

DA RESEL DALGA KILAVUZLU ANTEN ANAL Z (CAN ANTENNA)

Orkun Alp Tepeli

Anten Tasarım için Temel Parametreler

Tasarım için anten parametreleri belirlenmiştir. r_{11} ifadesi TE11 mod için Bessel fonksiyonunda denk gelen kök olup r_{01} ifadesiyle de TM01 mod için Bessel fonksiyon kökünü belirtir. Böylelikle antenin çalıştığı sınırları belirlenmiştir. md ifadesi ise SMA probundaki deliğin çap bilgisidir. Bakır tel bu kısma lehimlenecektir.

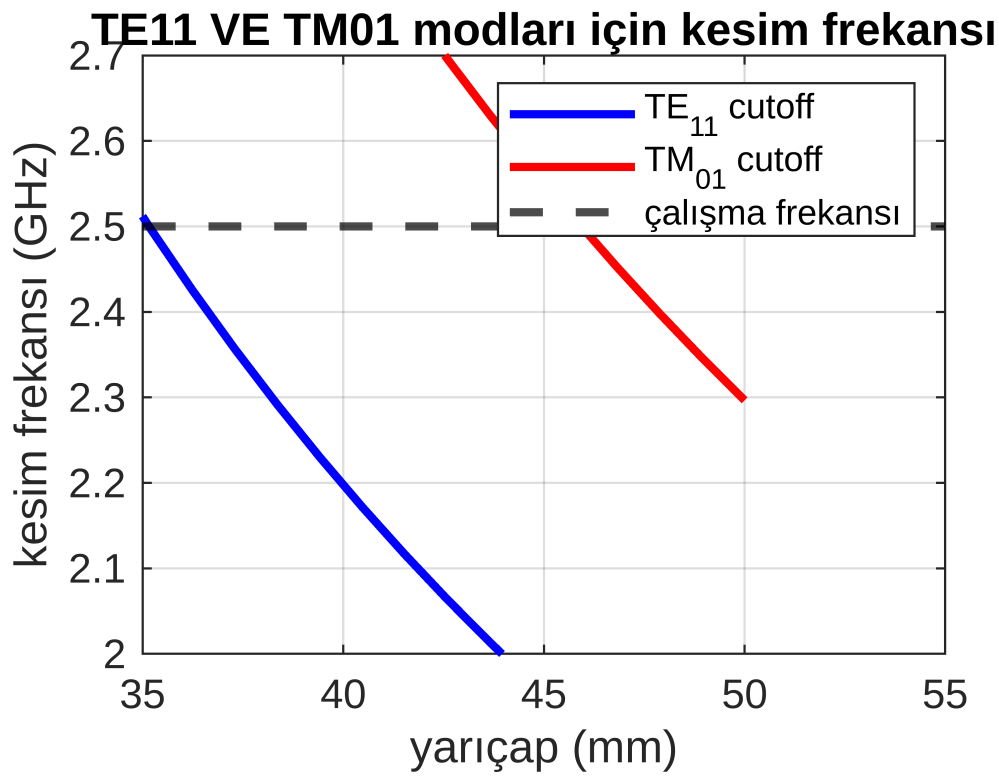
```
function params = fmcw_radar_antenna_params()  
    params.c = 3e8;  
    params.f = 2.5e9;  
    params.r_11 = 1.841;  
    params.r_01 = 2.405;  
    params.r = linspace(32e-3,50e-3,18);  
    params.md = 16e-4;  
end
```

Yayıma Modlarındaki Kesim Frekansı

Bu bölümde TE11 ve TM01 aralığında antenin çalıştığı frekans aralığı belirlenmiştir. Kesim frekansları bir modun dalga kılavuzu içinde yayılabilmesi için gereken minimum frekanstır.

```
function cutoff = mode_cutoff(c,r,r_11,r_01)  
    cutoff.te11 = (r_11*c) ./ (2*pi*r);  
    cutoff.tm01 = (r_01*c) ./ (2*pi*r);  
end
```

```
params = fmcw_radar_antenna_params()  
  
params = struct with fields:  
    c: 300000000  
    f: 2.5000e+09  
    r_11: 1.8410  
    r_01: 2.4050  
    r: [0.0320 0.0331 0.0341 0.0352 0.0362 0.0373 0.0384 0.0394 0.0405 0.0415 0.0426 0.0436 0.0447 0.0458 0.0468 0.0479 0.0489 0.0500]  
    md: 0.0016  
  
cutoff = mode_cutoff(params.c,params.r,params.r_11,params.r_01);  
  
figure;  
plot(params.r*1e3, cutoff.te11/1e9,'b-','LineWidth',2);  
hold on;  
plot(params.r*1e3, cutoff.tm01/1e9,'r-','LineWidth',2);  
  
yline(params.f /1e9,'k--','LineWidth',2);  
xlabel('yarıçap (mm)');  
ylabel('kesim frekansı (GHz)');  
legend('TE_{11} cutoff','TM_{01} cutoff','çalışma frekansı');  
title("TE11 VE TM01 modları için kesim frekansı");  
grid on;  
xlim([35 55]);  
ylim([2 2.7]);
```



