$ cm,
 $L_1 = 2.9$ cm, $W = 4$ cm, and $x = 1.1$ cm.

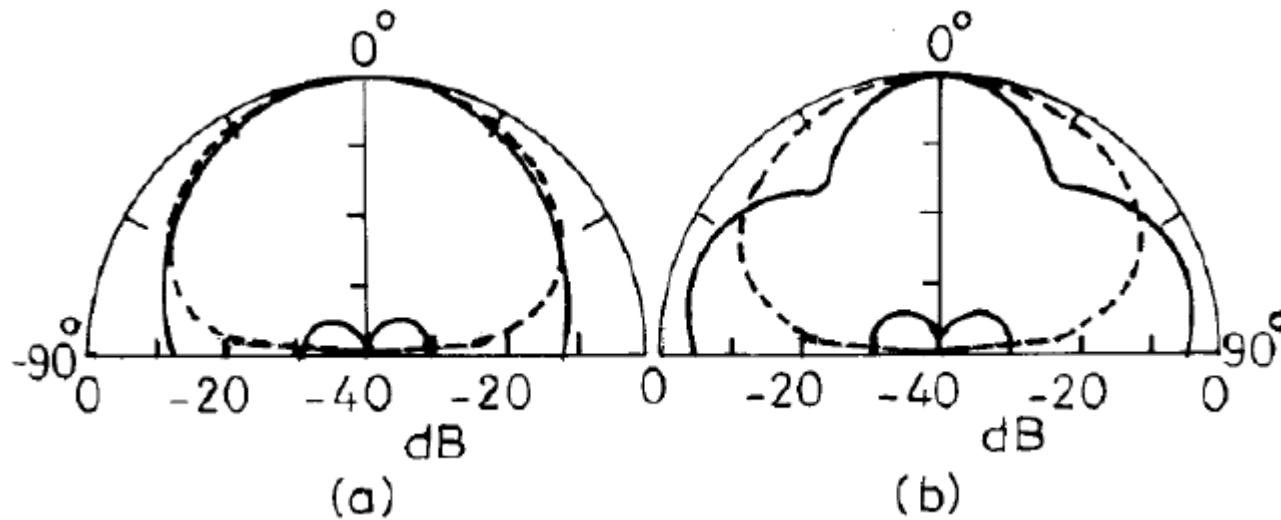


S : (---) 0.1, (---) 0.15, and (—) 0.2 cm

Patternul de radiație

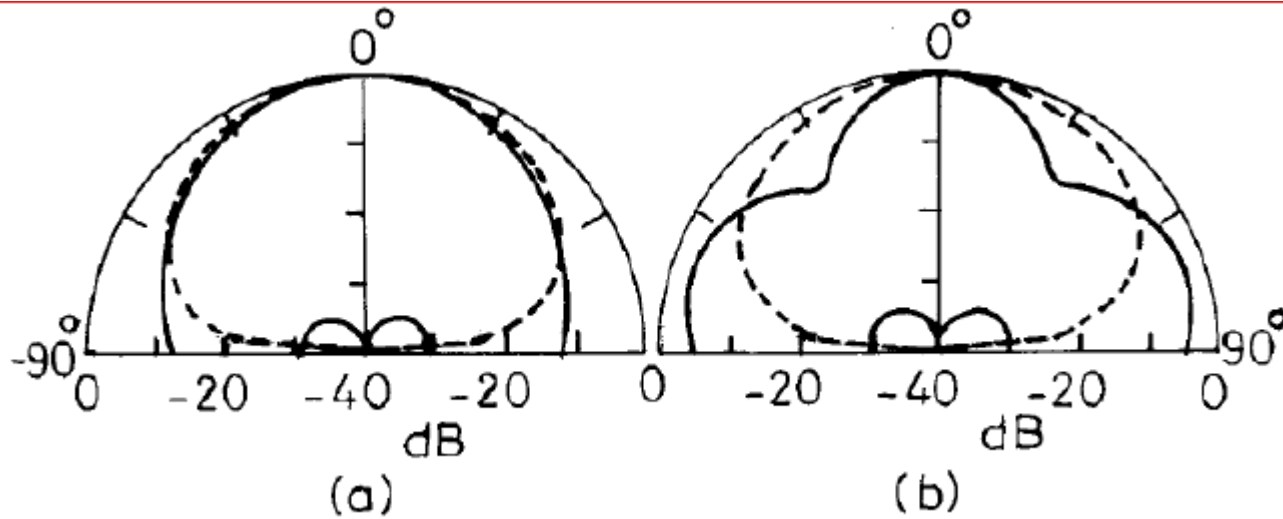


Câștigul a 3 antene microstrip cuplate este de la 9.4 dB la 3 GHz, adică cu 2.7 dB mai mult decât pentru o singură antenă microstrip dreptunghiulară



Pentru $S = 0.15$ cm, patternul de radiație la (a) 2.89 și (b) 3.09 GHz (—) plan E și (---) plan H.

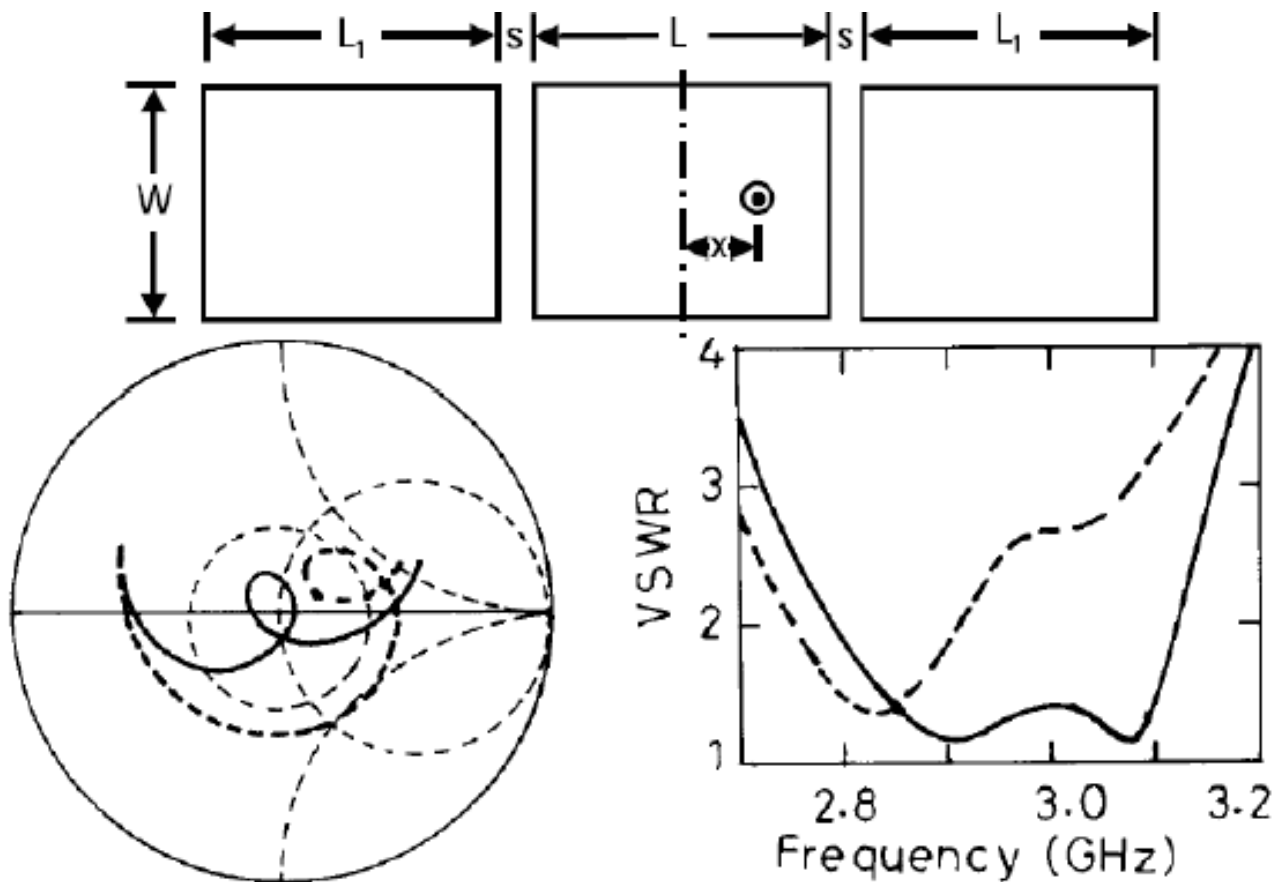
Patternul de radiație



Câștigul a 3 antene microstrip cuplate este de la 9.4 dB la 3 GHz, adică cu 2.7 dB mai mult decât pentru o singură antenă microstrip dreptunghiulară

Pentru $S = 0.15$ cm, patternul de radiație la (a) 2.89 și (b) 3.09 GHz (—) plan E și (---) plan H.

