

ESERCITAZIONE DI ANTENNE

Progettare un'antenna stampata in polarizzazione circolare con alimentazione da un angolo, su un substrato dielettrico di altezza $h=1.6$ mm e costante dielettrica $\epsilon_r=2$, alla frequenza di 8 GHz, in modo da soddisfare le seguenti specifiche:

- Alimentazione a 100 Ohm
- $|\Gamma_{in}| < -14$ dB a centro banda
- Axial Ratio < 1.35

SOLUZIONE

Voglio alimentare a 100 Ohm ed avere buon AR e buon S11. Stimo una lunghezza d'onda nel dielettrico usando una ϵ_{eq} equivalente data dal 95% della $\epsilon_r \rightarrow \epsilon_{eq} = 0.95 * \epsilon_r = 1.9$

$$\lambda_0 = c_0 / f = (3 * 10^8) / (8 * 10^9) = 37.5 mm$$

$$\lambda_d = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{eq}} = 37.5 / \sqrt{1.9} = 27.2 mm$$

L'antenna di partenza dovrà essere quadrata ed avere dimensioni prossime a mezza lunghezza d'onda nel dielettrico, ossia dovrà essere:

$$W = \lambda_d / 2 = 27.2 / 2 = 13.6 mm$$

Per una stima più precisa, si possono utilizzare le formule per le microstrip, dalle quali si ottiene con il valore di W appena ricavato:

$$\epsilon_{eq} = 1.822$$

$$\lambda_d = \lambda_0 / \sqrt{\epsilon_{eq}} = 37.5 / \sqrt{1.822} = 27.78 mm$$

Quindi l'antenna dovrà avere una lunghezza elettrica pari a:

$$W = \lambda_d / 2 = 27.78 / 2 = 13.89 mm$$

A tale lunghezza elettrica devo ovviamente sottrarre i due allungamenti alle estremità, che valgono circa $h/2$. In realtà, dalle formule delle microstrip, una stima più precisa fornisce $Dl=0.843 \text{ mm}$.

Da cui la lunghezza/larghezza fisica del patch circolare iniziale varrà:

$$W = \lambda_d / 2 - 2 * \Delta l = 27.78 / 2 - 2 * 0.843 = 12.2 \text{ mm}$$

La resistenza di ingresso di tale antenna alimentata al centro, è la metà della resistenza di irradiazione dovuta alla terminazione aperta (le due R_{irr} sono in parallelo), e vale quindi:

$$R_{irr} = (90 * (Lmd0 / W_{eq1})^2) = 450 \text{ Ohm}$$

$$R_{i_centro} = (90 * (Lmd0 / W_{eq1})^2) / 2 = 225 \text{ Ohm}$$

dove, dalle formule per le microstrip, si è ottenuto che $W_{eq} = 16.78 \text{ mm}$.

La resistenza di ingresso dell'antenna alimentata da un angolo, è invece doppia rispetto alla resistenza di ingresso quando l'antenna è alimentata al centro da un lato, in quanto i 2 modi eccitati in tal caso sono serie, quindi l'impedenza che vedo è la somma delle impedenza dei singoli modi, ed è quindi doppia rispetto ad R_{i_centro} , che rappresenta appunto la resistenza del singolo modo eccitato. Quindi:

$$R_{i_angolo} = 90 * (Lmd0 / W_{eq1})^2 = 2 * R_{i_centro} = R_{irr} = 450 \text{ Ohm}$$

Per alimentare l'antenna al centro e calcolarne la lunghezza di risonanza, metterò dunque una linea di larghezza W_f tale da avere impedenza pari ad R_{i_centro} , o comunque prossima a questo valore. In questo caso, la W_f corrispondente ad una impedenza di 225 Ohm sarebbe troppo sottile (0.12 mm) e potrebbe darmi problemi; scelgo allora un'alinea un po' più larga, ad esempio una $W_f = 0.28 \text{ mm}$, che corrisponde ad una impedenza di linea di circa 183 Ohm:

$$W_f = 0.28 \text{ mm} \rightarrow Z_l = 183 \text{ Ohm}$$

Accorciando/allungando quindi l'antenna (che DEVE sempre essere quadrata, quindi le due dimensioni devono sempre rimanere le stesse, ossia quando accorcio, devo rifare un'antenna quadrata con la dimensione accorciata), trovo così la risonanza alimentando al centro e la lunghezza di risonanza vale: $L = 12.1725 \text{ mm}$.

