



**ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ & ΔΙΑΔΟΣΗ**  
(8ου εξαμήνου)

**Μέτρηση Της Σύνθετης Αντίστασης Εισόδου Διπόλου Με Την Βοήθεια**  
**Network Analyzer**

**Ημερομηνία Παράδοσης:** 20/05/2019

**Αριθμός Ομάδας:** Ομάδα 6

**Μέλη της Ομάδας:**

Ανδριανόπουλος Ευστάθιος, ΑΜ:03114113

Αποστολίδης Παναγιώτης, ΑΜ:03114051

Γραφάκος Παναγιώτης, ΑΜ:03115045

Λιβιτσάνος Γεώργιος, ΑΜ:03115735

Μπαλλάς Αριστοτέλης, ΑΜ:03114925

Τσαμπάζη Μαρία, ΑΜ:03115716

**Σκοπός της άσκησης**

Σκοπός της άσκησης είναι, με την βοήθεια του Network Analyzer, να γίνει κατανοητή η έννοια της αντίστασης εισόδου μιας κεραίας. Η μέτρηση της σύνθετης αντίστασης εισόδου, με το Network Analyzer, θα γίνει με ή χωρίς την παρουσία ανακλαστικού επιπέδου σε διάφορες αποστάσεις

**Θεωρία**

Θα θεωρήσουμε ότι έχουμε μια κεραία λήψης. Ωστόσο, απ' το θεώρημα της αμοιβαιότητας γνωρίζουμε ότι η συμπεριφορά μιας κεραίας είναι ακριβώς ίδια σε λειτουργία λήψης αλλά και σε λειτουργία εκπομπής.

Μπορούμε να πούμε ότι η πηγή ( $Z_g=R_g+jX_g$ ) βλέπει την κεραία ως μια σύνθετη αντίσταση  $Z_a$  η οποία αποτελείται από πραγματικό και φανταστικό μέρος, δηλαδή:

$$Z_a = R_a + jX_a$$

Το πραγματικό μέρος με την σειρά του ορίζεται ως:

$$R_a = R_L + R_r$$

, όπου  $R_L$  είναι η αντίσταση που αντιστοιχεί στις απώλειες πάνω στην μεταλλική επιφάνεια της κεραίας και  $R_r$  είναι η αντίσταση που εκφράζει την ισχύ που επανακτινοβολείται από την κεραία, γνωστή ως ισχύς σκέδασης.  $Rr = 2W_{rad}/(Im)^2$  ,  $Im$ : μέγιστη τιμή της έντασης του ρεύματος τροφοδοσίας της κεραίας.

Απ' την άλλη, το φανταστικό μέρος  $\chi_a$  εκφράζει την άεργο ισχύ που καταναλώνεται από το κύκλωμα. Είναι προφανές ότι επιθυμούμε ο όρος του φανταστικού μέρους να είναι 0. Αυτό επιτυγχάνεται με προσαρμογή της γραμμής μεταφοράς στο φορτίο, η οποία επιθυμούμε να επιτυγχάνεται είτε στην συχνότητα συντονισμού είτε το σύστημα μας να βρίσκεται πολύ κοντά σε προσαρμογή σε μια περιοχή γύρω από την συχνότητα συντονισμού. Με την προσαρμογή λοιπόν μπορούμε να εξαλείψουμε το φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης και να έχουμε μια καθαρά ωμική αντίσταση στην κεραία.

Στην περίπτωση που η κεραία που θέλουμε να αναλύσουμε δεν βρίσκεται μόνη της στον χώρο θεωρούμε ότι η αντίσταση εισόδου της χωρίζεται στην ίδια αντίσταση, που είναι η αντίσταση εισόδου μετρημένη στους ακροδέκτες της, όταν αυτή βρίσκεται μόνη της στο χώρο και στην αμοιβαία αντίσταση που είναι η αντίσταση εισόδου που εμφανίζεται όταν η κεραία συζεύγνυται με άλλους ακτινοβολητές, δηλαδή όταν υπάρχουν κοντά στην κεραία και άλλους ακτινοβολητές.

Στην συγκεκριμένη άσκηση τοποθετούμε έναν ανακλαστήρα, τον οποίο θεωρούμε ως άπειρο αγώγιμο επίπεδο. Έτσι, σύμφωνα με την θεωρία των ειδώλων, όταν η κεραία βρεθεί κοντά του είναι σα να υπάρχει μια όμοια κεραία με αυτή που απέχει ίδια απόσταση απ' την άλλη πλευρά του ανακλαστήρα.