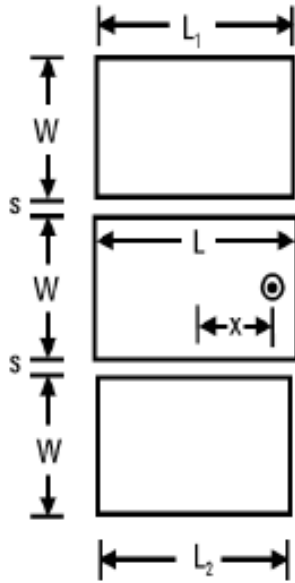
Efectul lungimii $L1$



Pentru $L1 = 27.5$ mm, bucla este complet înăuntrul cercului cu $VSWR = 2$, deci o lățime de bandă de 335 MHz (11.3%)

$h = 3.18$ mm, $\epsilon_r = 2.55$, $L = W = 30$ mm, $x = 14$ mm, $s = 3$ mm,
2 valori pentru $L1$ (- - -) 29 mm și (—) 27.5 mm

Antene microstrip cuplate non radiante

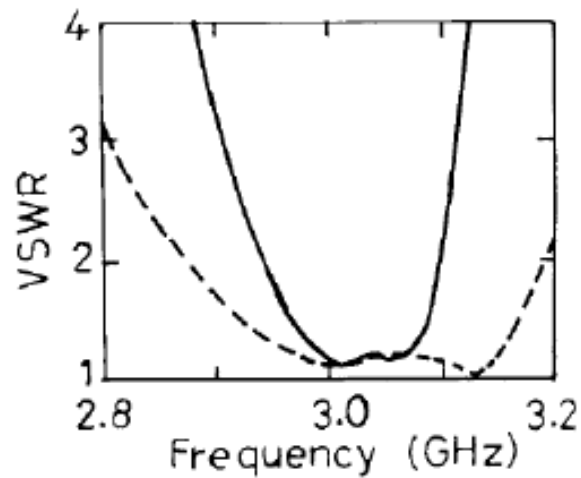
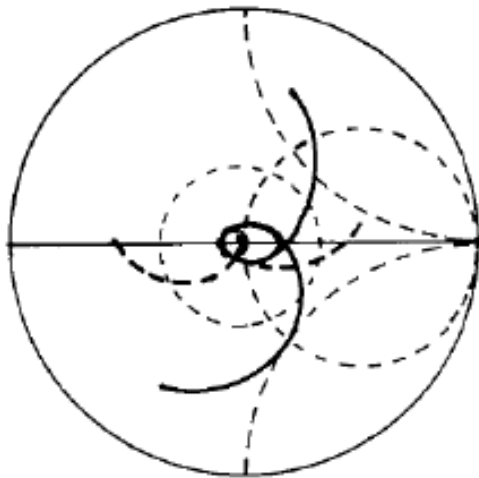


h : (—) 0.159 cm

$L = 3$ cm, $W = 4$ cm, $\epsilon_r = 2.55$ s = 0.05 cm,
 $L_1 = L_2 = 2.9$ cm, $W = 4$ cm, and $x = 1.1$ cm.

h : (- - -) 0.318 cm

$L = 3$ cm, $W = 3$ cm, $\epsilon_r = 2.55$ s = 0.05 cm,
 $L_1 = L_2 = 2.7$ cm, $W = 3$ cm, and $x = 1.4$ cm.



h : (—) 0.159 cm

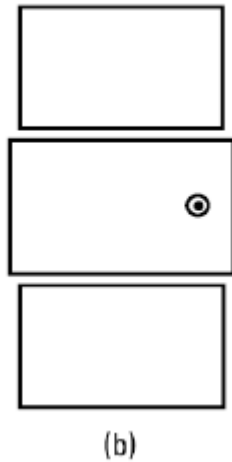
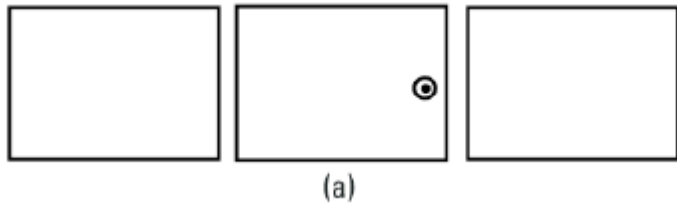
BW = 159 MHz (5.3%)

h : (- - -) 0.318 cm

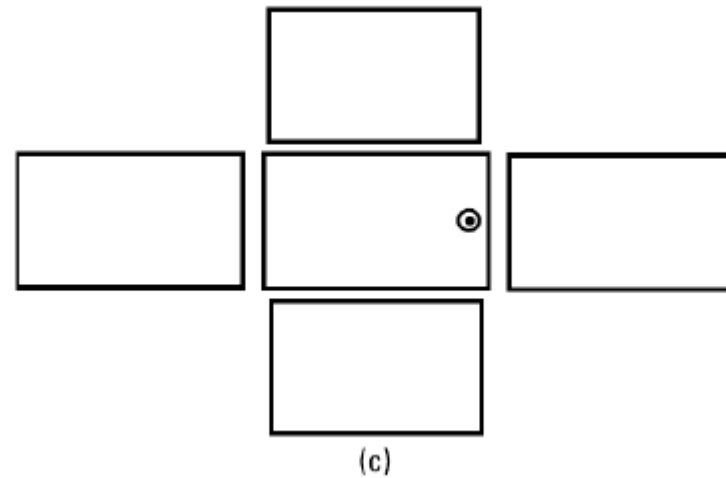
BW = 390 MHz (12.7%)

Configurații cuplate de antene microstrip dreptunghiulare

Radiante

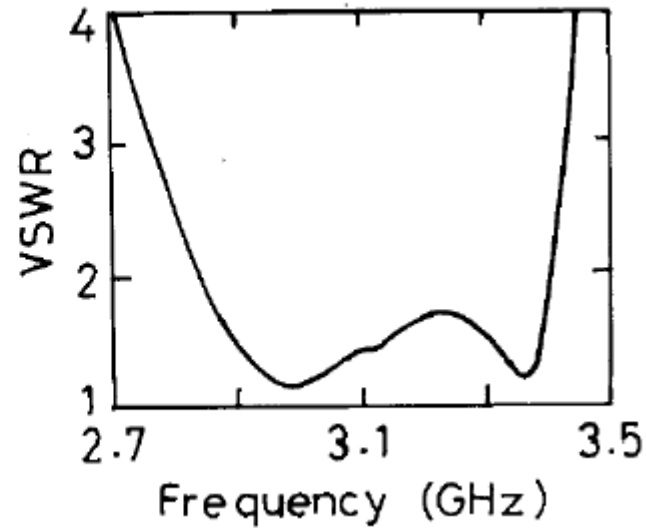
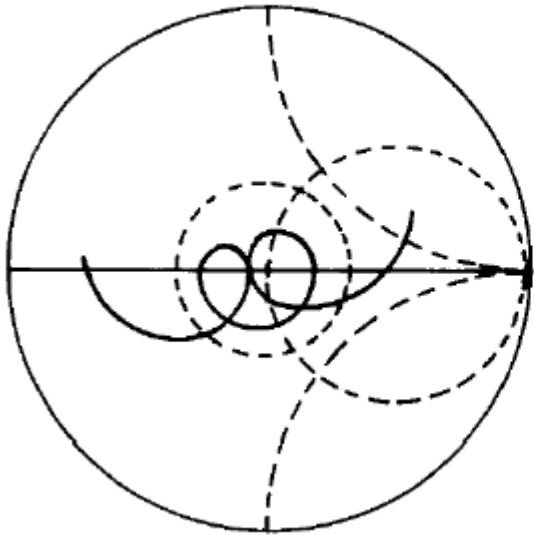


Non-Radiante



Cuplate în 4 margini

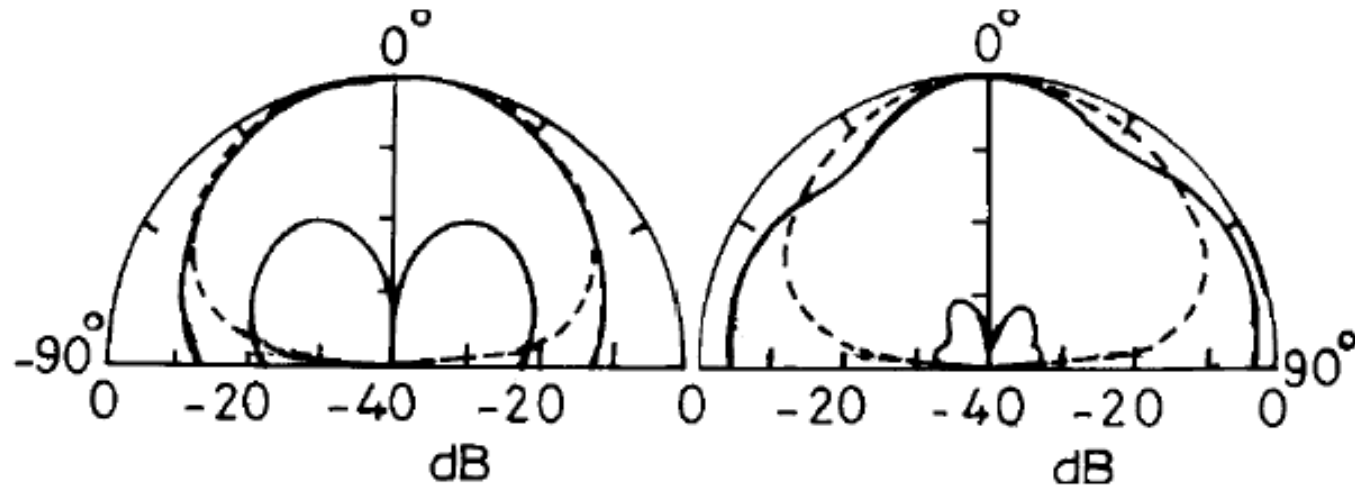
Antene microstrip dreptunghiulare cuplate în 4 margini



$$\begin{aligned}\epsilon_r &= 2.55, h = 3.18 \text{ mm}, L = W = 30 \text{ mm}, \\ L_1 &= 27.5 \text{ mm}, s_1 = 2.5 \text{ mm}, \\ L_2 &= 25.5 \text{ mm}, s_2 = 0.5 \text{ mm}, x = 14 \text{ mm}\end{aligned}$$