TE11 Mod için Optimum Anten Çapı Hesaplama

Antenin TE11 modunda kararlı çalışması için optimum dalga kılavuzu yarıçapı belirlenmiştir. Bu özellik kullanılarak antenin fiziksel parametreleri belirlenmiştir.

```
function best = optimum_radius(params,cutoff)
    min_diff = 100e6;
    f_tell_max = params.f /1.2;
    f_work = params.f;
    best_valid = find(cutoff.tell<f_tell_max & cutoff.tm01> f_work+min_diff);
    [~,i] = min(cutoff.tell(best_valid));
    best = best_valid(i);
end

params = fmcw_radar_antenna_params();
cutoff = mode_cutoff(params.c,params.r,params.r_11,params.r_01);
best = optimum_radius(params,cutoff);

fprintf('Optimum Yarıçap: %.2f mm',params.r(best)*1e3);

Optimum Yarıçap: 43.65 mm

fprintf('TE11 cutoff: %.2f MHz',cutoff.tell(best)/1e6);

TE11 cutoff: 2013.91 MHz

fprintf('TM01 cutoff: %.2f MHz',cutoff.tm01(best)/1e6);

TM01 cutoff: 2630.88 MHz
```

Dalga Kılavuzu Parametreleri Hesaplama

Bu başlık altında TE11 modunun yayılım özellikleri belirlenmesi için elektromanyetik parametreler hesaplanmıştır.

TE11 modununun oluşabilmesi için gerekli minimum dalga sayısı, dalga kılavuzu içindeki monopol probun duvardan uzaklığı ve rezonans koşulları gibi parametreler bulunmuştur. Slant Radius hesabı yapılmıştır böylelikle S deeri bulunmuştur. S deeri kullanılarak ıma elektrik alan ve manyetik alanda

TABLE 7-4 Circular-Horn Beamwidths, TE₁₁ Mode

S	$(2\pi a/\lambda) \sin \theta$				ATL + PEL (dB)
	3 dB		10 dB		
	E -Plane	H -Plane	E -Plane	H -Plane	
0.00	1.6163	2.0376	2.7314	3.5189	0.77
0.04	1.6175	2.0380	2.7368	3.5211	0.80
0.08	1.6212	2.0391	2.7536	3.5278	0.86
0.12	1.6273	2.0410	2.7835	3.5393	0.96
0.16	1.6364	2.0438	2.8296	3.5563	1.11
0.20	1.6486	2.0477	2.8982	3.5799	1.30
0.24	1.6647	2.0527	3.0024	3.6115	1.54
0.28	1.6855	2.0592	3.1757	3.6536	1.82
0.32	1.7123	2.0676	3.5720	3.7099	2.15
0.36	1.7471	2.0783	4.6423	3.7863	2.53
0.40	1.7930	2.0920	5.0492	3.8933	2.96
0.44	1.8552	2.1100	5.3139	4.0504	3.45
0.48	1.9441	2.1335	5.5375	4.2967	3.99
0.52	2.0823	2.1652	5.7558	4.6962	4.59
0.56	2.3435	2.2089	6.0012	5.2173	5.28
0.60	3.4329	2.2712	6.3500	5.6872	5.98
0.64	4.3656	2.3652	7.6968	6.0863	6.79
0.68	4.8119	2.5195	8.4389	6.4622	7.66
0.72	5.1826	2.8181	8.8519	6.8672	8.62

```
function wave = waveguide_params(f, c, a, r_11)
    wave.lambda0 = c / f;
    wave.k0 = 2 * pi / wave.lambda0;
    wave.kc = r_11 / a;
    wave.beta = sqrt(wave.k0^2 - wave.kc^2);
    wave.lambda_g = 2 * pi / wave.beta;
    wave.probe_pos = wave.lambda_g / 4;
    wave.monopole_length = wave.lambda0 / 4;
end
```

```
a = params.r(best);
wave = waveguide_params(params.f, params.c, a, params.r_11);

fprintf("lambda_0 (serbest uzay): %.2f mm\n", wave.lambda0 * 1e3);
```

