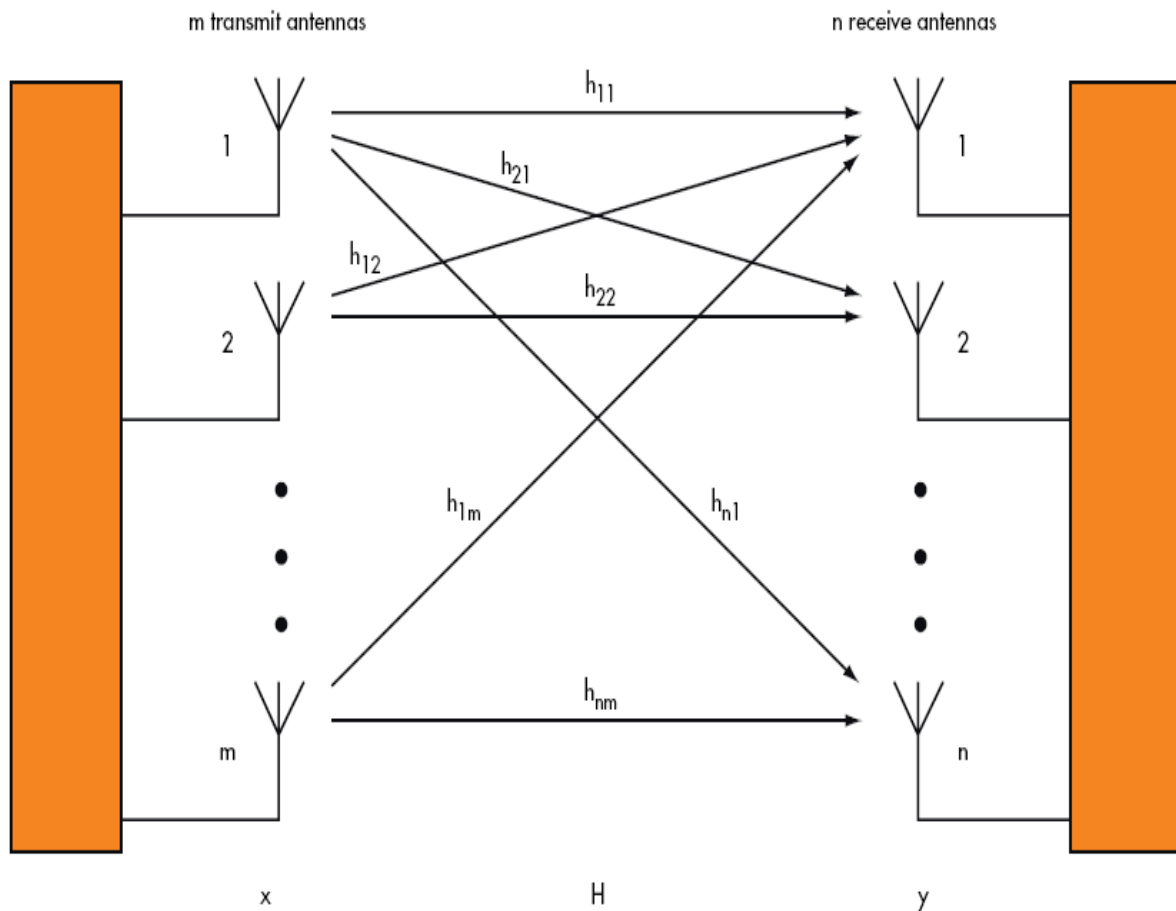


**Δεύτερη Εργασία στο μάθημα των
Ειδικών Κεραιών-Σύνθεση Κεραιών**

Θέματα: Σύνθεση Στοιχειοκεραιών / Μελέτη Καναλιού MIMO



Διδάσκων: Τραϊανός Γιούλτσης

Ονοματεπώνυμο Φοιτητή: Χρυσοβέργης Ηλίας

A.E.M. Φοιτητή: 8009

Email Φοιτητή: iliachry@ece.auth.gr

A. Στοιχειοκεραίες Dolph – Chebyshev

(α) Για τον προσδιορισμό της ρευματικής κατανομής μιας ευρύπλευρης στοιχειοκεραίας Dolph-Chebyshev N στοιχείων με δεδομένο ύψος πλευρικών λοβών αρχικά υπολογίζουμε τους συντελεστές των πολυωνύμων Chebyshev με τις παρακάτω εντολές:

```
coefficients = zeros(N);  
coefficients(1,1) = 1;  
coefficients(2,2) = 1;  
for i = 3:N  
    coefficients(i,1) = -coefficients(i-2,1);  
    for j = 2:N  
        coefficients(i,j) = 2*coefficients(i-1, j-1)-coefficients(i-2, j);  
    end  
end
```

Το σύστημα εξισώσεων για τα ρεύματα της στοιχειοκεραίας σε μορφή πινάκων διαμορφώνετε ως εξής (για N άρτιο) :

```
j = 1;  
for i = 2:2:N  
    K(j,:) = coefficients(i,:);  
    j = j+1;  
end  
j = 1;  
A = zeros(N/2);  
for i = 2:2:N  
    A(:,j) = K(:,i);  
    j = j+1;  
end  
A = A';  
L = coefficients(N,:)';  
j = 1;  
for i = 2:2:N  
    B(j) = L(i)*z0^i;  
    j = j+1;  
end  
B = B';  
I = A\B;  
for i = 1:N/2  
    I(i) = I(i)/I(N/2);  
end
```

Τέλος, παρατηρούμε την κανονικοποίηση των συντελεστών των ρευμάτων ως προς το ρεύμα του τελευταίου στοιχείου.

(β) Η κατευθυντικότητα της κεραίας καθώς και το HPBW υπολογίζεται με την βοήθεια των παρακάτω εντολών:

```
R0 = 10^(R/20);  
z0 = cosh(1/(N-1)*acosh(R0));  
f = 1 + 0.636*(2/R0*cosh(sqrt((acosh(R0))^2-pi^2)))^2;  
  
HPBW = 48.4/(N*d_over_lamda);  
HPBW_Chebyshev = f*HPBW;  
  
D = 2*R0^2/(1+(R0^2-1)*f/(N*d_over_lamda));  
D = 10*log10(D);
```

Για τον σχεδιασμό του πολικού διαγράμματος αρχικά υπολογίστηκε ο παράγοντας της στοιχειοκεραίας:

```
theta = 0:2*pi/1000:2*pi;  
u = pi*d_over_lamda*cos(theta);  
AF = 0;  
for i = 1:(N/2)  
    AF = I(i)*cos((2*i-1)*u) + AF;  
end  
AF = AF/max(AF);  
polar_dB(theta, AF.^2, 100, 25, 16)
```

Η συνάρτηση polar_dB βρέθηκε έτοιμη στο File Exchange του Mathworks (<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/26476-a-basic-polar-plot-tool-in-db-linear-scale>).

(γ) Σε αυτό το ερώτημα ζητήθηκε να εφαρμόσουμε το παραπάνω πρόγραμμα για σχεδίαση στοιχειοκεραίας 10, 20 και 40 στοιχείων με ύψος πλευρικών λοβών -40 dB και απόσταση στοιχείων $\lambda/2$.