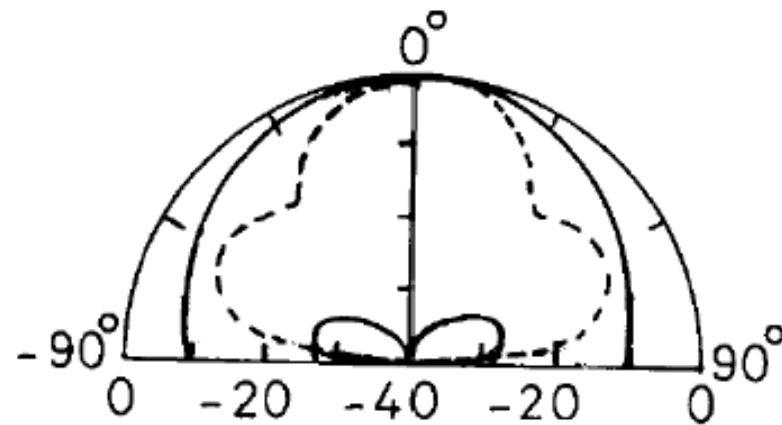
Două bucle în Smith chart în interiorul cercului $VSWR = 2$.
Lăţimea de bandă pentru $VSWR < 2$ este 569 MHz (18%)

Antene microstrip dreptunghiulare cuplate în 4 margini – pattern de radiație



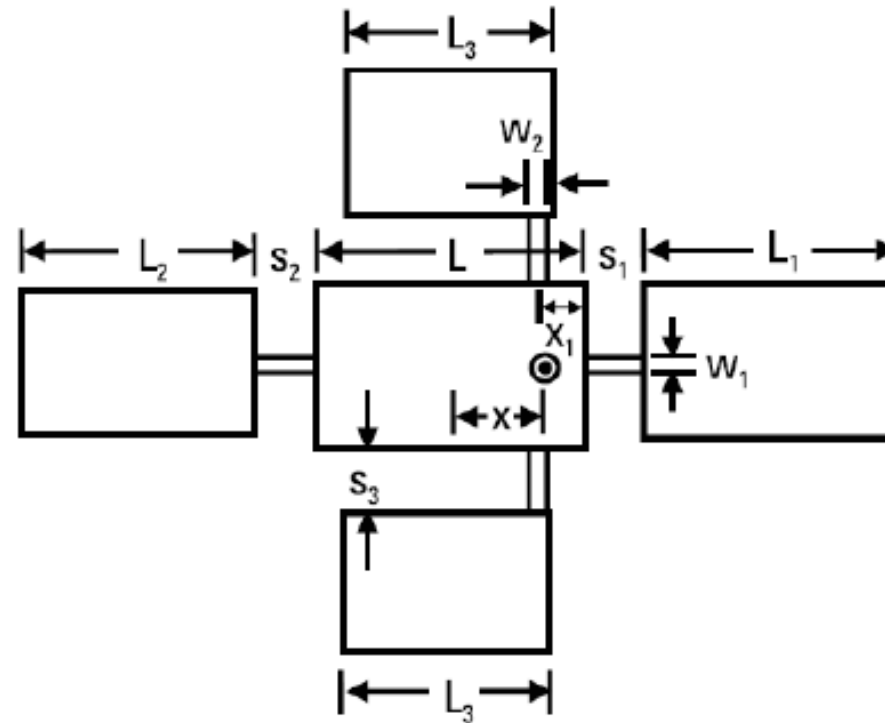
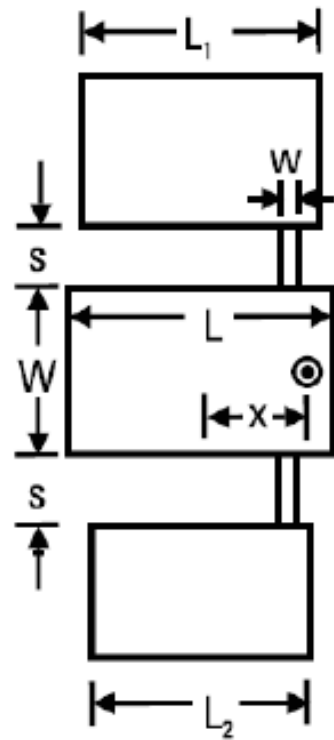
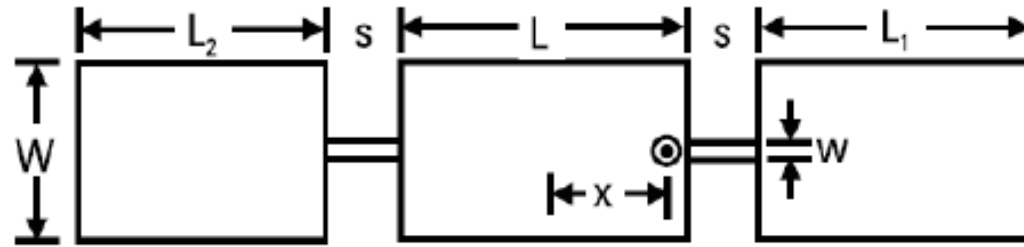
2.84 GHz

3.12 GHz

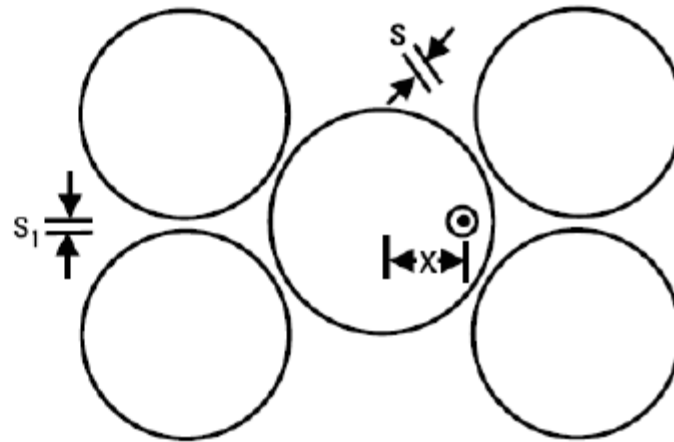
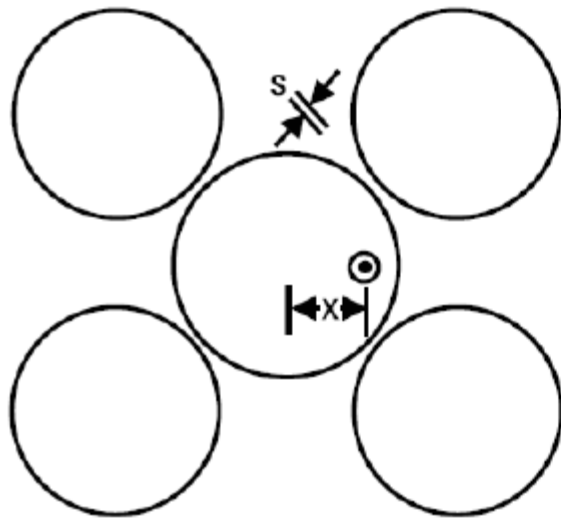
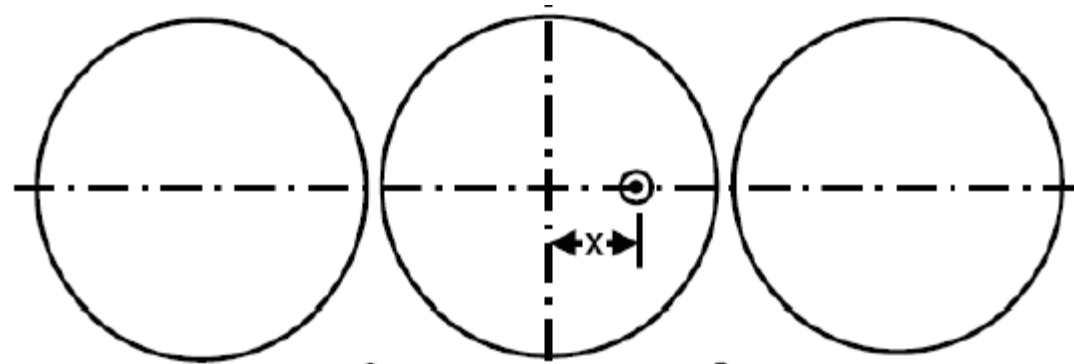


3.40 GHz

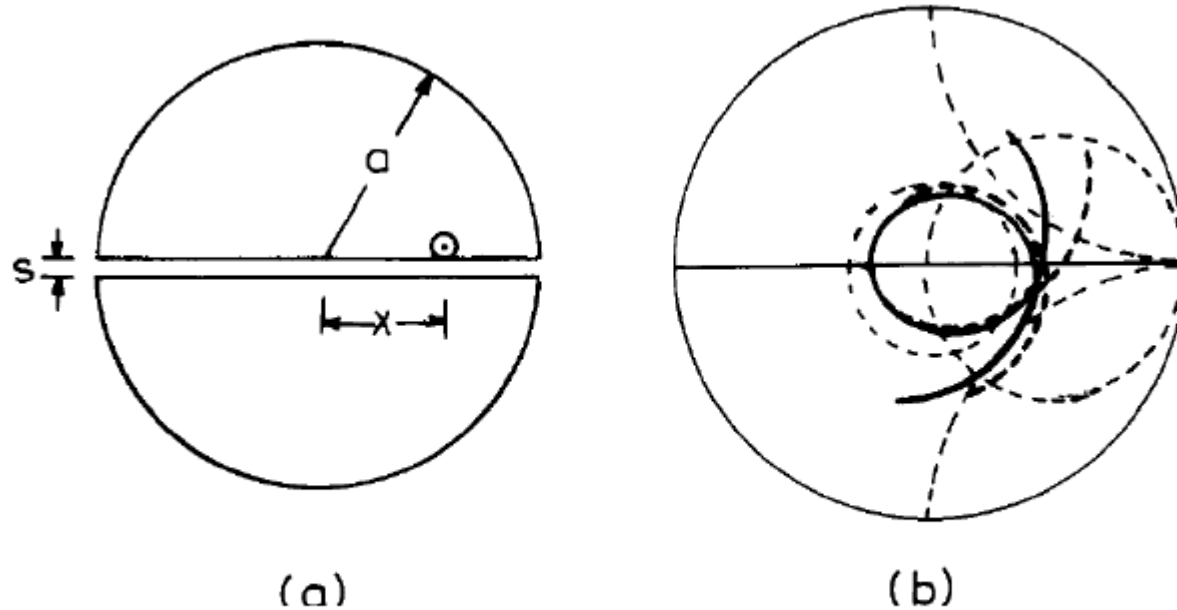
Antene microstrip dreptunghiulare cuplate direct