Για τον προσδιορισμό τόσο της ιδίας όσο και της αμοιβαίας αντίστασης έχουν βρεθεί αναλυτικές μέθοδοι υπολογισμού. Τελικά η σύνθετη αντίσταση υπολογίζεται ως:

$$Z_{in} = Z_{11} + Z_{12}$$

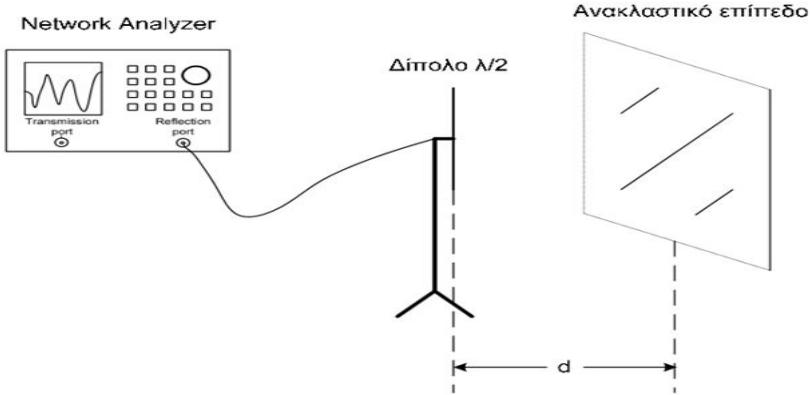
Ωστόσο οι αναλυτικοί υπολογισμοί είναι αρκετά περίπλοκοι και απαιτούν αρκετούς υπολογισμούς, με αποτέλεσμα πρακτικά να μην χρησιμοποιούνται. Για τον προσδιορισμό λοιπόν της σύνθετης αντίστασης εισόδου μιας κεραίας σε μια πειραματική διάταξη χρησιμοποιούμε κατάλληλα εργαλεία, όπως είναι το Network Analyzer. Το Network Analyzer είναι ένα όργανο μέτρησης μικροκυματικών στοιχείων. Στην διάταξη του εργαστηρίου μετρήσαμε τις τιμές του κύματος που ανακλάται στην κατάλληλη θύρα, τις τιμές της αντίστασης εισόδου της κεραίας, τον συντελεστή ανάκλασης και τον λόγο στάσιμου κύματος. Την ιδία αντίσταση της κεραίας τη μετράμε στο σημείο τροφοδότησης της κεραίας σε συνθήκες ελευθέρου χώρου (reflection port).

## Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από τα εξής:

- Network Analyzer
- Ανακλαστήρα
- Ένα δίπολο  $\lambda/2$  το οποίο βρίσκεται σε κινητή βάση, ώστε να μεταβάλλουμε την απόσταση του από τον ανακλαστήρα
- Ομοαξονικό καλώδιο που συνδέει την κεραία με την θύρα ανάκλασης του Network Analyzer.

Αυτά φαίνονται και στο παρακάτω σχήμα:

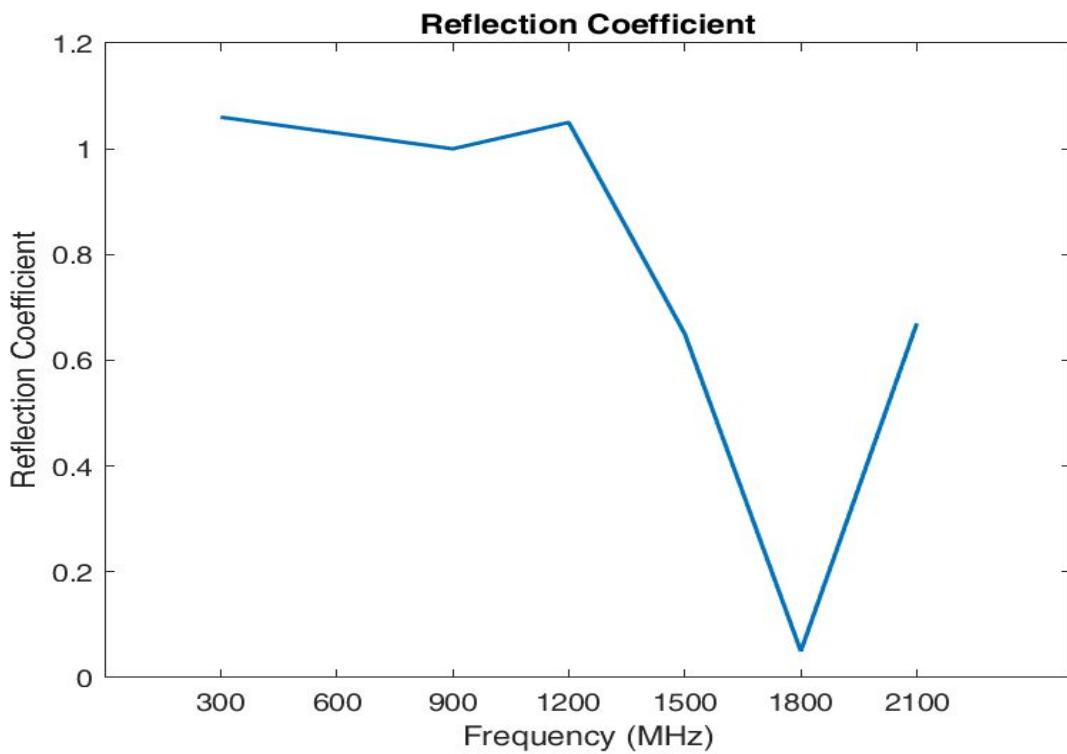


### Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων

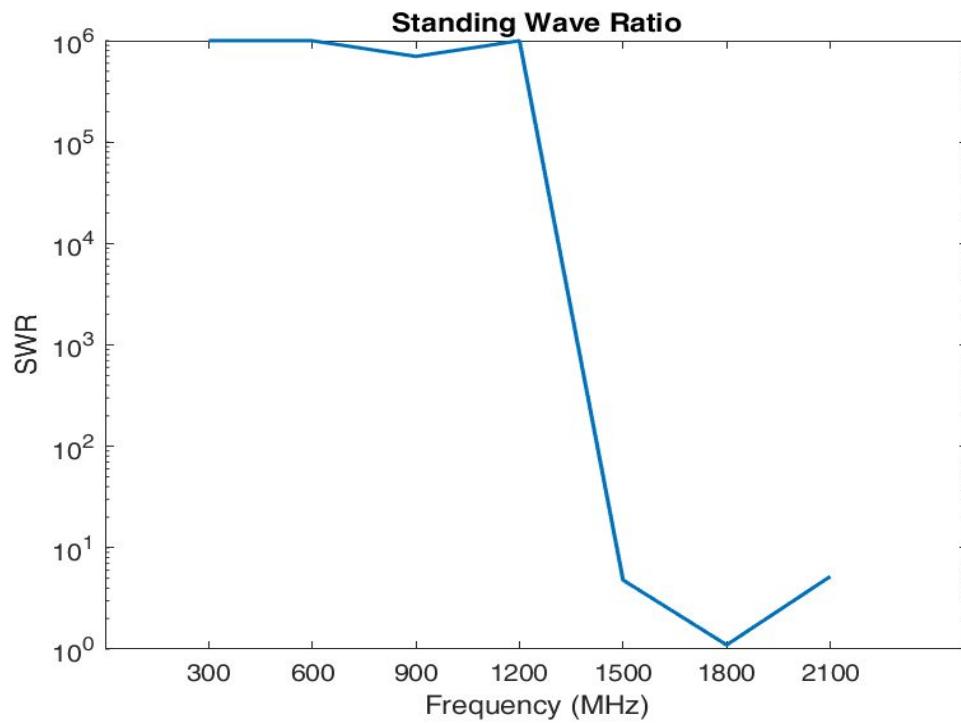
Λάβαμε μετρήσεις για διάφορες συχνότητες λειτουργίας της κεραίας με βήμα 300 MHz.

| Συχνότητα (MHz) | $ \rho_L $ | SWR             | $R_{11} (\Omega)$ | $X_{11} (\Omega)$ | Φορτίο |
|-----------------|------------|-----------------|-------------------|-------------------|--------|
| 300             | 1.06       | $10^6$          | -6.3              | -88               | 6 pF   |
| 600             | 1.03       | $10^6$          | 2                 | -28               | 9.2 pF |
| 900             | 1          | $7 \times 10^5$ | 2.8               | -6.7              | 26 pF  |
| 1200            | 1.05       | $10^6$          | -1.6              | 29.5              | 3.9 nH |
| 1500            | 0.65       | 4.8             | 29.6              | 52.6              | 5.5 nH |
| 1800            | 0.05       | 1.1             | 44.8              | -0.7              | 115 pF |
| 2100            | 0.67       | 5.2             | 220               | 88                | 6.6 nH |

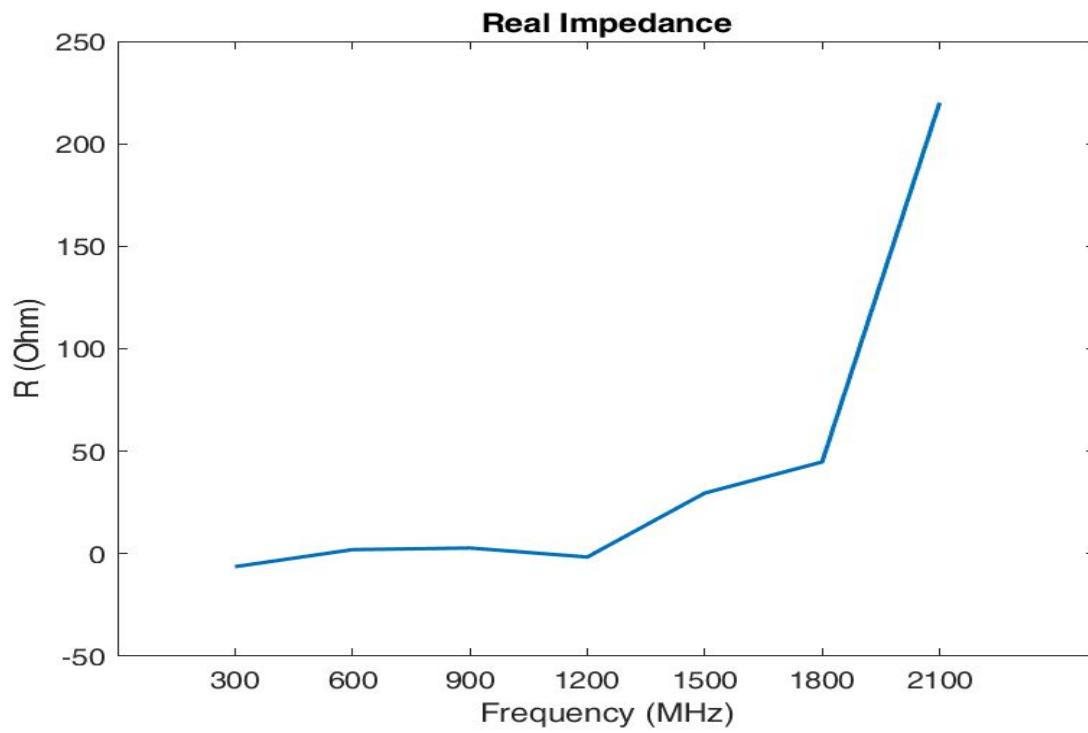
Τα παραπάνω αποτελέσματα παρουσιάζονται και στα ακόλουθα διαγράμματα.