L'impedenza di ingresso corrispondente è pari a:

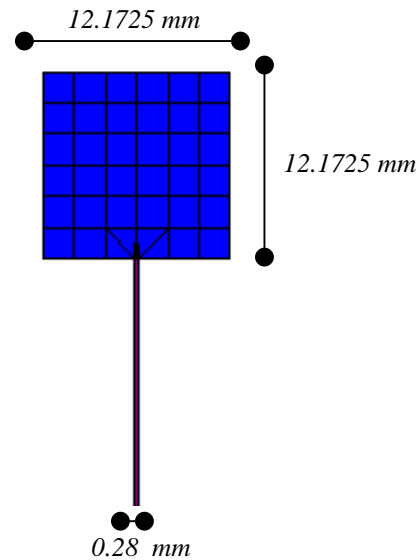
Freq: 8.00000 (GHz)

=====

	Eff.Perm.	Propagation Constant	Port Impedance (ohms)
Port 1:	1.59903	(-1.1956E+01+j0.21203E+03)	181.4130

[Z] matrix:

i	j	Re(Z _{ij})	Im(Z _{ij})
1	1	1.4490	0.15143E-03



Quindi il rapporto Re/Im è molto buono, circa 10000.

L'impedenza dell'antenna è pari a $Z_{res}=1.45*181.4=263$ Ohm, ed è abbastanza vicina a quella stimata di circa 225 Ohm.

Dopodiché devo alimentare l'antenna da un angolo. Devo però prima ricavare la larghezza della linea di alimentazione da collegare all'antenna.

L'impedenza di ingresso presunta dell'antenna alimentata da un angolo sarà, come già detto, pari a $2*Z_{res}=2*263=530$ Ohm, mentre quella stimata inizialmente era pari a 450 Ohm.

E' dunque necessario per un buon adattamento ricavare l'impedenza vera di ingresso dell'antenna.

Se si vuole avere una stima esatta della Z_{in} dell'antenna, si alimenta l'antenna da un angolo con una linea di larghezza qualsiasi e lunga $\lambda/4$, si accorcia/allunga questa linea di alimentazione a $\lambda/4$ fino ad ottenere una Z_{in} complessiva reale, e poi si inverte la formula:

$$Z_{in} = Z_{\lambda/4}^2 / Z_{carico}$$

e si ricava la Z_{carico} dell'antenna.

Nel nostro caso, possiamo ad esempio alimentare l'antenna con una linea larga $W_f=0.2$ mm, corrispondente ad una impedenza di linea di circa 200 Ohm. Infatti, se ad esempio l'antenna avesse effettivamente una $Z_{carico}=450$ Ohm, allora per adattarla alla linea di alimentazione da 100 Ohm, ci vorrebbe una linea a $\lambda/4$ di impedenza $Z_{\lambda/4} = \sqrt{Z_{in} * Z_{carico}} = \sqrt{100 * 450} = 212$ Ohm.

Se $W_f=0.2$ mm ad 8 GHz, allora la λ_d è pari a (da prelude) 29.91 mm, quindi la lunghezza di partenza del sarà $\lambda_d/4=29.91/4=7.48$ mm.