Antene circulare de tip microstrip cuplate la distanță (gap)



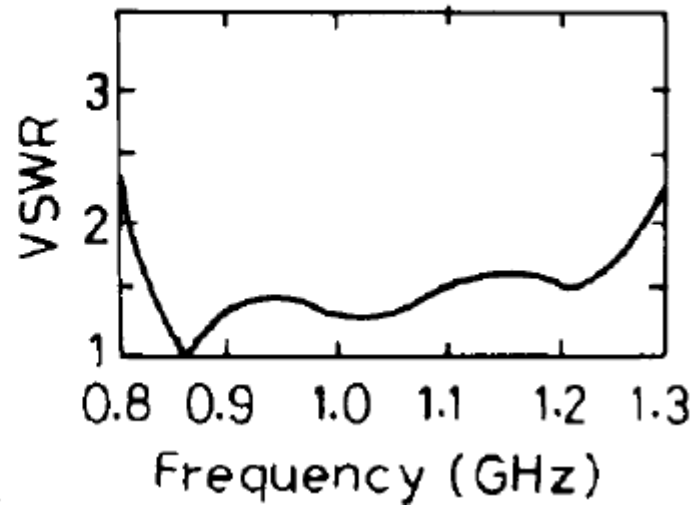
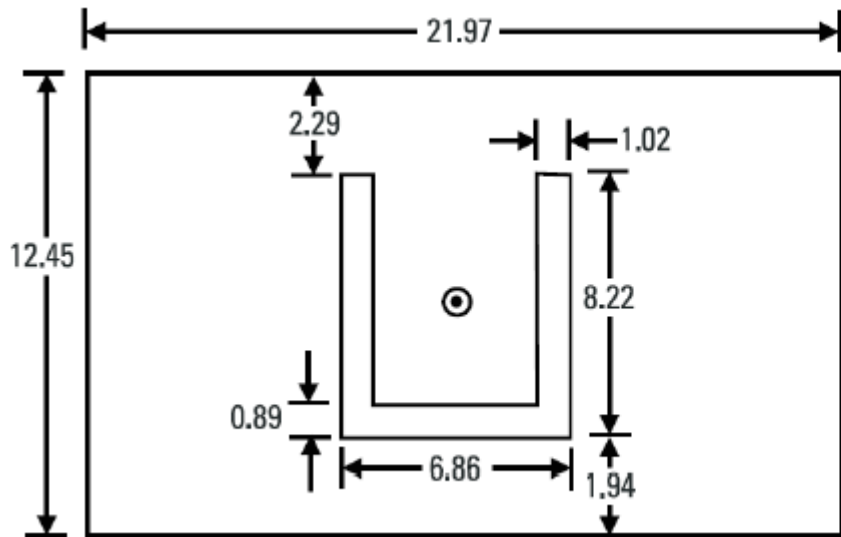
Antene semicirculare de tip microstrip cuplate la distanță (gap)



(a) Two gap-coupled SCMSA and (b) its input impedance plot: (- - -) theoretical and (—) measured.

Lățimea de bandă pentru $VSWR < 2$ este 143 MHz - 2.72 GHz, care este mai mult decât dublul unei antene circulare microstrippe același substrat dar câștigul nu este uniform pe lățimea de bandă.

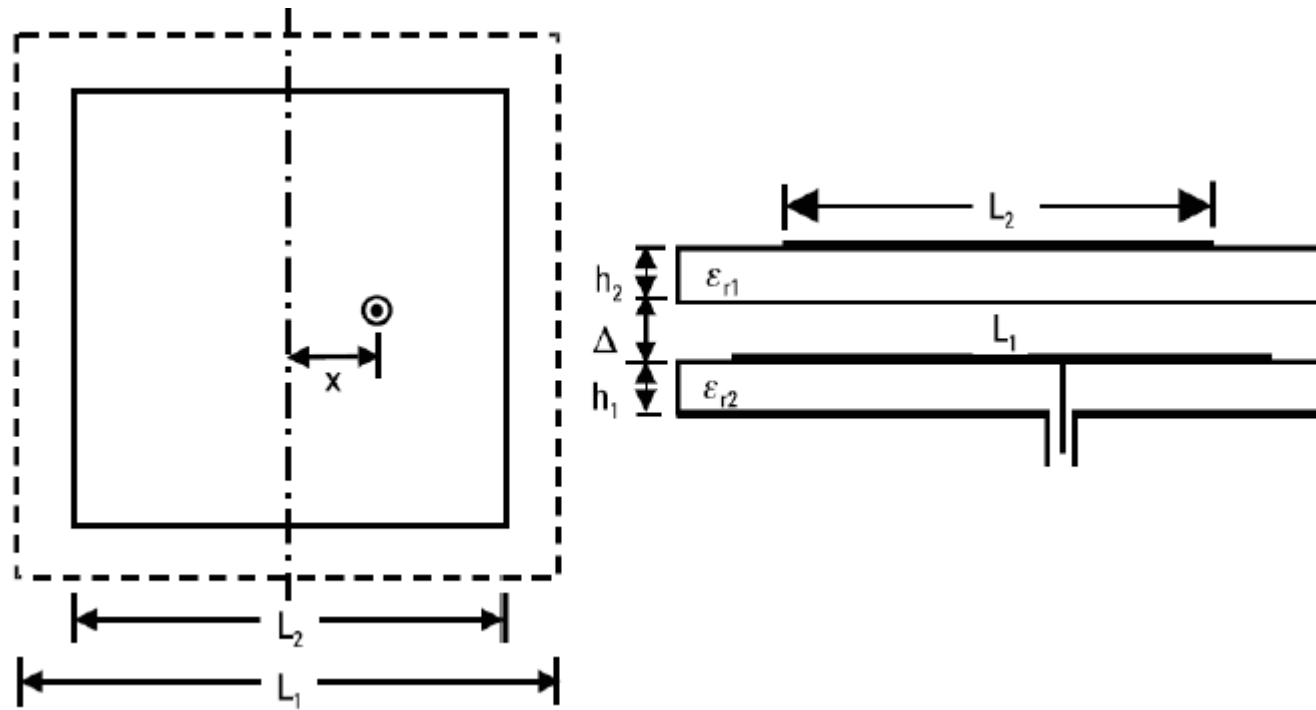
Antene microstrip dreptunghiulare cu un slot în formă de U



Prin tăierea unei fante în formă de U în antenă, lăţimea de bandă este crescută fără a creşte volumul antenei. Rezonanţa ar trebui să rămână aproximativ aceeaşi.

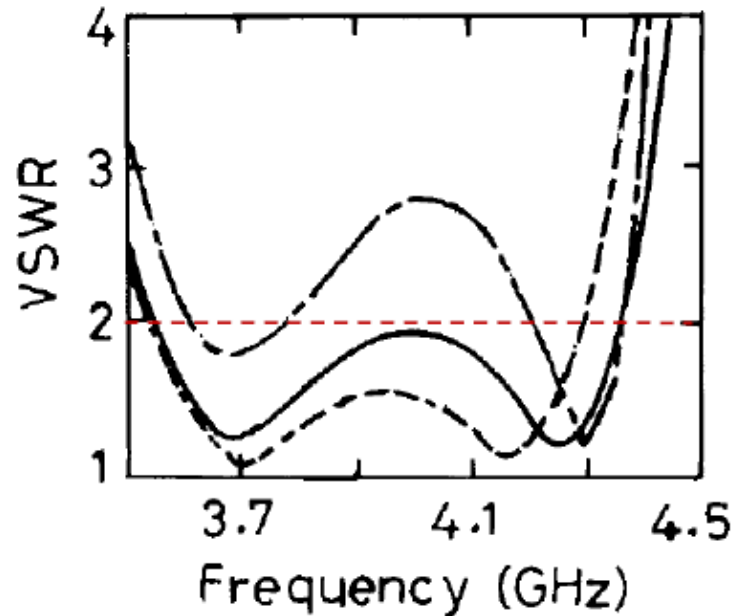
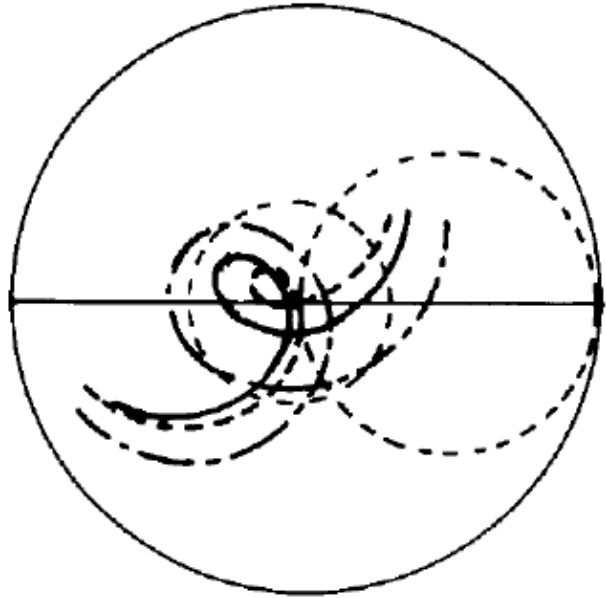
Dezavantaj – câştigul nu este uniform pe întreaga lăţime de bandă

Antene microstrip dreptunghiulare cuplate electromagnetic



Frecvența de rezonanță a patchului de sus ar trebui să fie puțin mai mare decât cea a patchului de jos.