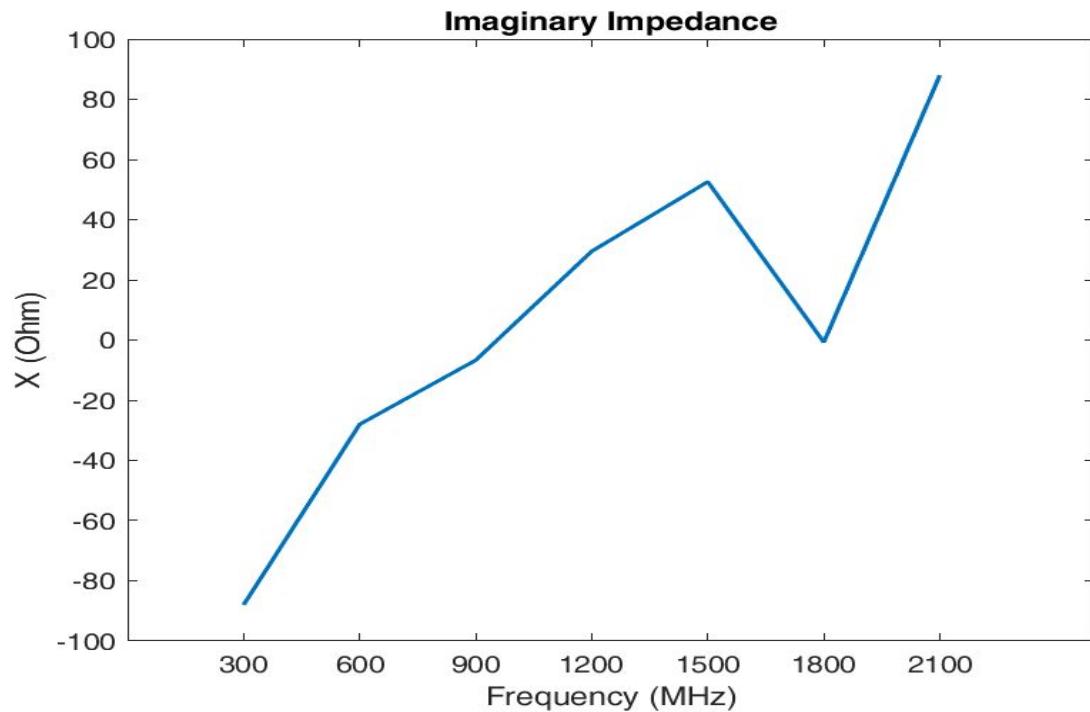
-Συντελεστής ανάκλασης



-SWR



- Πραγματικό μέρος  $R_{11}$  της ιδίας αντίστασης



- Φανταστικό μέρος  $X_{11}$  της ιδίας αντίστασης

Από τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε πως η συχνότητα συντονισμού είναι 1800 MHz, αφού σ' αυτήν την τιμή ο συντελεστής ανάκλασης ρ σχεδόν μηδενίζεται και το φανταστικό μέρος της ιδίας σύνθετης αντίστασης έχει την ελάχιστη τιμή (κατά μέτρο). Επίσης, σημειώνουμε τις τιμές  $R_{11} = 44.8 \Omega$  και  $X_{11} = -0.7 \Omega$ , ως την ίδια αντίσταση στη συχνότητα συντονισμού.

Για  $\rho=0$  έχουμε μέγιστη μεταφορά ισχύος, εν αντιθέσει με την περίπτωση όπου  $\rho=1$  (τέλεια ανάκλαση). Από το συνδυασμό αυτό  $\rho=0$ ,  $SWR=1$ , αντίσταση φορτίου =  $Z_0$  (χαρακτηριστική αντίσταση γραμμής μεταφοράς), έχουμε προσαρμογή (δλδ. σαν να έχουμε άπειρη γραμμή).