Adesso accorciamo/allunghiamo opportunamente il $\lambda/4$ fino ad ottenere una impedenza di ingresso reale; la lunghezza finale del $\lambda/4$ deve essere di 7.0 mm, con la quale si ottiene:

=====

Freq: 8.00000 (GHz)

=====

	Eff.Perm.	Propagation Constant	Port Impedance (ohms)
Port 1:	1.56685	(0.72886E+00+j0.20989E+03)	199.3724

[Z] matrix:

i	j	Re(Z _{ij})	Im(Z _{ij})
1	1	0.46556	-0.34971E-02

Ossia si ha una $Z_{in}=0.46556*199.37=93.02$ Ohm.

Essendo l'impedenza di ingresso del $\lambda/4$ data da:

$$Z_{in} = Z_{\lambda/4}^2 / Z_{carico} = 93.02 \rightarrow Z_{carico} = Z_{\lambda/4}^2 / Z_{in} = 430 \text{ Ohm}$$

Per adattare l'antenna ai 100 Ohm ci vuole quindi un $\lambda/4$ vero pari a:

$$Z_{\lambda/4} = \sqrt{Z_{in} * Z_{carico}} = \sqrt{100 * 430} = 208 \text{ Ohm}$$

Quindi alimenterò con una linea da un angolo larga $W_l=0.17$ mm, corrispondente ad una impedenza pari a 208 Ohm, e lunga (da prelude si ha per $W_f=0.17$ mm una λ_d di 29.94 mm)
 $\lambda_d/4=29.94/4=7.485$ mm

In realtà accorciando/allungando ancora una volta il $\lambda/4$ per avere una impedenza di ingresso reale, si arriva ad una lunghezza del tratto a $\lambda/4$ pari a 7.05 mm.

=====

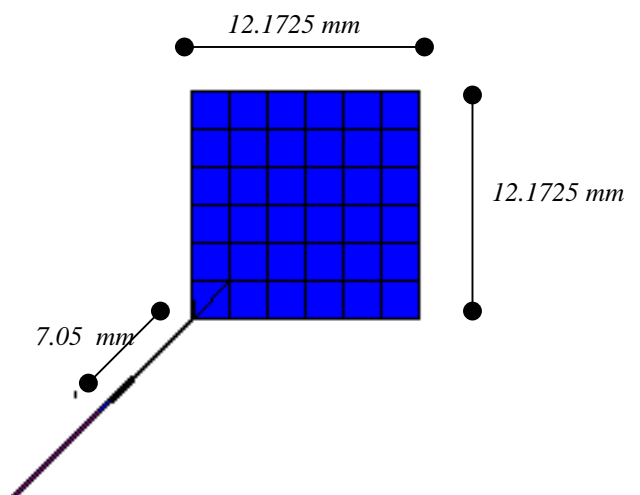
Freq: 8.00000 (GHz)

=====

	Eff.Perm.	Propagation Constant	Port Impedance (ohms)
Port 1:	1.56408	(0.69026E+00+j0.20970E+03)	207.3394

[Z] matrix:

i	j	Re(Z _{ij})	Im(Z _{ij})
1	1	0.48630	0.80777E-02



Occupiamoci ora dell'axial ratio.

A partire dall'antenna quadrata, modifico **entrambe** le lunghezze del patch per ottenere un'axial ratio più piccola possibile.

Prima modifico accorciando/allungando una delle due dimensioni fino ad ottenere un minimo dell'AR. Poi, quando vedo che modificando quella dimensione le cose non migliorano più, passo a modificare l'altra dimensione, fino ad ottenere un valore di AR ancora una volta minimo possibile.

Poi, quando vedo che modificando quella dimensione le cose non migliorano più, ritorno a modificare l'altra dimensione, fino ad ottenere un valore di AR ancora una volta minimo possibile.

E così via fino ad ottenere il valore di AR desiderato.