Antene microstrip dreptunghiulare cuplate electromagnetic

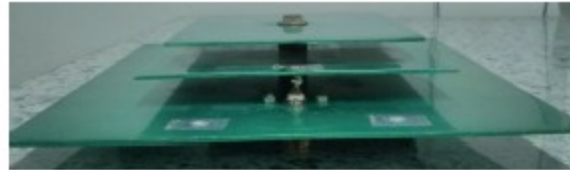
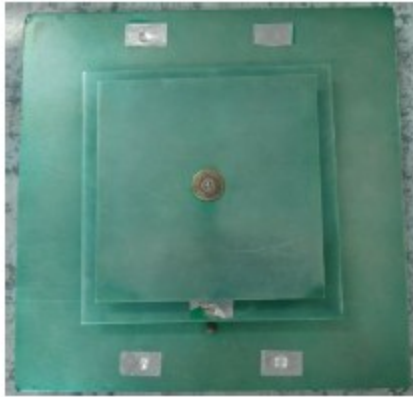


$L_1 = 2.5$ cm, $L_2 = 2.5$ cm, $x = 1.1$ cm, $\epsilon_r = 2.22$, $h = 0.159$ cm

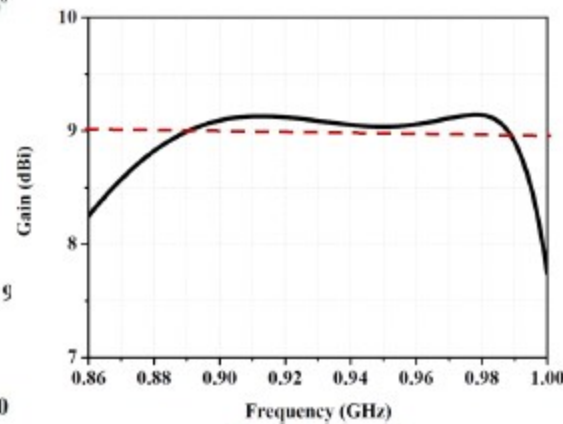
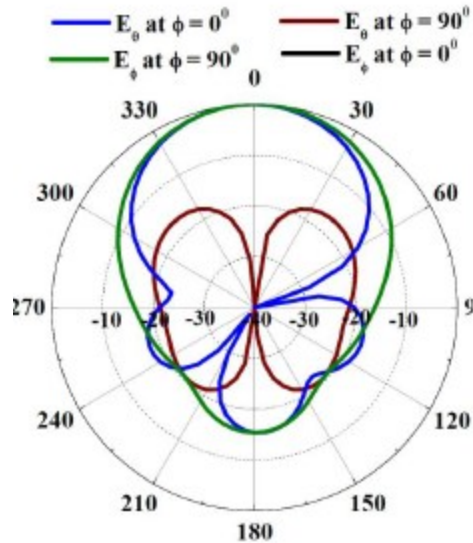
Gap Δ : (---) 0.1 cm, (—) 0.3 cm, and (- - -) 0.4 cm

Lățimea de bandă pentru $VSWR < 2$ este 816 MHz (20.6%) pentru $gap = 0.3$ cm
Și câștigul este 8.3 dB la 3.95 GHz.

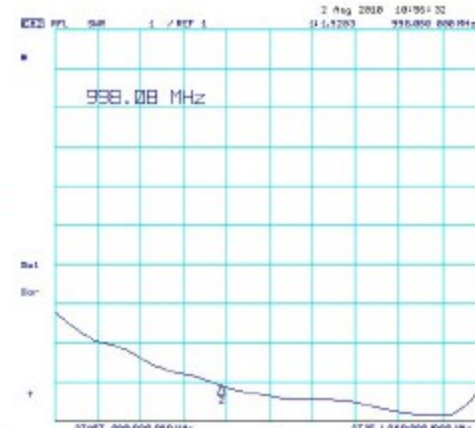
Antene microstrip dreptunghiulare cuplate electromagnetic (GSM 900)



$L_1 = 15.2\text{cm}$, $L_2 = 12.8\text{cm}$, $\Delta_1 = 1.1\text{cm}$,
 $\Delta_2 = 1.3\text{cm}$, $x = 6.5\text{cm}$, and $L_g = 24\text{cm}$



Gain \approx 9dB



Measured BW for
 VSWSR \leq 2 is from
 872 to 1000 MHz

Monopol triunghiular de bandă largă – recoltare RF



1. Telefonul mobil emite unde RF (GSM, LTE, Wi-Fi). Aceste unde sunt sursa de energie electromagnetică disponibilă în aer.
2. Antena monopolară triunghiulară captează energia RF. Triangular monopole = antenă wideband, foarte eficientă pentru captarea energiei din multiple benzi. Acest tip de antenă este folosit și în cercetări de recoltare RF, inclusiv în rectenne broadband .
2. Semnalul RF captat este trimis către un circuit de redresare (rectifier). Într-un sistem complet, acest circuit transformă energia RF în energie DC utilizabilă. Literatura arată că rectificarea este esențială în orice sistem de energy harvesting RF .
3. Voltmetrul măsoară tensiunea DC rezultată. În imagine se văd ~6–7 V, valori similare cu cele raportate în experimente cu rectenne eficiente

Array (matrice) de antene microstrip

- Pot fi alimentate în unul dintre următoarele moduri:
 - Serie
 - Paralel
 - Serie și paralel

Alimentare serie

Avantaje:

- reduce lungimea alimentării
- reduce pierderile
- lobi laterali mai mici

Dezavantaje:

- radiație deformată odată cu frecvența
- lățime de bandă îngustă

Alimentare paralel

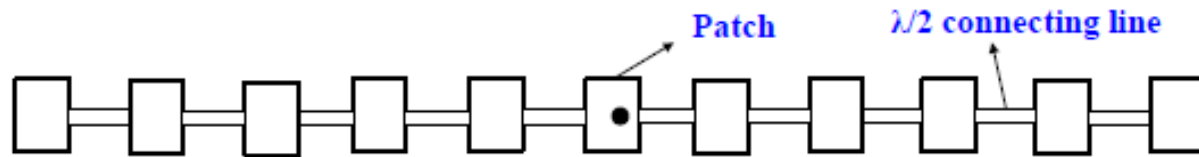
Avantaje:

- Putere egală pe tot elementul
- lățime de bandă mai largă
- modular

Dezavantaje:

- Pierderi mai mari la alimentare

Alimentarea serie a unui array de antene microstrip



Antenna at Ka-Band

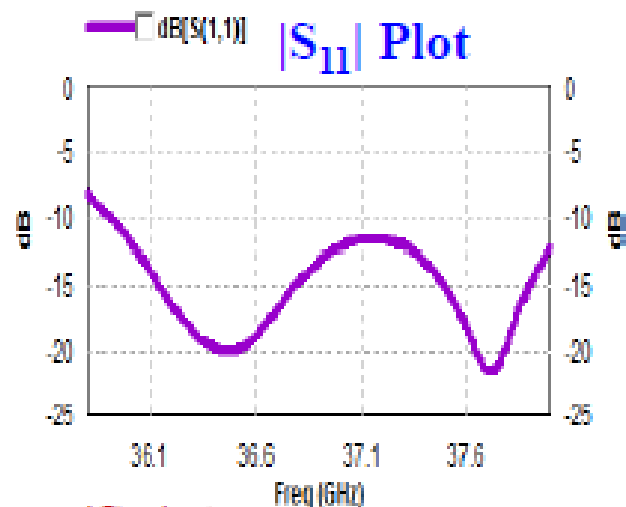
RT 5880 substrate:

$\epsilon_r = 2.2$, $h = 0.254\text{mm}$

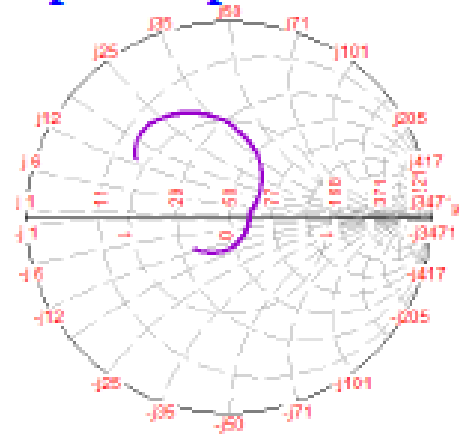
and $\tan\delta = 0.0015$

Elements	Value (mm)
Patch Length (pl)	2.68
Patch Width (pw)	3.2
Connecting line length (cl)	2.77
Connecting line width (cw)	0.4
Space between patches	5.45

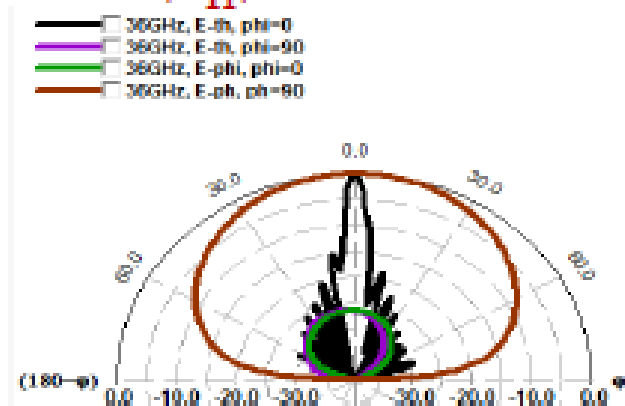
Alimentare serie a unui array de 23x1 antene de bandă Ka