2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραιών – Σύνθεση Κεραιών

- Για $N = 10$:

Η κατευθυντικότητα, το HPBW και η ρευματική κατανομή δίνονται στην συνέχεια:

D	8.7827
HPBW	12.8080
I	[7.9837;6.6982;4.6319;2.5182;1]

Το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας δίνεται στην συνέχεια:

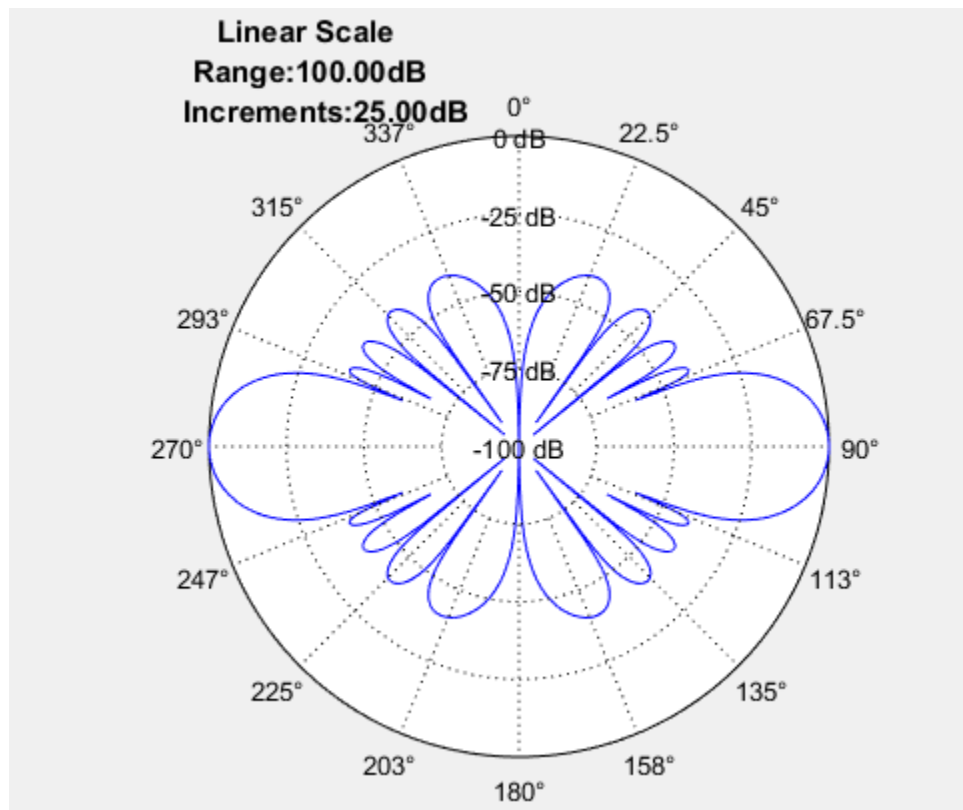


Figure 1: $N = 10$

2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραιών – Σύνθεση Κεραιών

- Για $N = 20$:

Η κατευθυντικότητα, το HPBW και η ρευματική κατανομή δίνονται στην συνέχεια:

HPBW =	I =
6.4040	8.4603
	8.1108
	7.4476
D =	6.5370
	5.4664
	4.3326
	3.2290
	2.2342
	1.4041
	1.0000

Το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας δίνεται στην συνέχεια:

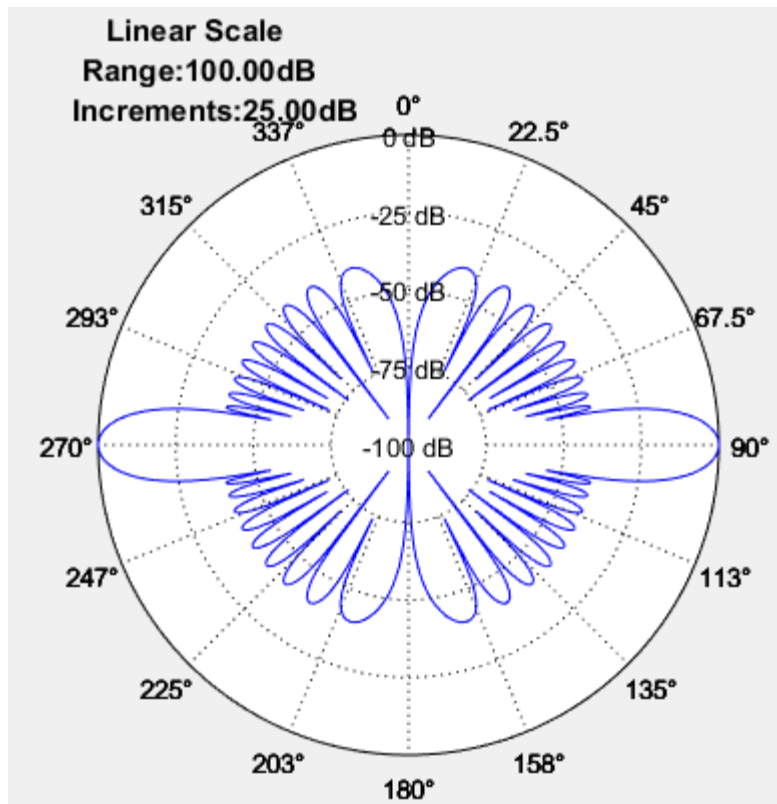


Figure 2: $N = 20$

- Για $N = 40$:

Η κατευθυντικότητα, το HPBW και η ρευματική κατανομή δίνονται στην συνέχεια:

HPBW =	I =
3.2020	6.0610
	5.9987
	5.8759
D =	5.6963
	5.4647
14.7984	5.1871
	4.8698
	4.5203
	4.1465
	3.7564
	3.3585
	2.9607
	2.5706
	2.1951
	1.8403
	1.5112
	1.2116
	0.9444
	0.7110
	1.0000

Παρατηρούμε ότι με την αύξηση των στοιχείων της στοιχειοκεραίας Dolph-Chebyshev έχουμε αύξηση της κατευθυντικότητας της και μείωση του HPBW.

Ακόμη μπορούμε να παρατηρήσουμε και από τα πολικά διαγράμματα ακτινοβολίας όπου όσο αυξάνεται το N έχουμε μείωση του εύρους του κύριου λοβού και δημιουργία περισσότερων πλευρικών λοβών.

Στην συνέχεια δίνεται και το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας που προκύπτει για $N = 40$.

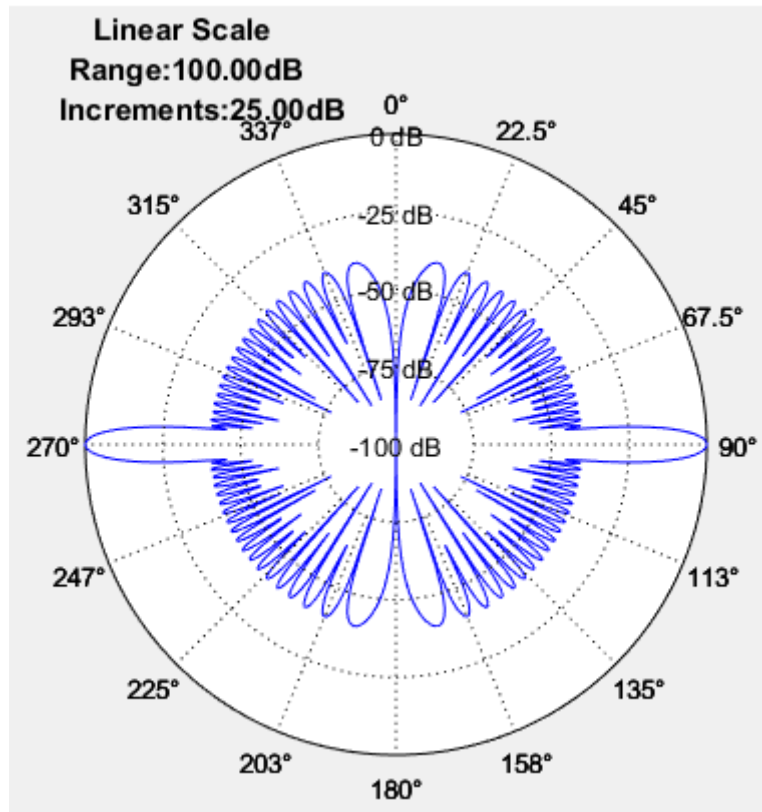


Figure 3: $N = 40$

(δ) Σε αυτό το ερώτημα ζητήθηκε η σχεδίαση στοιχειοκεραίας 10 στοιχείων σε απόσταση $\lambda/2$ με διαφορετικά ύψοι πλευρικών λοβών. Στην συνέχεια δίνονται τα ζητούμενα του ερωτήματος για διαφορετικό R_0 .