lambda_0 (serbest uzay): 120.00 mm

```
fprintf("lambda_g (kılavuz): %.2f mm\n", wave.lambda_g * 1e3);
```

lambda_g (kılavuz): 202.53 mm

```
fprintf("Prob mesafesi: %.2f mm\n", wave.probe_pos * 1e3);
```

Prob mesafesi: 50.63 mm

```
fprintf("Monopole uzunlu u: %.2f mm\n", wave.monopole_length * 1e3);
```

Monopole uzunlu u: 30.00 mm

```
function R = compute_slant_radius(lambda_g, a)
    R = sqrt(lambda_g^2 + a^2);
```

```
end
```

Slant radius (e imli yarıçap), antenin fiziksel uzunlu u de il ama faz merkezinin açıklıktan ne kadar geride oldu unu belirlemede kritik rol oynar. lambda_g ile yarıçap arasındaki geometrik ba ntıdan elde edilir.

Bu mesafe özellikle far-field (uzak alan) ı ımlarının ba ladı ı noktayı ve antenin geri besleme faz gecikmesini belirlemede önemlidir.

```
function S = compute_s_value(a,lambda0,R)
    S = (a^2) / (2 * lambda0 * R);
end
```

Tasarım parametresi olan `S` de eri, Milligan tarafından tanımlanan ve evrensel ı nım e rileriyle do rudan ili kilendirilen bir ölçüttür. S de eri, antenin açıklık çapı ve slant radius üzerinden tanımlanır.

Bu de erle antenin ı nım açısı, kazancı ve sidelobe seviyeleri öngörülebilir hale gelir.

```
R = compute_slant_radius(wave.lambda_g, a);
S = compute_s_value(a, wave.lambda0, R);

fprintf("Slant radius (R): %.2f mm\n", R * 1e3);
```

Slant radius (R): 207.18 mm

```
fprintf("S de eri (tasarım parametresi): %.3f\n", S);
```

S de eri (tasarım parametresi): 0.038

```
function [BW_e, BW_h] = compute_beamwidths(lambda0, a)

    k_e = 1.6175;
    k_h = 2.038;

    BW_e = rad2deg(asin((k_e * lambda0) / (2 * pi * a)));
    BW_h = rad2deg(asin((k_h * lambda0) / (2 * pi * a)));
end
```

```
[BW_e, BW_h] = compute_beamwidths(wave.lambda0, a);

fprintf("E-plane Beamwidth (3 dB): %.2f derece\n", BW_e);
```

E-plane Beamwidth (3 dB): 45.05 derece

```
fprintf("H-plane Beamwidth (3 dB): %.2f derece\n", BW_h);
```

H-plane Beamwidth (3 dB): 63.10 derece

```
function G = compute_gain(a, lambda0)
    ATL_PEL_dB = 0.8; % S = 0.04 için tablo de eri
    D = 2 * a;
    G = 20 * log10(pi * D / lambda0) - ATL_PEL_dB;
end
```

```
G = compute_gain(a, wave.lambda0);
fprintf("Anten Kazancı (Gain): %.2f dB\n", G);
```

Anten Kazancı (Gain): 6.38 dB

```
function [Lpc_H, Lpc_E] = phase_radius(R)
    Lpc_H = 0.0046 * R;
    Lpc_E = 0.012 * R;
end
```

Anten açıklı ından ba layan ı ımların gerçekte nereden yayıldı ı faz merkezi ile ifade edilir. Bu bilgi özellikle FMCW radar sistemlerinde mesafe ölçüm hatasını minimize etmek için kritik öneme sahiptir.

Milligan tablosundaki oranlar kullanılarak H ve E düzlemindeki faz merkezi konumları belirlenmi tir.