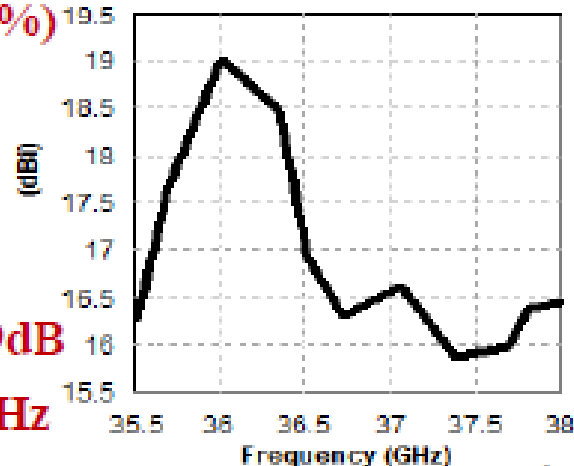
Input Impedance Plot



BW for $|S_{11}| \leq -10\text{dB}$ -35.9 to 38 GHz (5.6%)



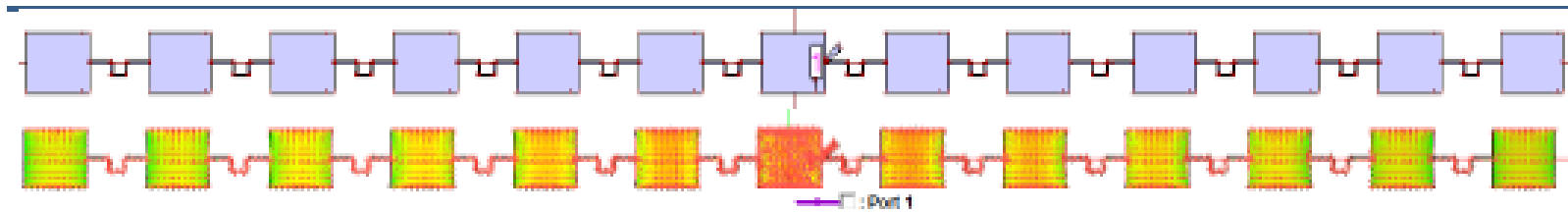
Radiation Pattern at 36GHz



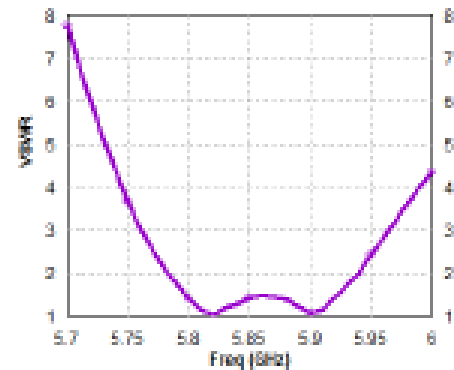
**Gain: 19dB
at 36 GHz**

Gain vs Frequency plot

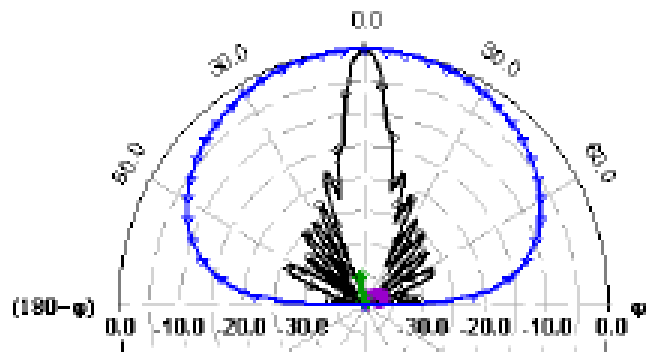
Alimentare serie a unui array de 13x1 antene la 5,8 GHz



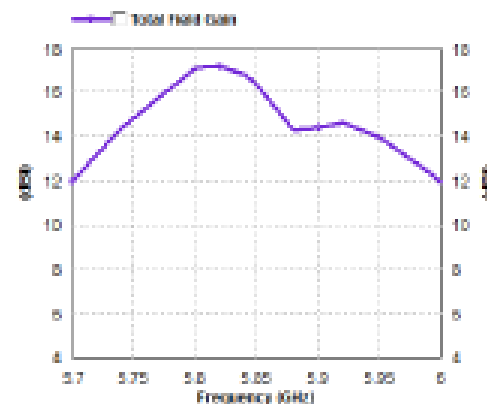
Patch Length = 16.84mm
Patch width = 12.7mm
Feed line length = 18.85mm
Inter element spacing = $0.6\lambda_0$



BW for
 $VSWR \leq 2$ is
5.78 to 5.94 GHz

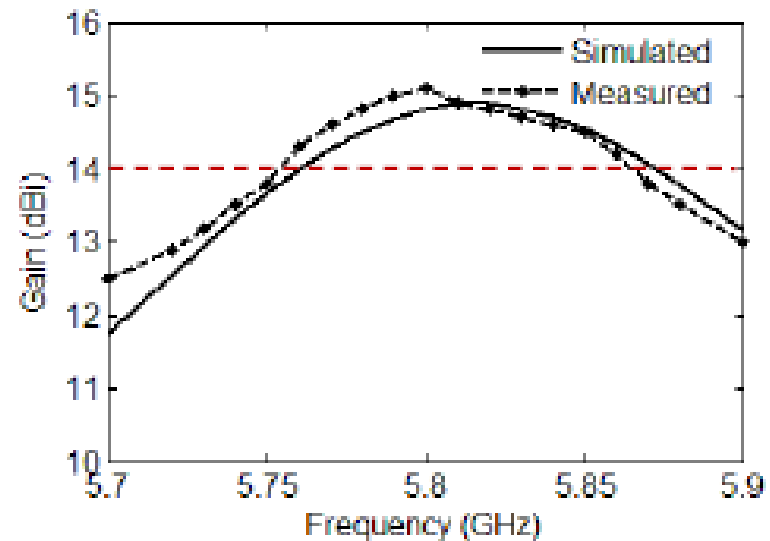
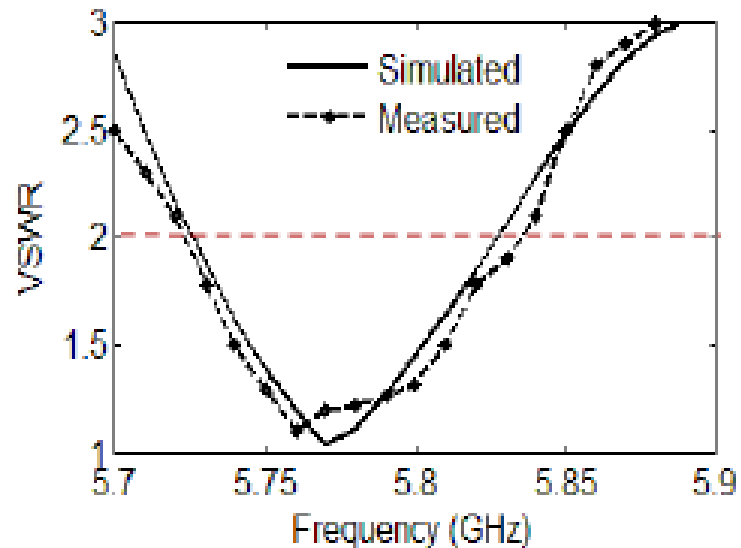
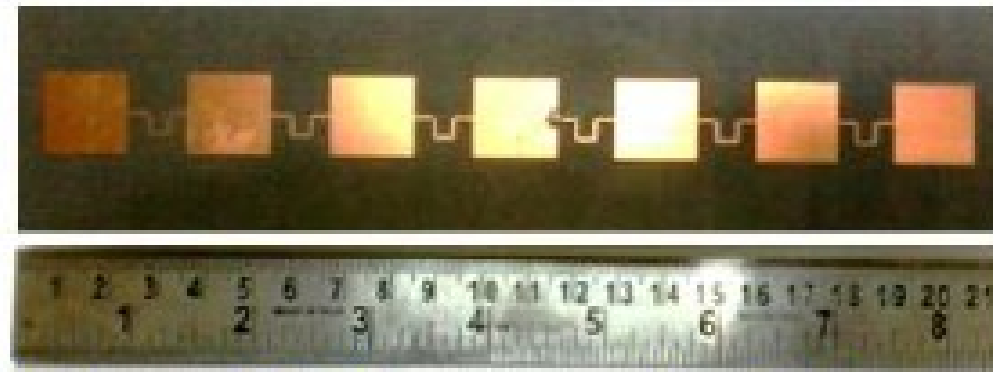