Κατόπιν τοποθετείται το ανακλαστικό επίπεδο και δίνονται οι μετρήσεις της σύνθετης αντίστασης εισόδου, για την συχνότητα συντονισμού της κεραίας, συναρτήσει της απόστασης του ανακλαστικού επιπέδου από το δίπολο.

| Απόσταση (cm) | $ \rho_L $ | SWR  | $R_{in} (\Omega)$ | $X_{in} (\Omega)$ | Φορτίο  |
|---------------|------------|------|-------------------|-------------------|---------|
| 33            | 0.03       | 1.05 | 48.2              | 1.9               | 180 pH  |
| 30            | 0.09       | 1.2  | 41.5              | 0.4               | 50 pH   |
| 27            | 0.04       | 1.09 | 46.7              | -2.7              | 31 pF   |
| 24            | 0.06       | 1.1  | 47                | 4.4               | 380 pH  |
| 21            | 0.09       | 1.2  | 41                | -0.8              | 100 pF  |
| 18            | 0.02       | 1.05 | 50.2              | -1                | 70 pF   |
| 15            | 0.1        | 1.2  | 42                | 6.9               | 620 pH  |
| 12            | 0.15       | 1.3  | 40                | -7.5              | 11.9 pF |
| 9             | 0.12       | 1.2  | 61                | 3.3               | 320 pH  |
| 6             | 0.27       | 1.7  | 38                | 19.7              | 1.7 nH  |
| 3             | 0.8        | 12   | 5.2               | 1.3               | 100 pH  |

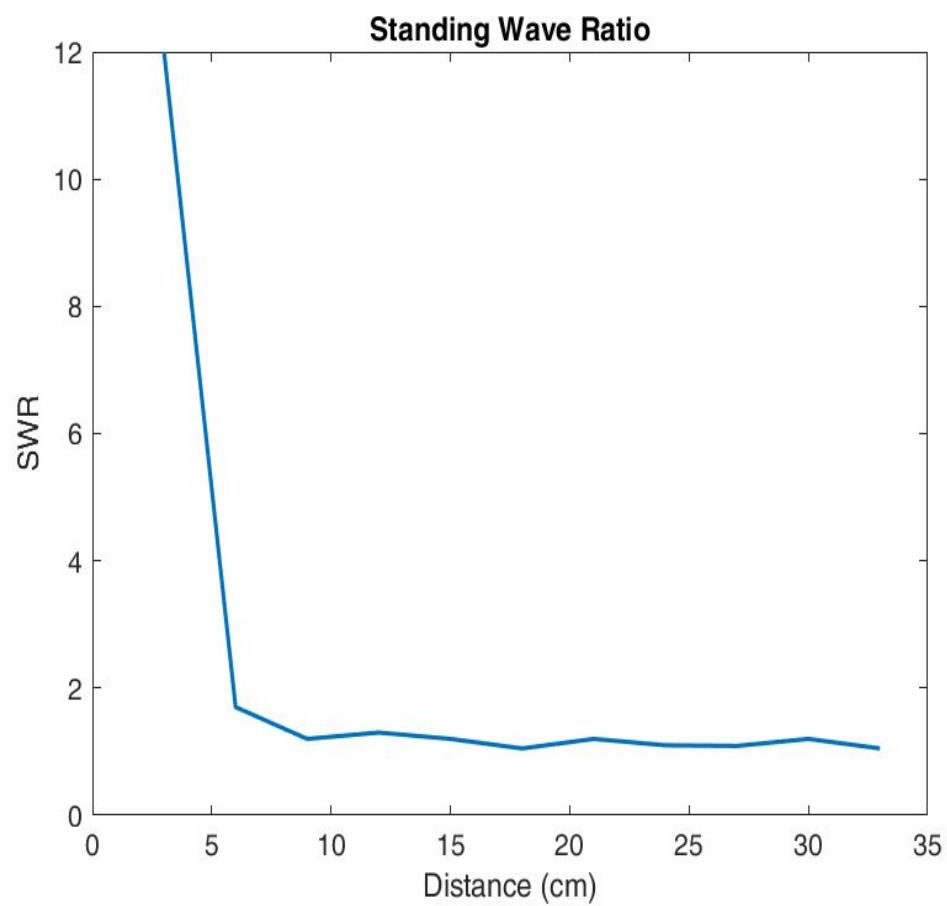
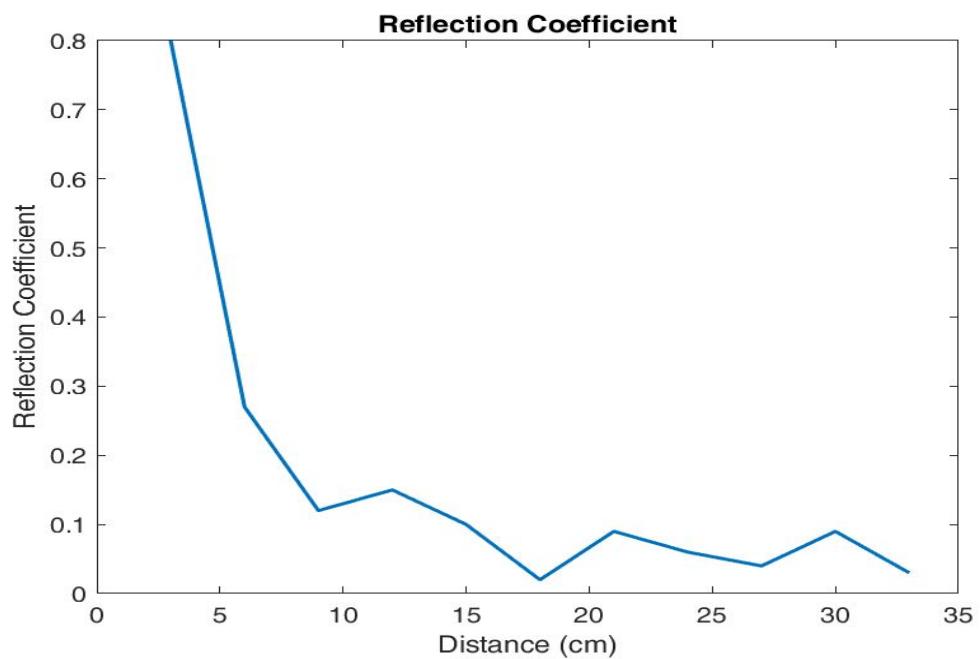
Μεταβάλλαμε την απόσταση μεταξύ του διπόλου και του ανακλαστήρα,  $d$ , από τα 33 cm έως τα 3 cm με βήμα 3 cm.