TABLE 7-5 Phase-Center Axial Location of a Circular-Waveguide Horn TE₁₁ Mode Behind the Aperture as a Ratio of the Slant Radius

<i>S</i>	<i>H</i> -Plane <i>L</i> _{ph} / <i>R</i> _{<i>h</i>}	<i>E</i> -Plane <i>L</i> _{ph} / <i>R</i> _{<i>e</i>}	<i>S</i>	<i>H</i> -Plane <i>L</i> _{ph} / <i>R</i> _{<i>h</i>}	<i>E</i> -Plane <i>L</i> _{ph} / <i>R</i> _{<i>e</i>}
0.00	0.0	0.0	0.28	0.235	0.603
0.04	0.0046	0.012	0.32	0.310	0.782
0.08	0.018	0.048	0.36	0.397	0.801
0.12	0.042	0.109	0.40	0.496	0.809
0.16	0.075	0.194	0.44	0.604	0.836
0.20	0.117	0.305	0.48	0.715	0.872
0.24	0.171	0.416			

```
R = compute_slant_radius(wave.lambda_g, a);
[Lpc_H, Lpc_E] = phase_radius(R);

fprintf("H-plane Phase Center: %.2f mm\n", Lpc_H*1e3);

H-plane Phase Center: 0.95 mm

fprintf("E-plane Phase Center: %.2f mm\n", Lpc_E*1e3);

E-plane Phase Center: 2.49 mm
```

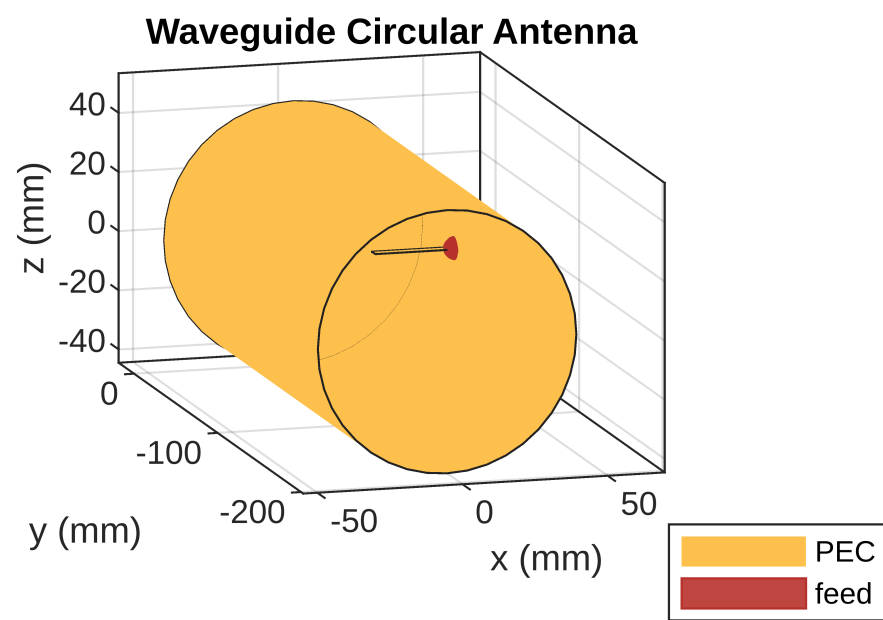
MATLAB ANTENNA TOOLBOX KULLANIMI

Yukarıda hesaplanan elektromanyetik parametreler kullanılarak MATLAB Antenna Toolbox ile fiziksel model olu turulmu tur. Gerçek üretim toleransları dikkate alınarak radius, prob mesafesi ve yükseklik gibi boyutlar belirli katsayılarla ölçeklenmi tir.