Nel nostro caso, si ottiene alla fine alimentando col solo $\lambda/4$ ottenuto in precedenza, di lunghezza quindi pari a 7.05 mm, e con l'antenna di dimensioni: W1=12.4395; W2=11.4930, un valore di AR pari a:

```
=====
Freq: 8.00000 (GHz)
=====

Eff.Perm.  Propagation Constant  Port Impedance (ohms)
Port 1:  1.57172  (0.10209E+01+j0.21021E+03)  206.8346

[S] matrix:

i j  Re(S_ij)  Im(S_ij)  Magnitude  Phase  Mag. in dB
1 1  -0.73381E-01  -0.16281    0.17859  -114.2612(deg.)  -14.9631

On-Axis Axial Ratio:  0.6917E-02 dB
```

L'impedenza di ingresso dell'antenna vale adesso:

```
[Z] matrix:

i j  Re(Z_ij)  Im(Z_ij)
1 1   0.82137  -0.27627
```

quindi $Z_{in} = (0.82137 - j0.27627) * 206.835 = 169 - j57$.

Allora è necessario ancora una volta accorciare/allungare il $\lambda/4$ per avere una impedenza di ingresso reale; si arriva così ad una lunghezza del tratto a $\lambda/4$ pari a 9.75 mm.

Con tale lunghezza si ha:

```
=====
Freq: 8.00000 (GHz)
=====

Eff.Perm.  Propagation Constant  Port Impedance (ohms)
Port 1:  1.57359  (0.26444E+00+j0.21034E+03)  206.7122
```

[Z] matrix:

```
i j  Re(Z_ij)  Im(Z_ij)
1 1  0.70107  -0.59203E-03
```

quindi $Z_{in}=145 - j0$.

Ovviamente questo allungamento della linea a $\lambda/4$ peggiora l'axial ratio. Ed infatti ora l'axial ratio vale:

```
=====
Freq: 8.00000 (GHz)
=====

Eff.Perm.  Propagation Constant  Port Impedance (ohms)
Port 1:  1.57359  (0.26444E+00+j0.21034E+03)  206.7122
[S] matrix:
i j  Re(S_ij)  Im(S_ij)  Magnitude  Phase  Mag. in dB
1 1  -0.17573  -0.40919E-03  0.17573  -179.8666(deg.)  -15.1030
On-Axis Axial Ratio:  0.5805E+00 dB
```

Dobbiamo ora collegare alla linea a $\lambda/4$ la linea di alimentazione da 100 Ohm, larga $W_f=1.54$ mm. La lunghezza di tale linea influenza poco il coefficiente di riflessione e l'axial ratio, se l'adattamento è buono. Scegliamo allora, ad esempio, un tratto di linea da 100 Ohm lungo 0.5 mm al quale poi si connette la porta di ingresso.

Si ottiene:

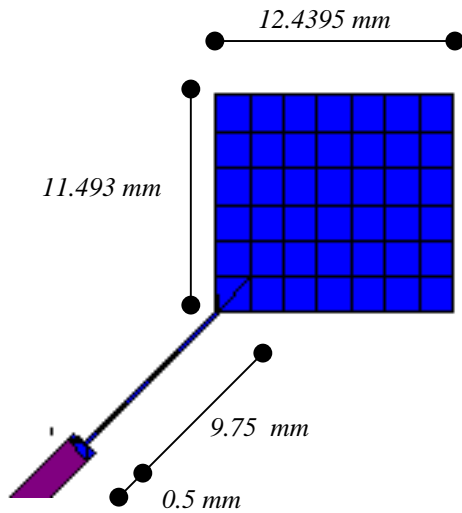
```
=====
Freq: 8.00000 (GHz)
=====
```

	Eff.Perm.	Propagation Constant	Port Impedance (ohms)
Port 1:	1.66174	(0.95940E+00+j0.21615E+03)	99.8261

[S] matrix:

i	j	Re(S _{ij})	Im(S _{ij})	Magnitude	Phase	Mag. in dB
1	1	0.17088	-0.62922E-01	0.18209	-20.2150(deg.)	-14.7941

On-Axis Axial Ratio: 0.1159E+01 dB



E quindi l'axial ratio è ulteriormente peggiorata con l'inserimento della linea di alimentazione.
I risultati finali ottenuti sono quindi:

$|\Gamma_{in}| = -14.79 < -14$ dB a centro banda **Specifica rispettata**

$AR = 1.159$ dB $= 1.306 < 1.35$ a centro banda **Specifica rispettata**

(Si ricordi che $AR_{dB} = 10 \log_{10}(AR) \rightarrow AR = 10^{AR_{dB}/10}$)

Pertanto le specifiche sono state rispettate.