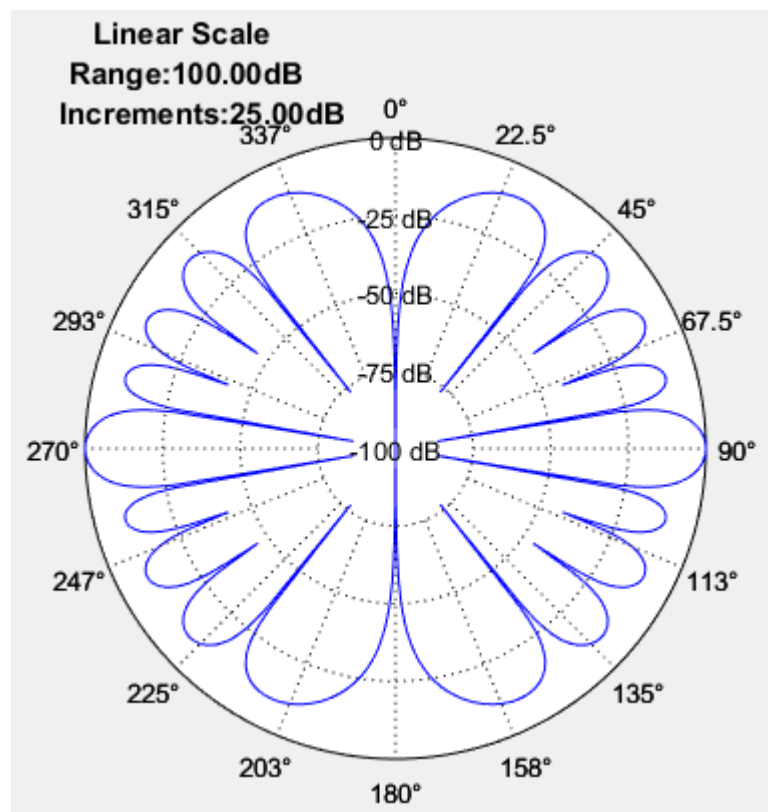
2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραιών – Σύνθεση Κεραιών

- Για $R_0 = 10$:

Η κατευθυντικότητα το HPBW και η ρευματική κατανομή προκύπτουν:

I =	HPBW =
0.4463	11.4035
0.4306	
0.4003	
0.3576	D =
1.0000	8.0681

Το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας δίνεται στην συνέχεια:

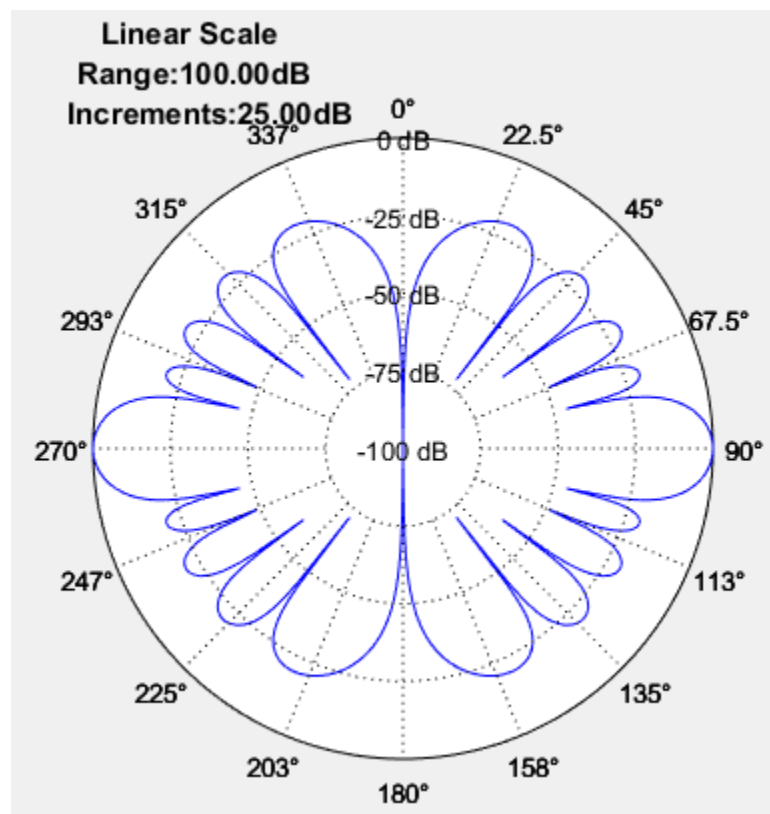


- Για $R_0 = 20$:

Η κατευθυντικότητα το HPBW και η ρευματική κατανομή προκύπτουν:

I =	HPBW =
1.5585	9.7624
1.4360	
1.2125	
0.9264	D =
1.0000	9.7946

Το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας δίνεται στην συνέχεια:



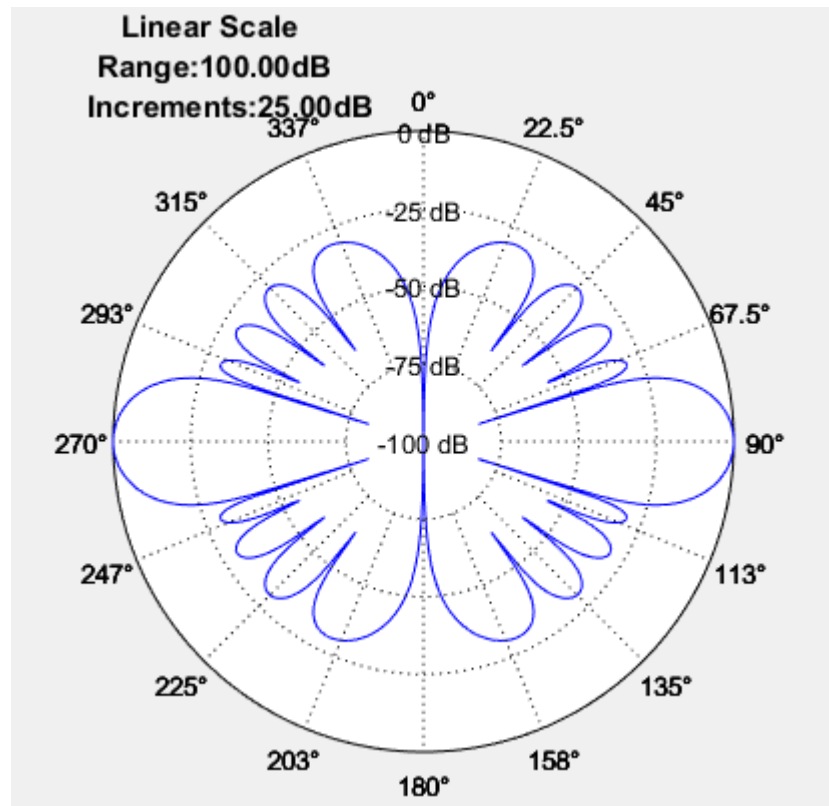
2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραιών – Σύνθεση Κεραιών

- Για $R_0 = 30$:

Η κατευθυντικότητα το HPBW και η ρευματική κατανομή προκύπτουν:

I =	HPBW =
3.8830	11.0738
3.4095	
2.5986	
1.6695	D =
1.0000	9.4012

Το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας δίνεται στην συνέχεια:



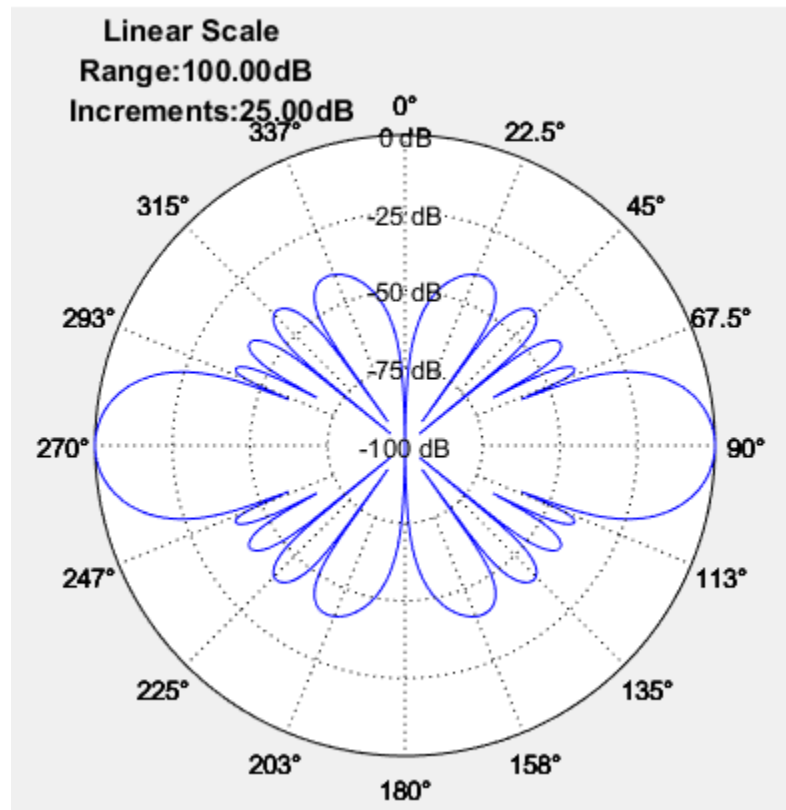
2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραιών – Σύνθεση Κεραιών