Radiation Pattern at 5.8GHz

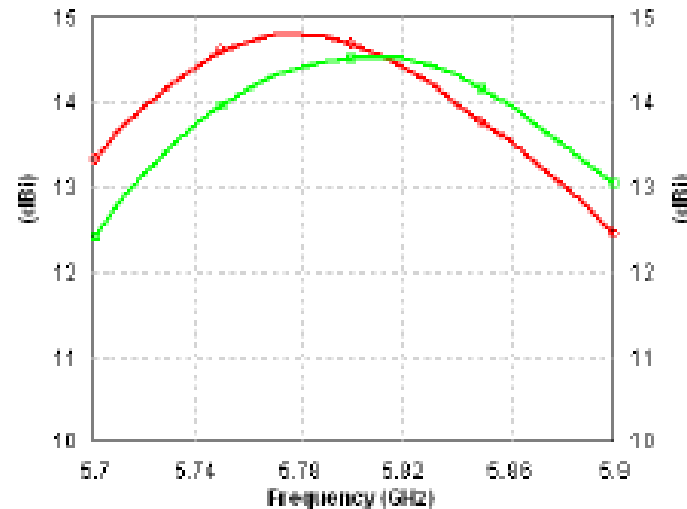
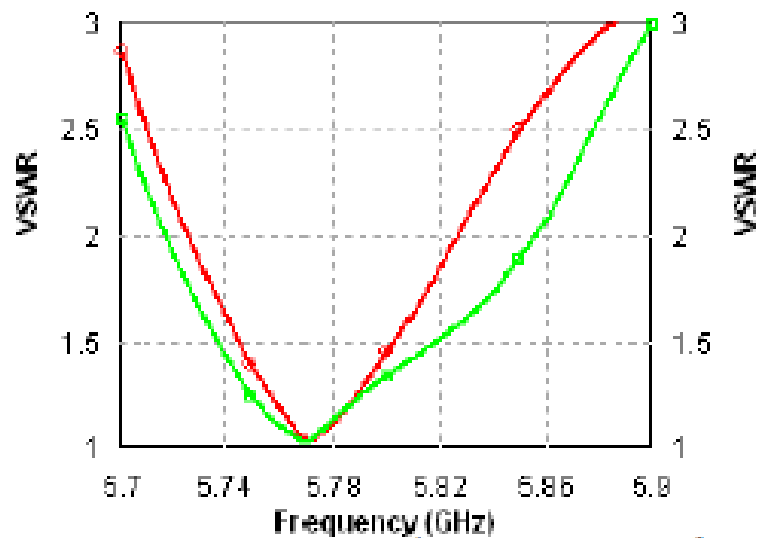
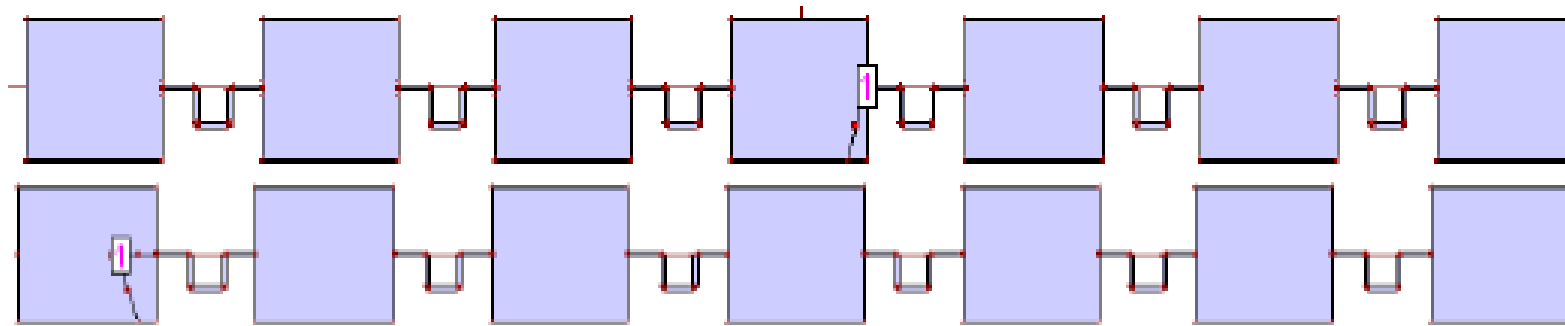


Max Gain
at
5.82 GHz
is ≈ 17 dB

Alimentare serie a unui array de 7x1 antene la 5,8 GHz

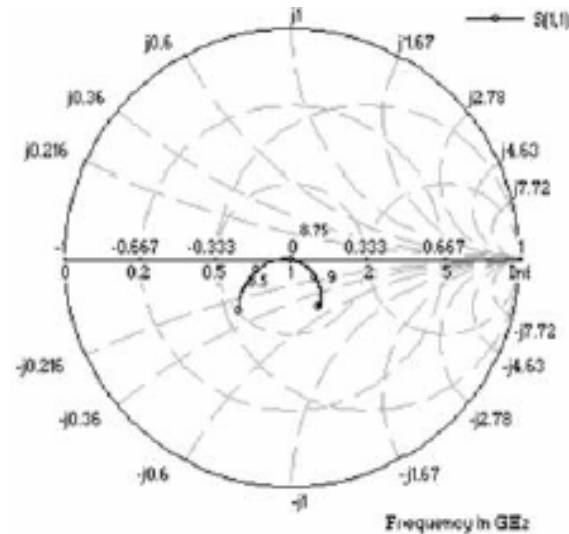
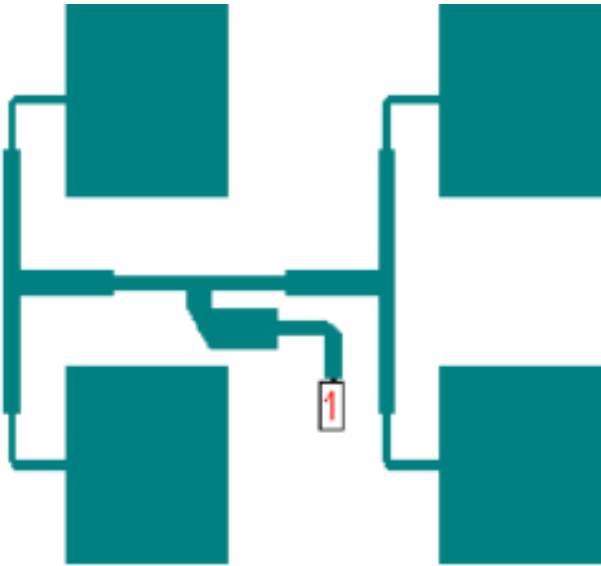


Comparație între array de antene alimentat central sau marginal



(—○— Central Feed, —■— End Feed)

Alimentare paralel a unui array la X-Band



Input Impedance Plot

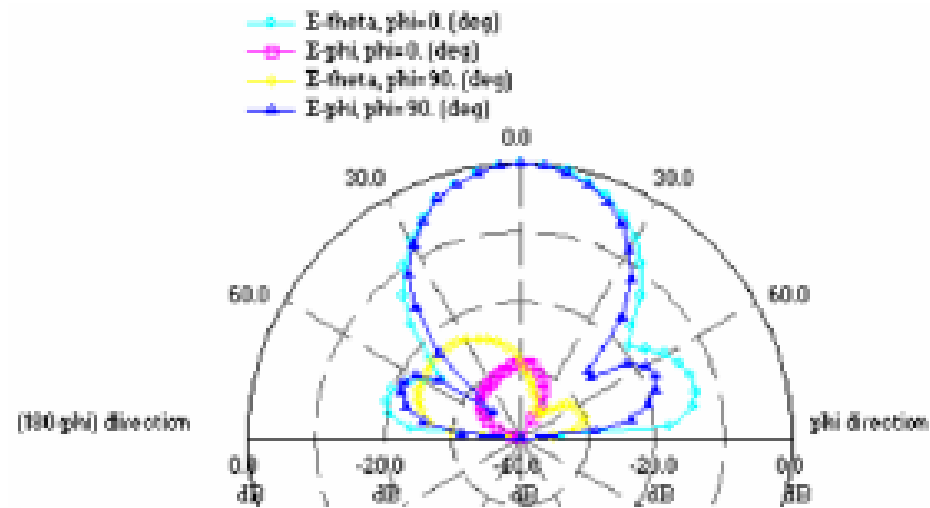
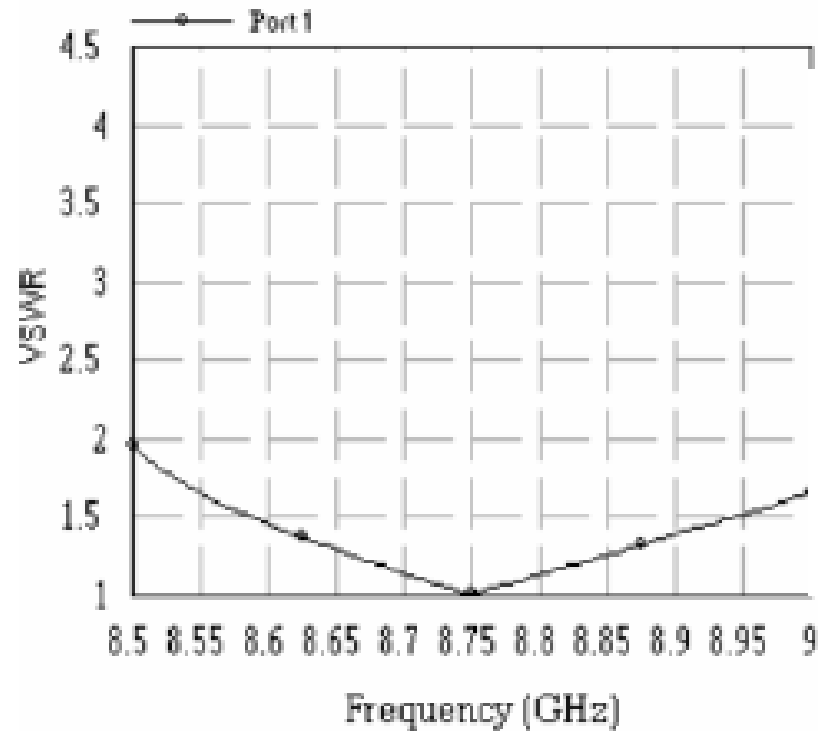
X-band antenna designed at $f = 8.75$ GHz