RICAPITOLANDO

PASSI POLARIZZAZIONE CIRCOLARE ED AXIAL RATIO

- **Passo 1:** Risonanza dell'antenna quadrata. Faccio risuonare un'antenna esattamente quadrata, alimentata da un lato al centro, partendo da dimensioni prossime a $\lambda/2$. Per alimentare l'antenna devo usare una linea prossima alla sua resistenza di ingresso. Metterò dunque una linea di larghezza W tale da avere impedenza pari ad R_{i_centro} .
- **Passo 2:** Devo ora passare all'axial ratio, quindi devo ora alimentare l'antenna quadrata da un lato. Con che linea alimento tale antenna? Dato che l'antenna da un lato ha una impedenza di ingresso che è la **serie** dell'impedenza di ingresso di ogni modo con alimentazione dal centro, la R_{in} di tale antenna sarà pari a $2 * R_{i_centro}$, ossia ad R_{irr} . Se si vuole avere una stima esatta della Z_{in} dell'antenna, si mette un $\lambda/4$ qualsiasi, lo si accorcia/allunga fino ad ottenere una Z_{in} complessiva reale, e poi si inverte la formula $Z_{in} = Z_{\lambda/4}^2 / Z_{carico}$ e si ricava la Z_{carico} dell'antenna. Scelta la linea di alimentazione dal bordo, quindi, si passa all'axial ratio.
- **Passo 3:** A partire dall'antenna quadrata risonante, alimentata col solo $\lambda/4$ ricavato in precedenza, modifico **entrambe** le lunghezze del patch per ottenere un'axial ratio più piccola possibile. Prima modifico accorciando/allungando una delle due dimensioni fino ad ottenere un minimo dell'AR. Poi, quando vedo che modificando quella dimensione le cose non migliorano più, passo a modificare l'altra dimensione, fino ad ottenere un valore di AR ancora una volta minimo possibile. Poi, quando vedo che modificando quella dimensione le cose non migliorano più, ritorno a modificare l'altra dimensione, fino ad ottenere un valore di AR ancora una volta minimo possibile. E così via fino ad ottenere il valore di AR desiderato!!
- **Passo 4:** ottenuta l'axial ratio desiderata, si passa all'adattamento. Dato che si sono modificate nel passo precedente le dimensioni dell'antenna, sarà necessario ancora una volta accorciare/allungare il $\lambda/4$ per avere una impedenza di ingresso reale. E' ovvio che l'axial ratio peggiorerà in tale fase, quindi è opportuno ottenere un axial ratio il più piccolo possibile nel passo precedente. Una volta ottenuta una impedenza di ingresso reale col tratto $\lambda/4$ di lunghezza opportuna, si può finalmente collegare la linea di alimentazione di

ingresso, sperando che il Gamma e l'axial ratio ottenuti non siano troppo scadenti. Infatti l'axial ratio peggiora ulteriormente inserendo la linea di alimentazione. I valori di Gamma e di AR variano leggermente anche a seconda della lunghezza del tratto di alimentazione (ciò è dovuto al fatto che non si avrà mai un perfetto adattamento).

NB: affinché l'adattamento sia fattibile in maniera efficace, è necessario al passo 2 stimare l'esatta impedenza di ingresso dell'antenna, di modo da mettere il tratto a $\lambda/4$ dell'impedenza corretta per adattare l'antenna all'ingresso.