- Για $R_0 = 40$:

Η κατευθυντικότητα το HPBW και η ρευματική κατανομή προκύπτουν:

$I =$	HPBW =
7.9837	12.8080
6.6982	
4.6319	
2.5182	$D =$
1.0000	8.7827

Το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας δίνεται στην συνέχεια:



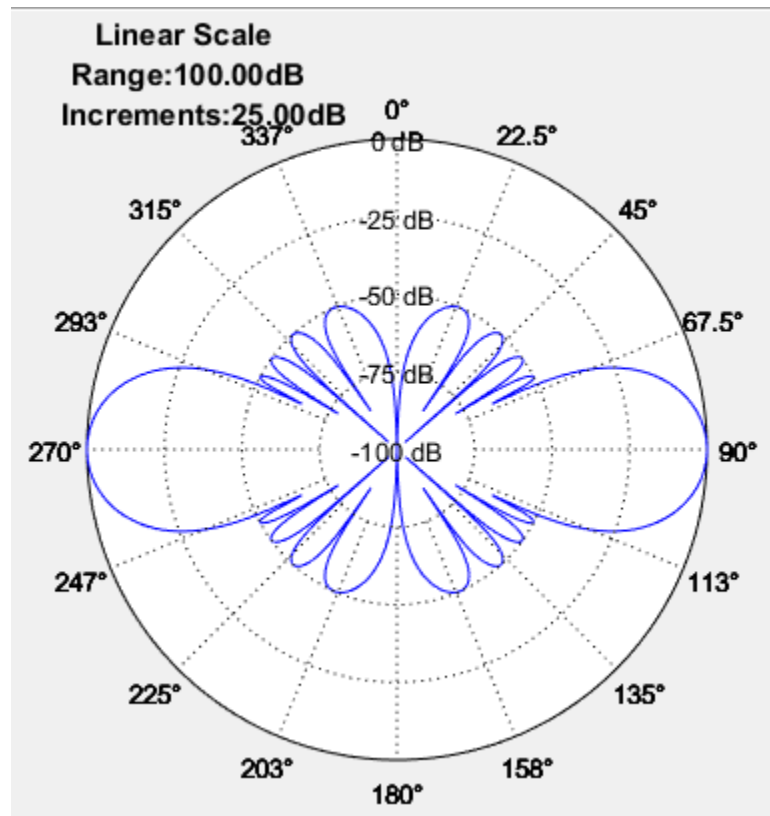
2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραιών – Σύνθεση Κεραιών

- Για $R_0 = 50$:

Η κατευθυντικότητα το HPBW και η ρευματική κατανομή προκύπτουν:

I =	HPBW =
14.2177	14.4871
11.4518	
7.2597	
3.4020	D =
1.0000	8.2488

Το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας δίνεται στην συνέχεια:



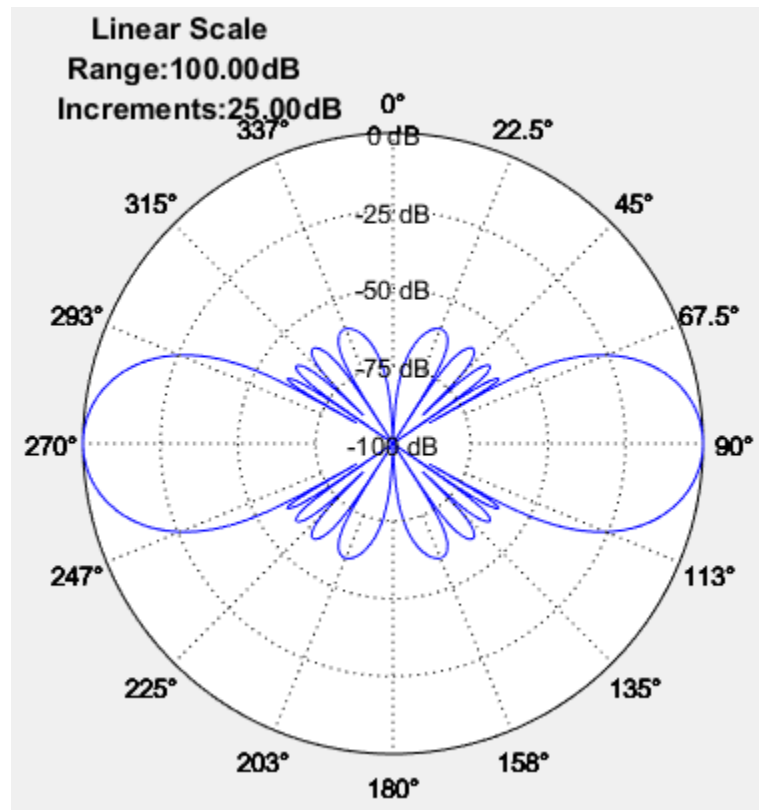
2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραίων – Σύνθεση Κεραίων

- Για $R_0 = 60$:

Η κατευθυντικότητα το HPBW και η ρευματική κατανομή προκύπτουν:

$I =$	HPBW =
22.5666	16.0053
17.5448	
10.3195	
4.2627	$D =$
1.0000	7.8161

Το πολικό διάγραμμα ακτινοβολίας δίνεται στην συνέχεια:



(ε) Σε αυτό το ερώτημα ζητήθηκε ο σχεδιασμός μίας στοιχειοκεραίας 21 στοιχείων που θα έχει μηδενισμό σε μία γωνία θ_0 , με βάση τη στοιχειοκεραία Dolph - Chebyshev 20 στοιχείων με ύψος πλευρικών λοβών -40 dB και απόσταση στοιχείων 0.5, και χρησιμοποιώντας τη μέθοδο πολωνύμου του Schelkunoff. Το πρόγραμμα που αναπτύχθηκε για την επίλυση της άσκησης δίνεται στην συνέχεια :

```
function I = Schelkunoff( N, R, d_over_lamda, theta0 )
    I = Dolph_Chebyshev(N-1, R, d_over_lamda);
    I_inv = flipud(I);

    if( mod(N,2) == 1 )
        for i = 1:floor(N/2)
            I_inv(floor(N/2)+i) = I(i);
        end
    else
        for i = 1:N/2
            I_inv(N/2+i) = I(i);
        end
    end

    I(1) = -I_inv(1)*exp(1i*2*pi*d_over_lamda*cosd(theta0));
    for j = 2:N-1
        I(j) = I_inv(j-1) - I_inv(j)*exp(1i*2*pi*d_over_lamda*cosd(theta0));
    end
    I(N) = I_inv(N-1);
    theta = 0:2*pi/1000:2*pi;
    AF = 0;
    for j = 1:N
        AF = I(j)*exp(1i*j*2*pi*d_over_lamda*cos(theta)) + AF;
    end
    AF = abs(AF/max(AF));
    polar_dB(theta, AF.^2, 100, 25, 16);
end
```