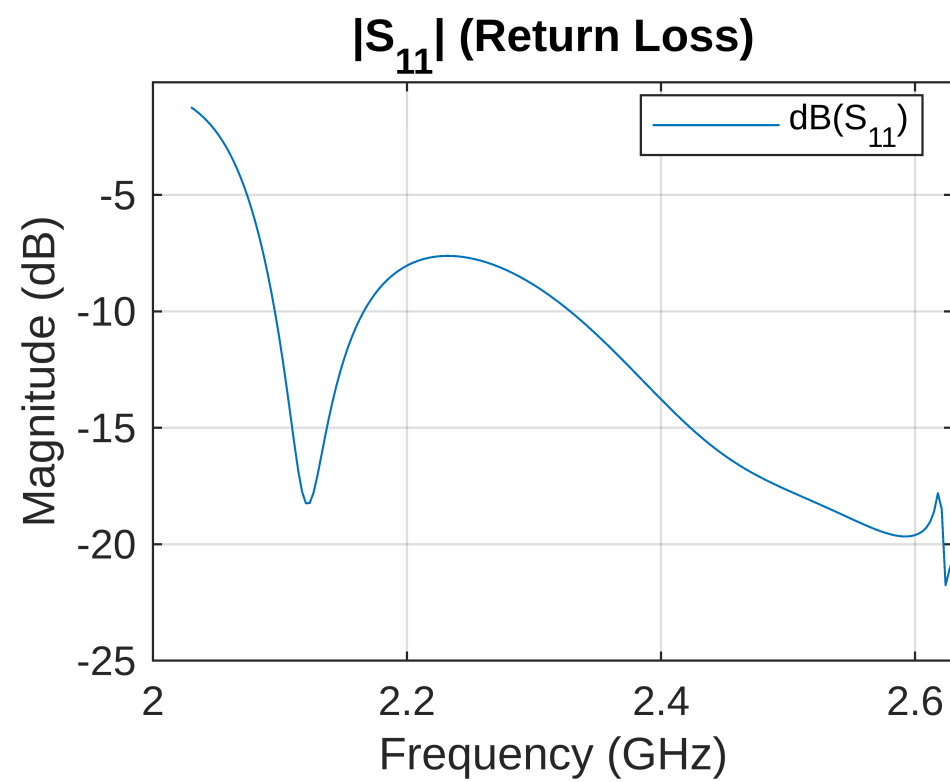
Bu sayede hem üretilebilirlik hem de elektromanyetik uyumluluk birlikte sa lanmı tır.

```
antenna = waveguideCircular( ...
    'Radius', a*1.02, ...
    'Height', wave.lambda_g/1.10, ...
    'FeedOffset', (wave.probe_pos - Lpc_E)/1.24, ...
    'FeedHeight', wave.monopole_length/1.07);

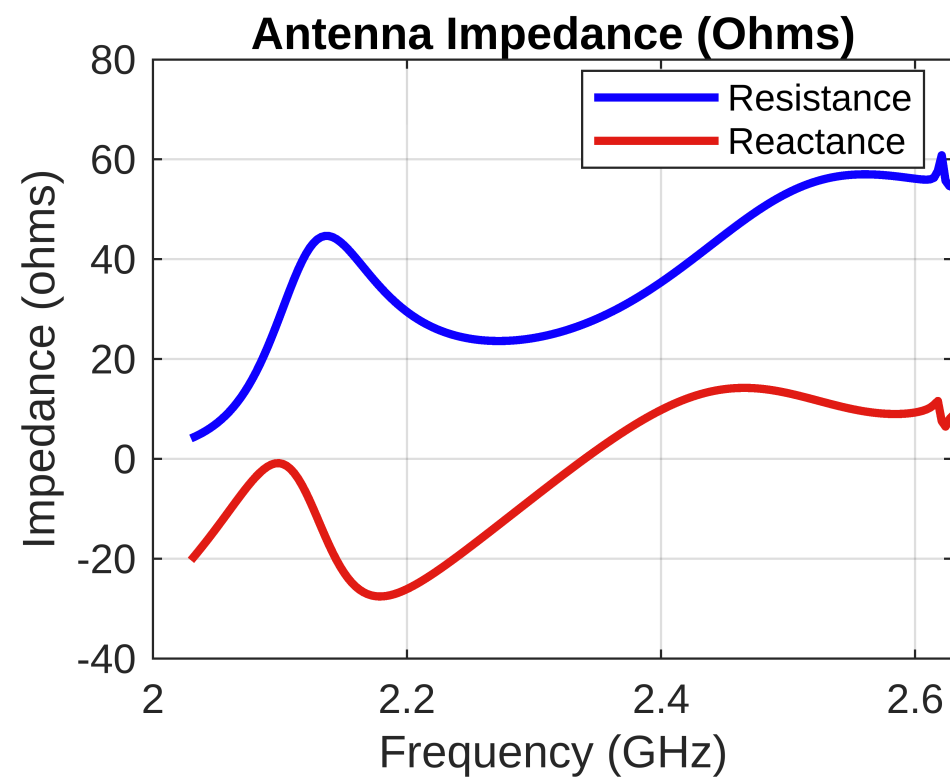
figure;
show(antenna);
title('Waveguide Circular Antenna');
```