Substrate: RT Duroid 5880 ($\epsilon_r = 2.2$, $h = 1.59$ mm and $\tan\delta = 0.001$)

Patch Length = 13.23 mm, Patch Width = 10.17 mm

Inter element spacing in the E and H planes = 23 mm ($0.67\lambda_0$)

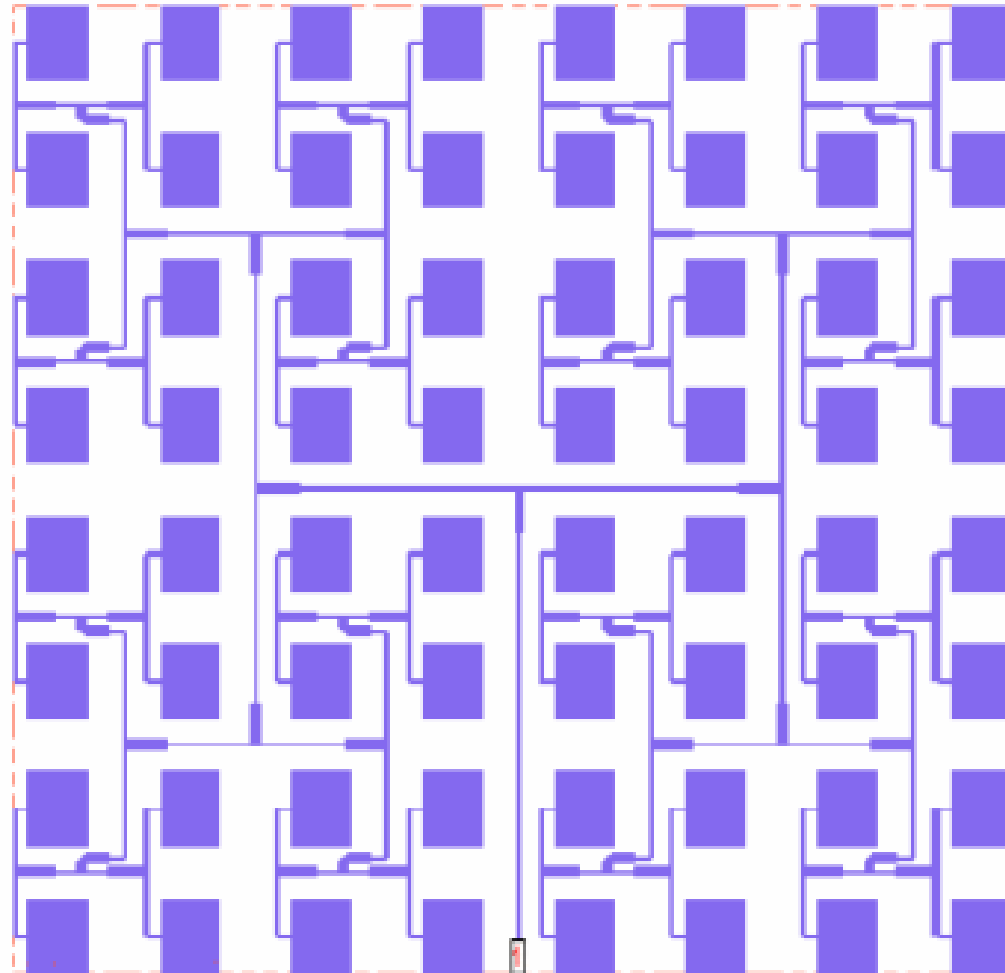
Rezultate pentru un array de 2x2 alimentat paralel



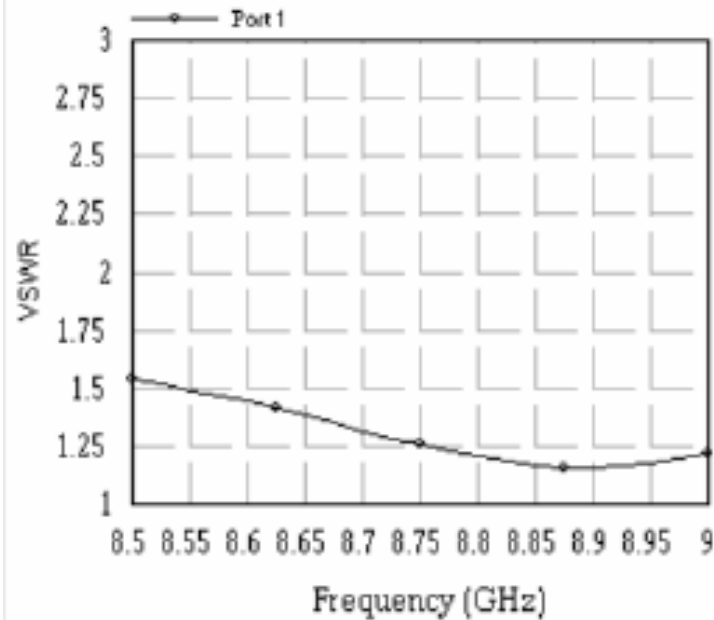
Pattern de radiație la 8.75 GHz

Lățimea de bandă pentru $VSWR \leq 2$ este mai mult de 500 MHz (aprox 6%)

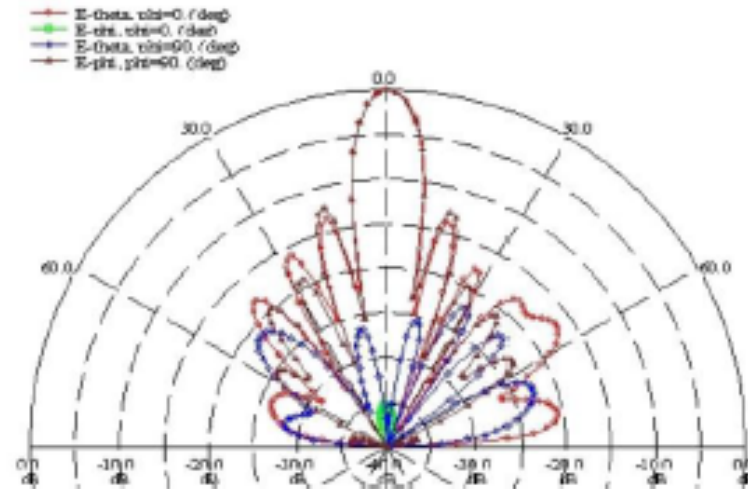
Array de 8x8 antene microstrip alimentate paralel



Array de 8x8 antene microstrip alimentate paralel



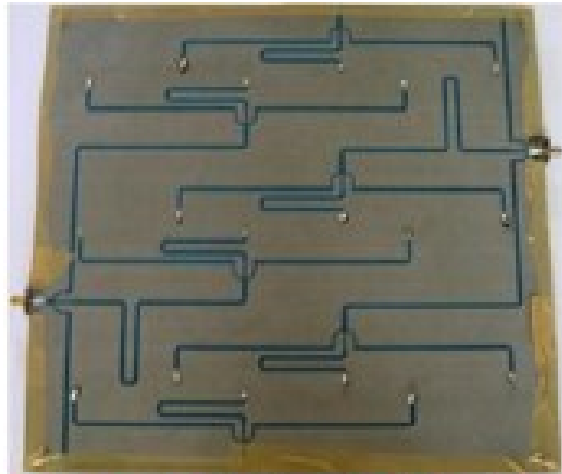
**BW pentru VSWR < 1.5 este
8.55 - 9.0 GHz (~5%)**



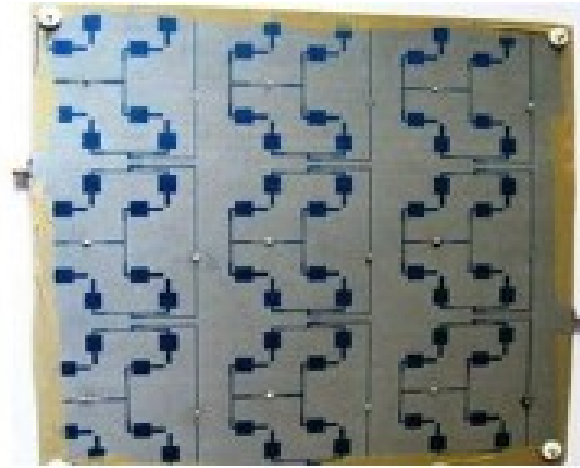
Radiation Pattern at 8.75 GHz

**E-Plane HPBW = 9.9°
H-Plane HPBW = 9.4°**

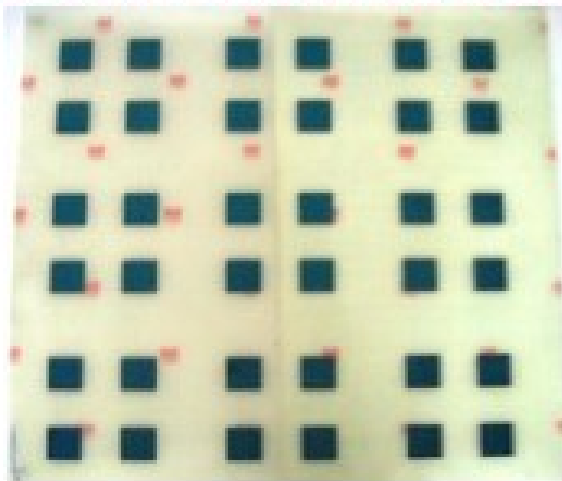
**Max SLL = -12.5
Max Gain = 21.3 dB**



3x3 Power Divider for Two Ports



Microstrip Line Feed Network



Top 6x6 Radiating Elements



Integrated 6x6 EMCP Antenna Array