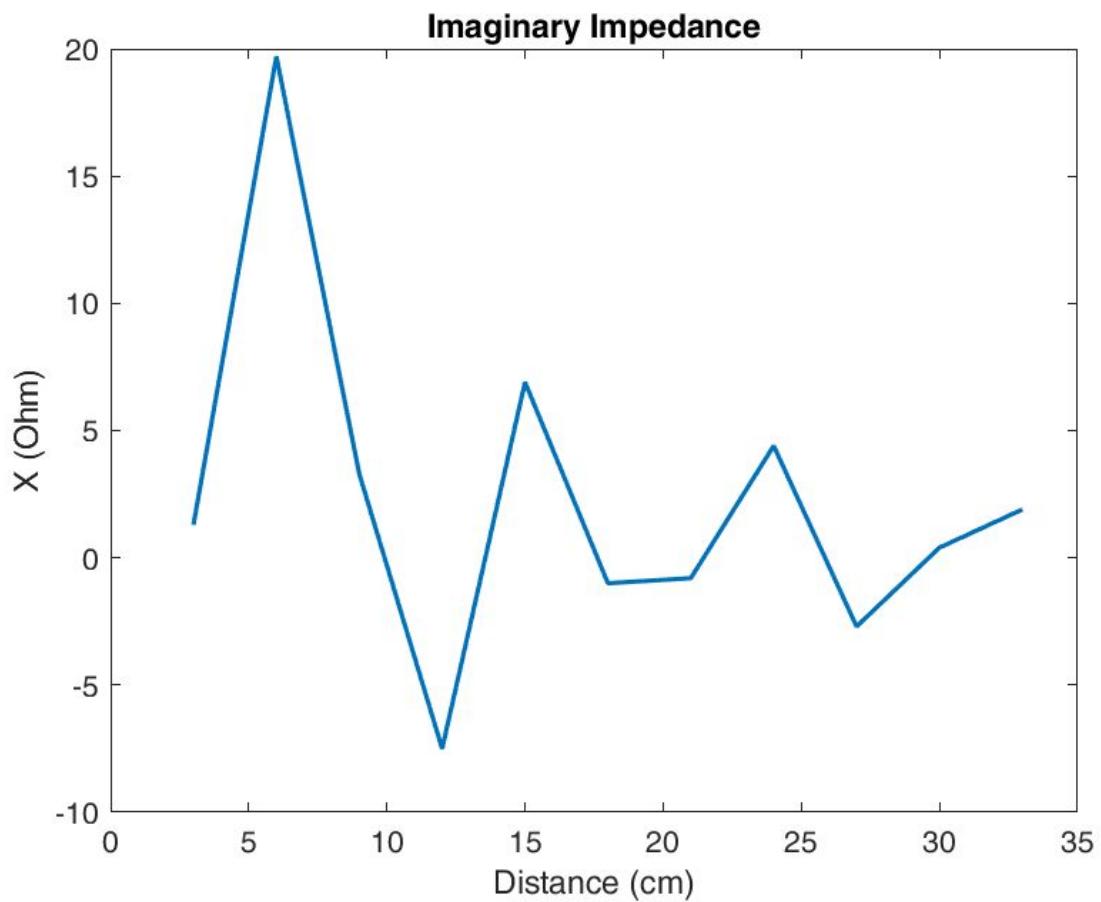
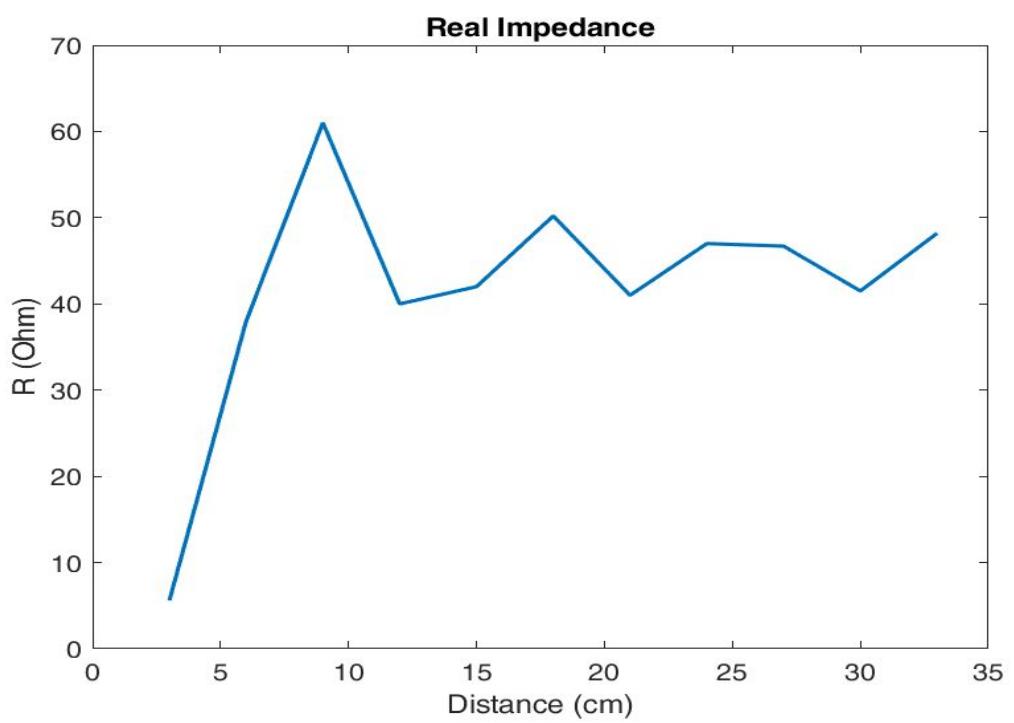
Έχοντας βρει την ίδια αντίσταση της κεραίας στη συχνότητα συντονισμού από την πρώτη σειρά μετρήσεων ( $Z_{11} = 44.8 - j0.7 \Omega$ ) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη

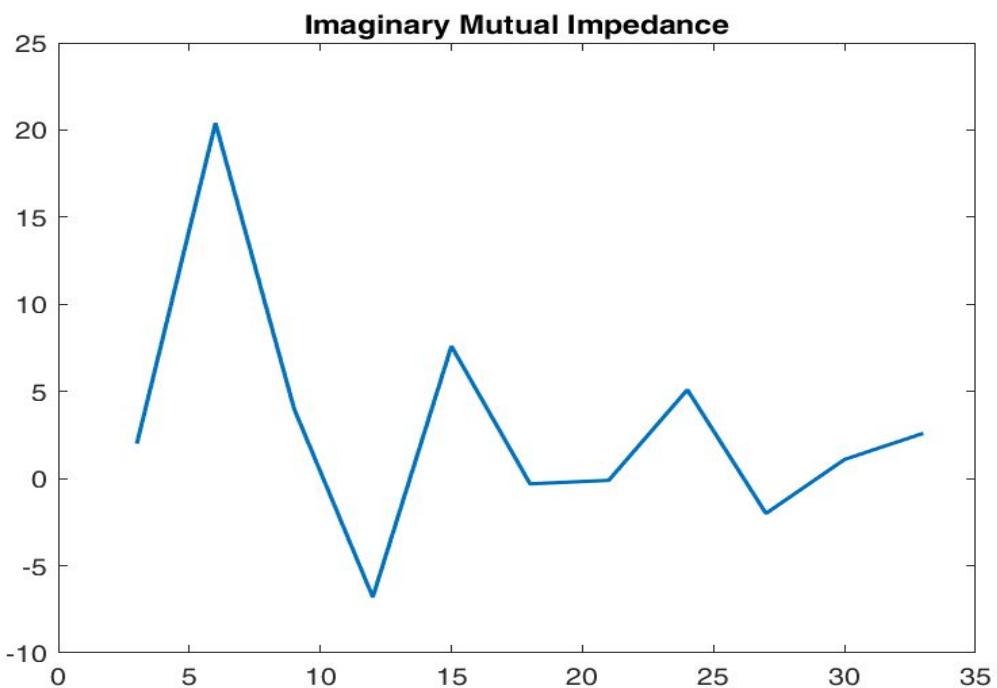
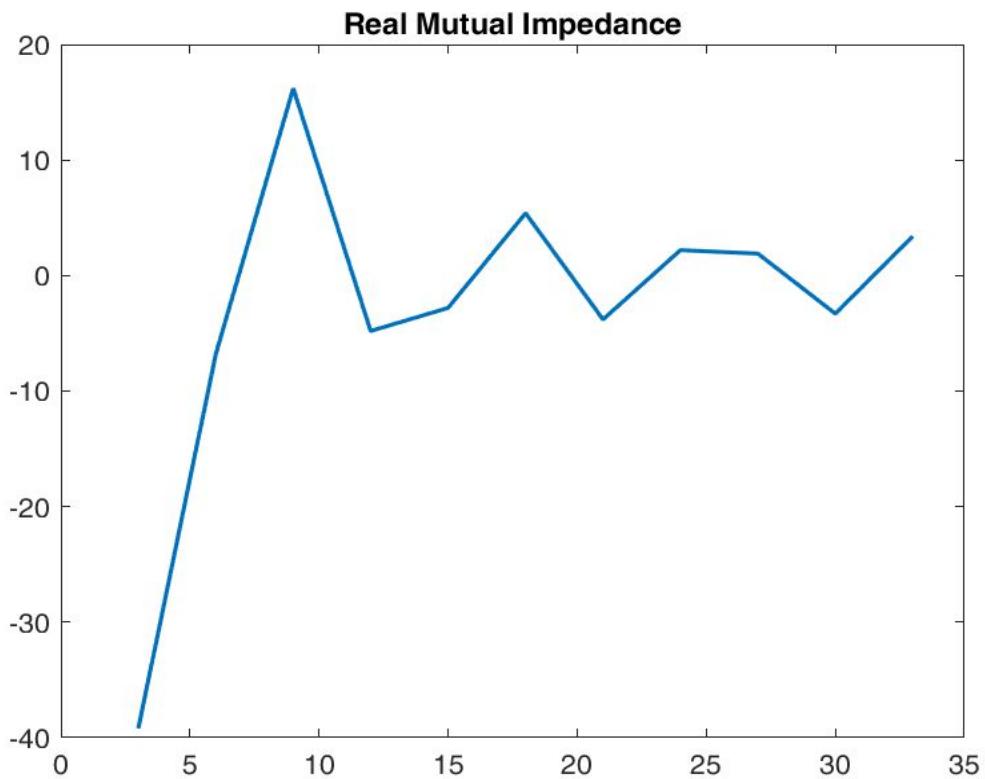
σχέση  $Z_{in} = Z_{11} + Z_{12}$  για να υπολογίσουμε την αμοιβαία αντίσταση της κεραίας  $Z_{12}$  για κάθε σημείο μέτρησης. Παίρνουμε επομένως:

| <b>Απόσταση</b> | <b><math>R_{in}</math> (<math>\Omega</math>)</b> | <b><math>X_{in}</math> (<math>\Omega</math>)</b> | <b><math>R_{12}</math> (<math>\Omega</math>)</b> | <b><math>X_{12}</math> (<math>\Omega</math>)</b> |
|-----------------|--|--|--|--|
| 33              | 48.2   | 1.9  | 3.4  | 2.6  |
| 30              | 41.5   | 0.4  | -3.3   | 1.1  |
| 27              | 46.7   | -2.7   | 1.9  | -2   |
| 24              | 47   | 4.4  | 2.2  | 5.1  |
| 21              | 41   | -0.8   | -3.8   | -0.1   |
| 18              | 50.2   | -1   | 5.4  | -0.3   |
| 15              | 42   | 6.9  | -2.8   | 7.7  |
| 12              | 40   | -7.5   | -4.8   | -6.8   |
| 9               | 61   | 3.3  | 16.2   | 4  |
| 6               | 38   | 19.7   | -6.8   | 20.4   |
| 3               | 5.2  | 1.3  | -39.6  | 2  |

Τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνονται και στα ακόλουθα διαγράμματα.







Το μέτρο της αμοιβαίας αντίστασης εισόδου υπολογίστηκε από την σχέση:  
 $|Z_{12}| = ((R_{12})^2 + (X_{12})^2)^{0.5}$

Οι αποκλίσεις μεταξύ θεωρητικών και πειραματικών δεδομένων οφείλονται στα εξής:

1. Η παρουσία μας στο κοντινό πεδίο του διπόλου.
2. Η λειτουργία οργάνων σε παρόμοια συχνότητα, λόγω των άλλων ασκήσεων που πραγματοποιούνται ταυτόχρονα
3. Τα κινητά τηλέφωνα, τα οποία λειτουργούν στην περιοχή των 900 ή των 1800 MHz, συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα.
4. Η κοντινή απόσταση του εργαστηρίου από τον Υμηττό, στον οποίο υπάρχουν κεραίες τηλεόρασης, ραδιοφωνίας και τηλεφωνίας.
5. Τα ανθρώπινα σφάλματα στο στήσιμο της διάταξης και στην λήψη των μετρήσεων.