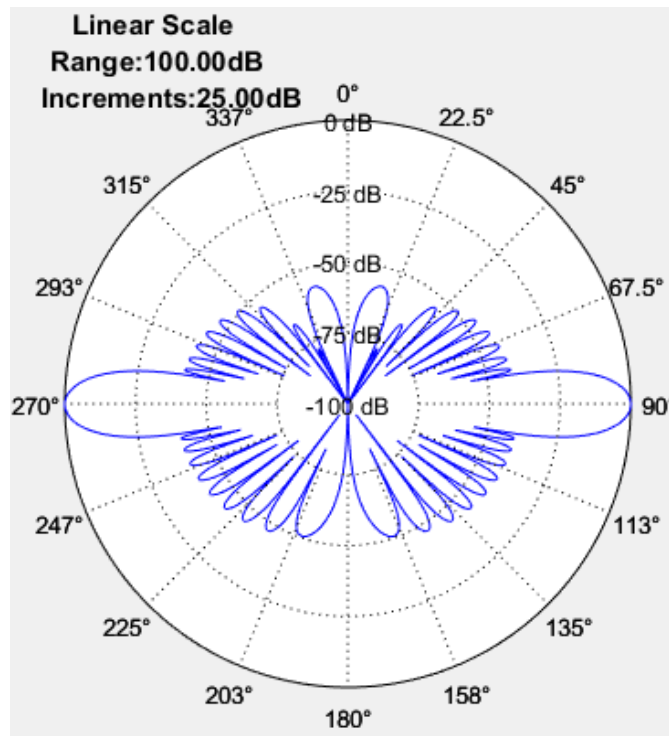
2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραίων – Σύνθεση Κεραίων

- Για $\theta_0 = 30$ μοίρες:

Η ρευματική κατανομή:

0.9127	- 0.4086i
2.2816	- 0.5737i
3.4434	- 0.9129i
5.1814	- 1.3193i
7.1835	- 1.7702i
9.3219	- 2.2334i
11.4328	- 2.6708i
13.3346	- 3.0429i
14.8506	- 3.3139i
15.8328	- 3.4567i
16.1822	- 3.4567i
15.8633	- 3.3139i
14.9085	- 3.0429i
13.4141	- 2.6708i
11.5262	- 2.2334i
9.4208	- 1.7702i
7.2798	- 1.3193i
5.2682	- 0.9129i
3.5158	- 0.5737i
2.3168	- 0.4086i
1.0000	+ 0.0000i

Το διάγραμμα ακτινοβολίας:



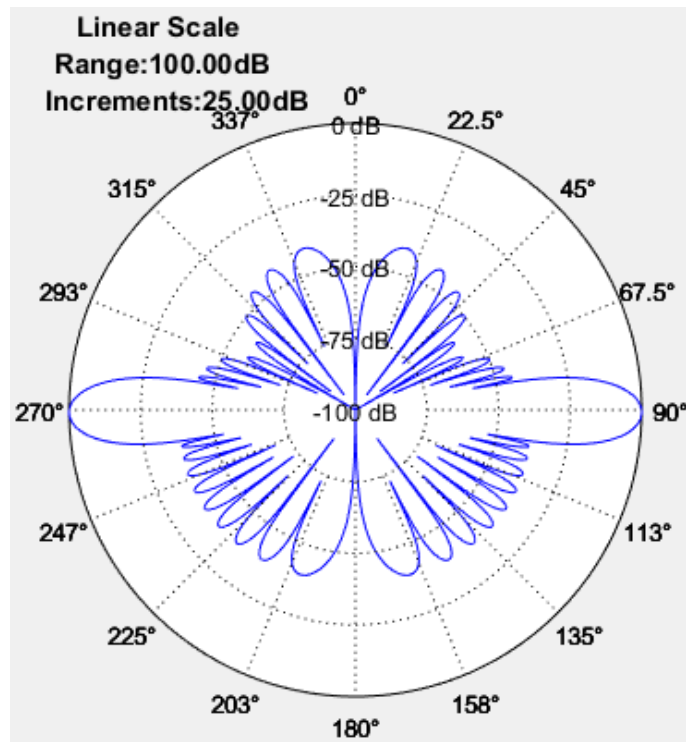
2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραιών – Σύνθεση Κεραιών

- Για $\theta_0 = 60$ μοίρες:

Η ρευματική κατανομή:

-0.0000	- 1.0000i
1.0000	- 1.4041i
1.4041	- 2.2342i
2.2342	- 3.2290i
3.2290	- 4.3326i
4.3326	- 5.4664i
5.4664	- 6.5370i
6.5370	- 7.4476i
7.4476	- 8.1108i
8.1108	- 8.4603i
8.4603	- 8.4603i
8.4603	- 8.1108i
8.1108	- 7.4476i
7.4476	- 6.5370i
6.5370	- 5.4664i
5.4664	- 4.3326i
4.3326	- 3.2290i
3.2290	- 2.2342i
2.2342	- 1.4041i
1.4041	- 1.0000i
1.0000	+ 0.0000i

Το διάγραμμα ακτινοβολίας:



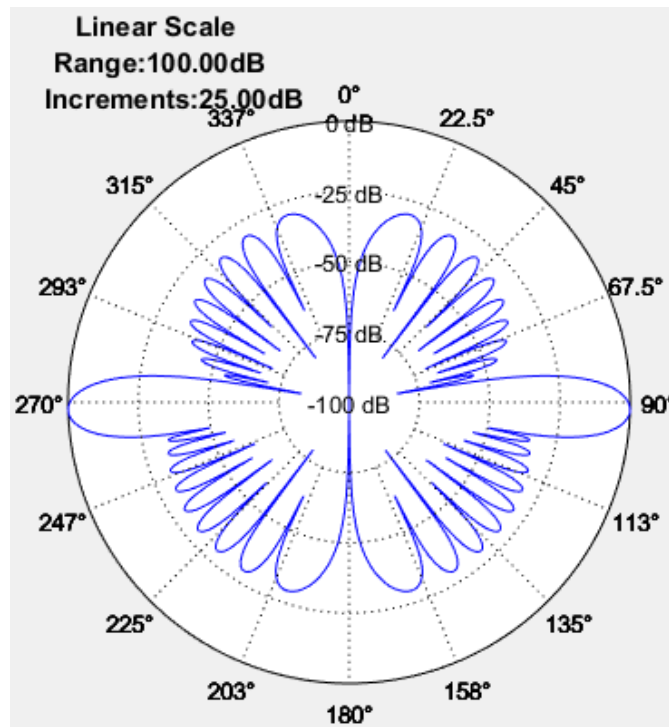
2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραιών – Σύνθεση Κεραιών

- Για $\theta_0 = 80$ μοίρες:

Η ρευματική κατανομή:

-0.8549	-	0.5189i
-0.2003	-	0.7286i
-0.5058	-	1.1593i
-0.5261	-	1.6754i
-0.4747	-	2.2481i
-0.3403	-	2.8363i
-0.1218	-	3.3919i
0.1703	-	3.8644i
0.5141	-	4.2085i
0.8785	-	4.3898i
1.2280	-	4.3898i
1.5267	-	4.2085i
1.7442	-	3.8644i
1.8595	-	3.3919i
1.8640	-	2.8363i
1.7626	-	2.2481i
1.5723	-	1.6754i
1.3191	-	1.1593i
1.0339	-	0.7286i
0.5493	-	0.5189i
1.0000	+	0.0000i

Το διάγραμμα ακτινοβολίας:



B. Μελέτη χωρητικότητας καναλιού MIMO

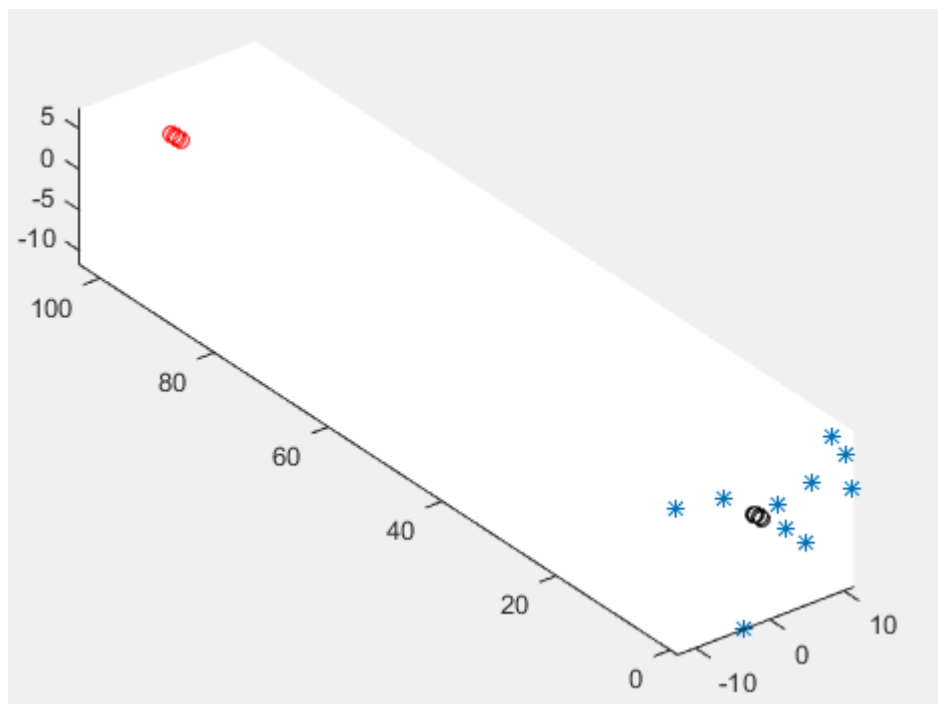
Στην άσκηση αυτή ζητήθηκε η μελέτη της χωρητικότητας συστήματος MIMO με στοιχειοκεραιές διπόλων. Σύμφωνα με το επώνυμο μου (Χρυσοβέργης), ο άξονας των στοιχειοκεραιών είναι ο άξονας y , οι σκεδαστές κατανέμονται σε ένα κουτί που βρίσκεται πίσω από την κεραία εκπομπής σε μέση απόσταση λ και έχει πάχος $3\lambda/4$ προς την διεύθυνση της ζεύξης και $DD/4$ κατά τις άλλες 2 διευθύνσεις.

Οι αλλαγές στον κώδικα σε ότι αφορά τις συντεταγμένες των διπόλων και του κουτιού με τους σκεδαστές δίνονται στην συνέχεια:

```
% Dipoles - coordinates
for i = 1:NT x_T(i) = 0; y_T(i) = (i-1)*dT; z_T(i) = 0; end
for i = 1:NR x_R(i) = 0; y_R(i) = DD + NT*dT + (i-1)*dR; z_R(i) = 0; end

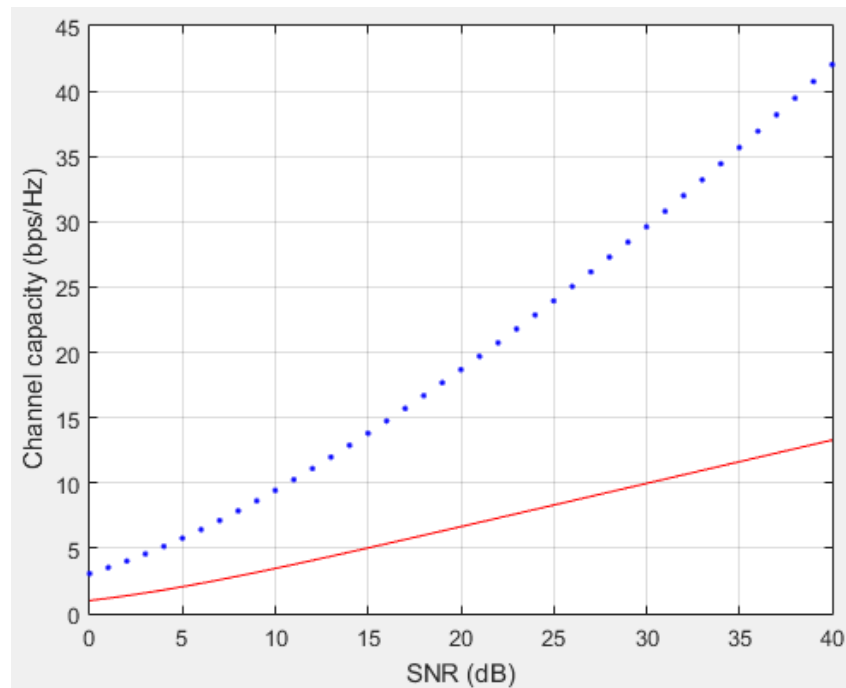
% Scatterers - box coordinates
Rx = DD/4; Ry = 3*lamda/4; Rz = Rx; % Dimensions of the box that contains the scatterers
Cx = 0; Cy = -lamda; Cz = 0; % Center of channel (scatterers)
```

Στο επόμενο διάγραμμα μπορούμε να δούμε την θέση των κεραιών και των σκεδαστών για το πρώτο ερώτημα ώστε να πάρουμε μία ιδέα του συστήματος:



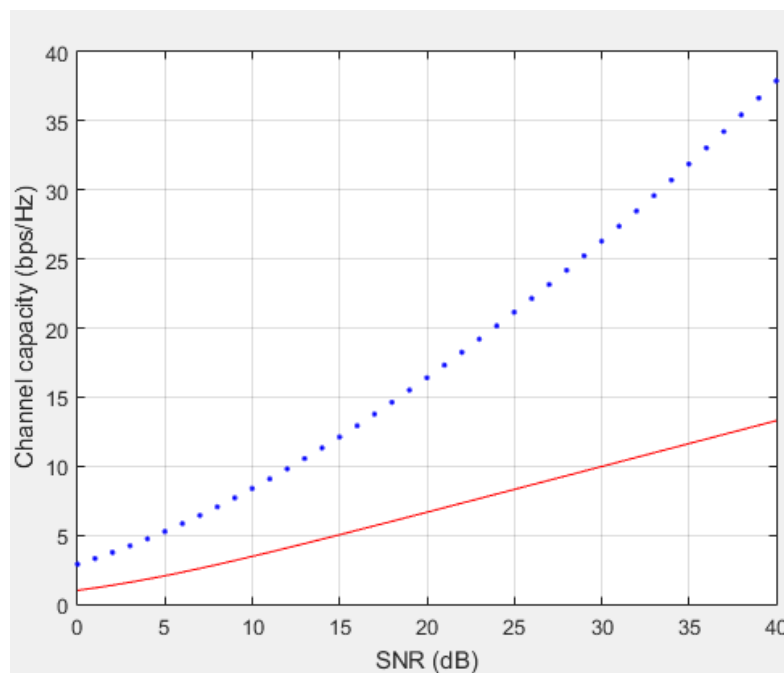
2^η εργασία στο μάθημα των Ειδικών Κεραιών – Σύνθεση Κεραιών

1. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



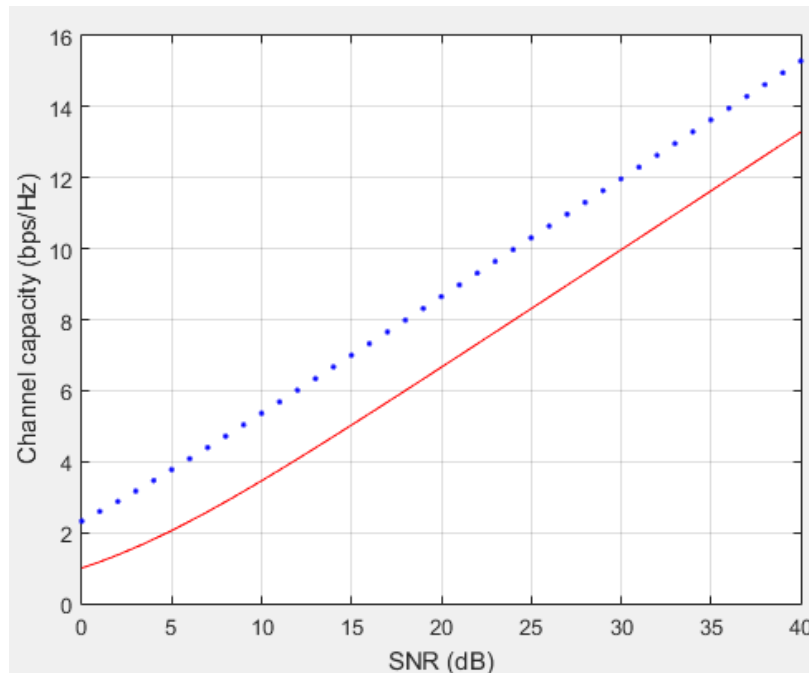
Παρατηρούμε την καλύτερη επίδοση του συστήματος με τις πολλαπλές κεραίες εκπομπής και λήψης.

2. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



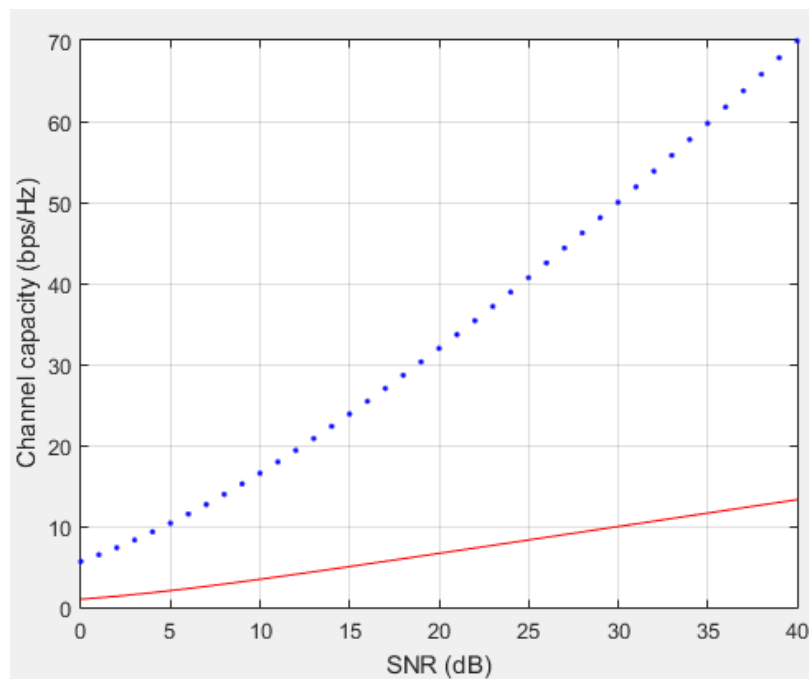
Παρατηρούμε μία πάρα πολύ μικρή μείωση της χωρητικότητας χωρίς την συνιστώσα οπτικής επαφής.

3. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



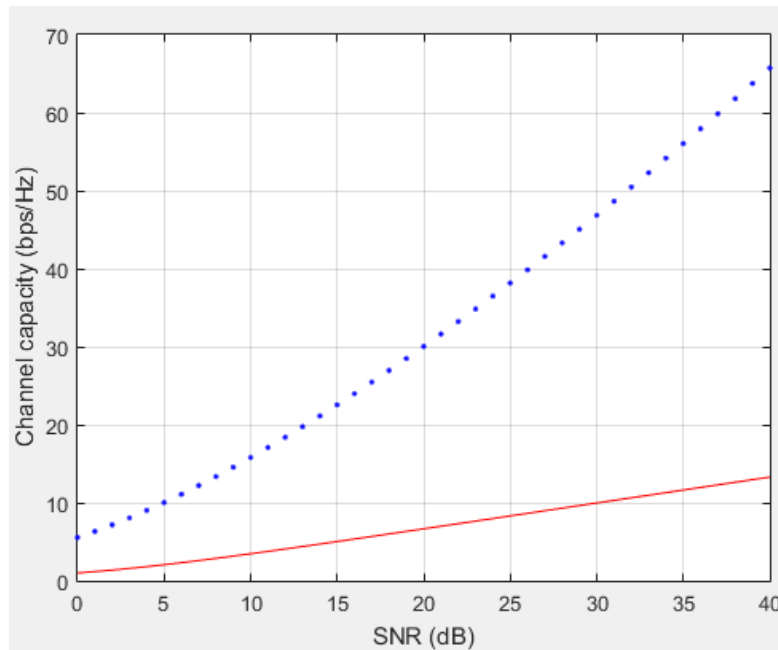
Παρατηρούμε μεγάλη μείωση της χωρητικότητας μόνο με την συνιστώσα οπτικής επαφής, δηλαδή χωρίς τους σκεδαστές.

4. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



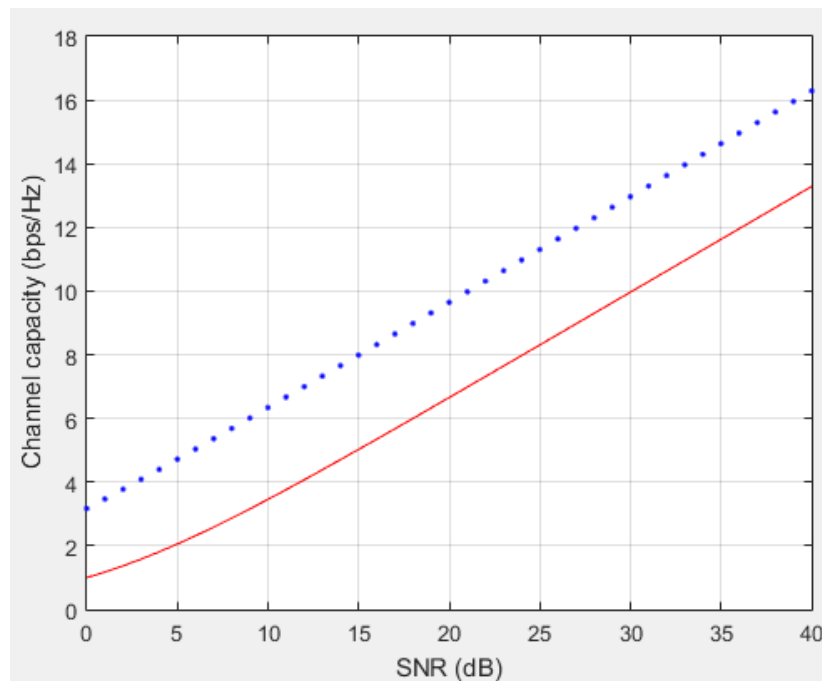
Παρατηρούμε ακόμη καλύτερη επίδοση του συστήματος με τις 8 κεραίες σε σχέση με τις 4.

5. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



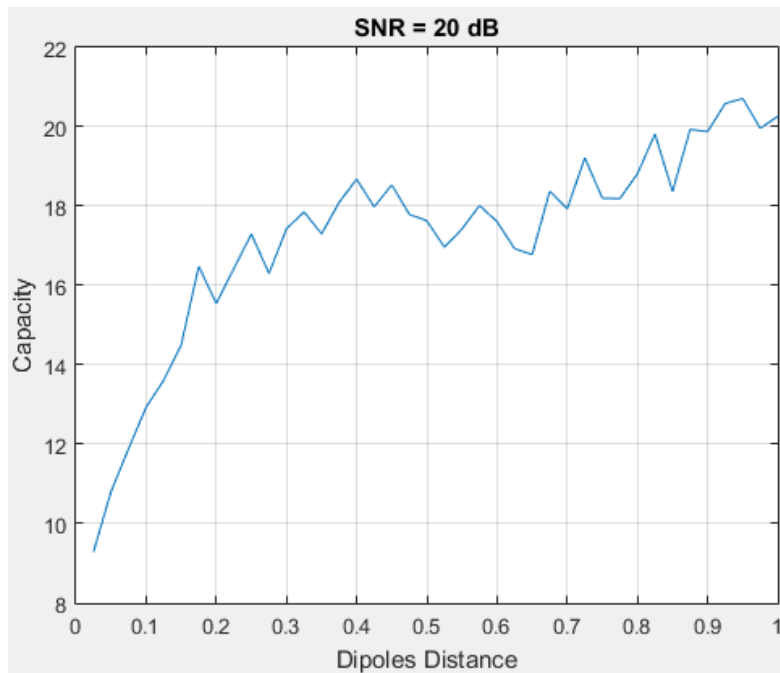
Βγάζουμε αντίστοιχα συμπεράσματα με το ερώτημα (2) αλλά με καλύτερη επίδοση του συστήματος λόγω των περισσότερων κεραιών.

6. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



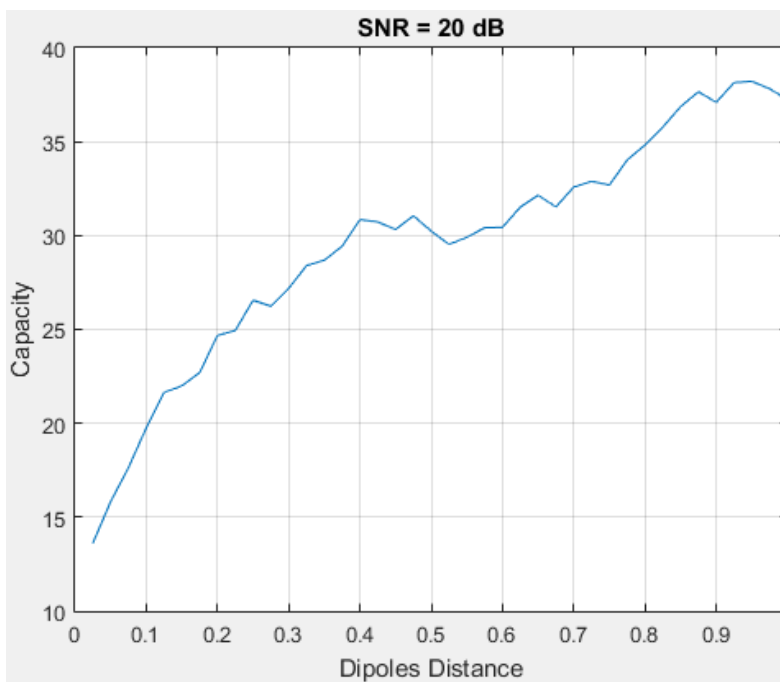
Βγάζουμε αντίστοιχα συμπεράσματα με το ερώτημα (3) αλλά με καλύτερη επίδοση του συστήματος λόγω των περισσότερων κεραιών.

7. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



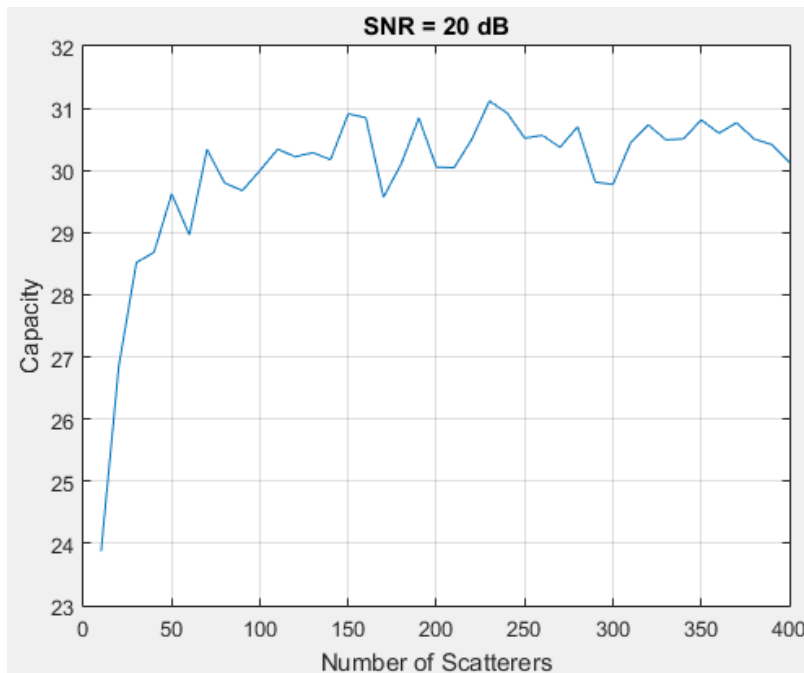
Παρατηρούμε μία κυμάτωση στην χωρητικότητα συναρτήσει της απόστασης των διπόλων, αλλά γενικά μπορούμε να δούμε ότι υπάρχει μία αυξητική τάση.

8. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



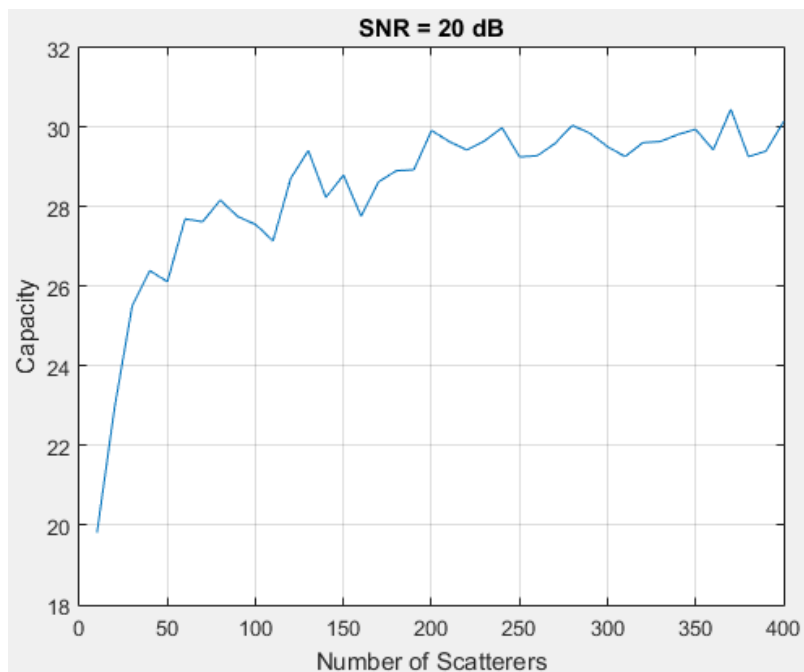
Παρατηρούμε ότι η κυμάτωση είναι μικρότερη τώρα και είναι πλέον φανερό ότι έχουμε αύξηση της χωρητικότητας με αύξηση της απόστασης των διπόλων.

9. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



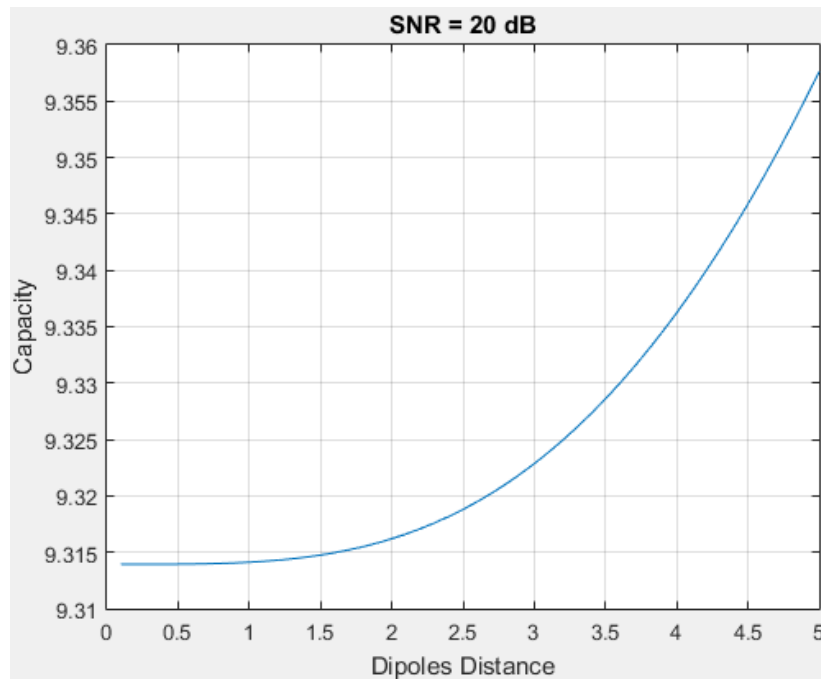
Παρατηρούμε μία κυμάτωση στην χωρητικότητα συναρτήσει του αριθμού των σκεδαστών, ενώ δεν προκύπτει κάποια αυξητική τάση για την χωρητικότητα.

10. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



Παρατηρούμε μία κυμάτωση στην χωρητικότητα συναρτήσει του αριθμού των σκεδαστών, ενώ τώρα προκύπτει αυξητική τάση για την χωρητικότητα.

11. Για τα δεδομένα του ερωτήματος προκύπτει η εξής γραφική παράσταση:



Παρατηρούμε ότι υπάρχει μη γραμμική αύξηση της χωρητικότητας με αύξηση της απόστασης των διπόλων όταν έχουμε μόνο οπτική επαφή.