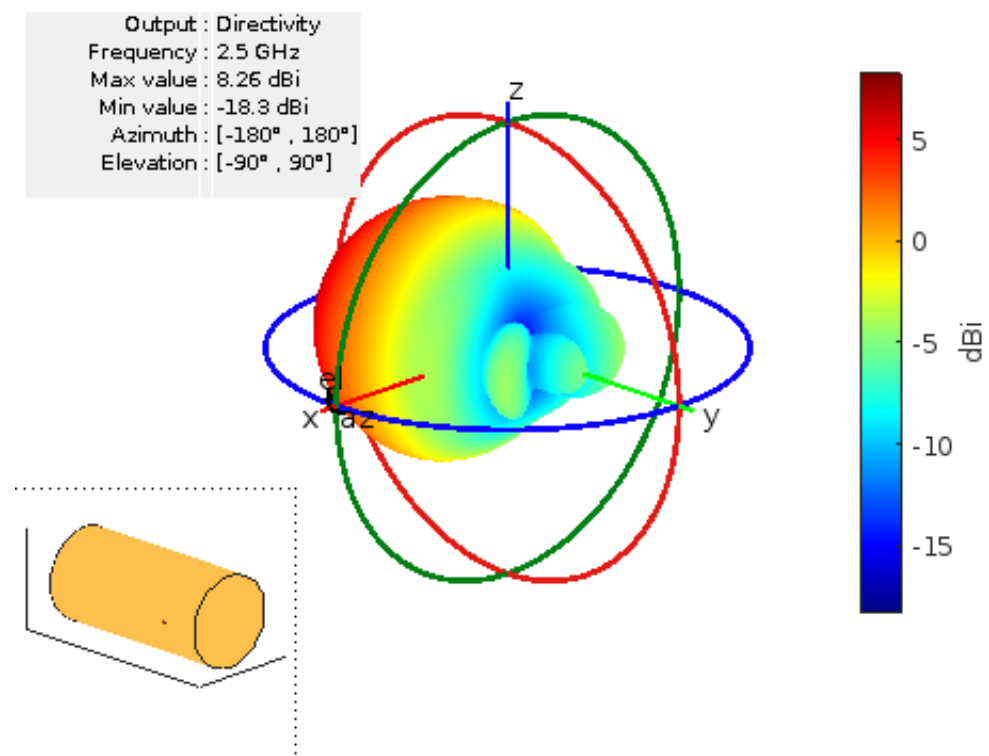
```
freq_range = linspace(2.03e9, 2.63e9, 200);
s = sparameters(antenna, freq_range);
figure;
rfplot(s,1,1);
title('|S11| (Return Loss)');
grid on;
```



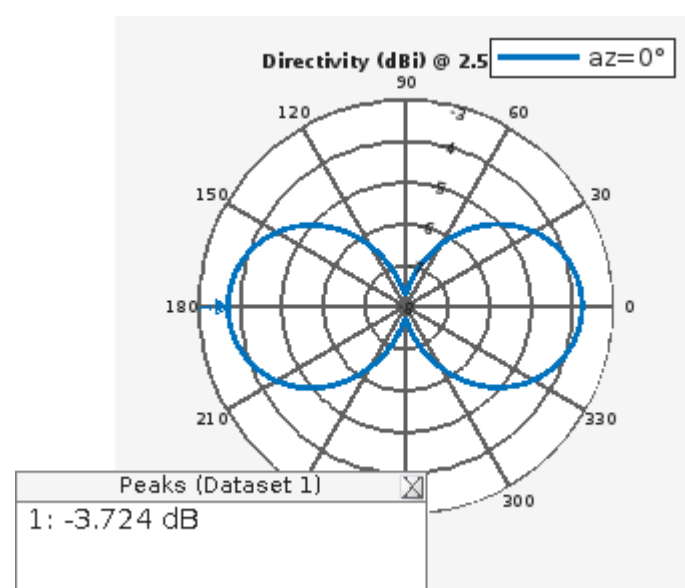
```
figure;
impedance(antenna, freq_range);
title('Antenna Impedance (Ohms)');
```



```
figure;
pattern(antenna, params.f);
title('3D Radiation Pattern');
```



```
patternElevation(antenna, params.f, 0);
title('E-plane (Elevation Pattern)');
```



```
figure;
patternAzimuth(antenna, params.f, 0);
title('H-plane (Azimuth Pattern)');
```

