



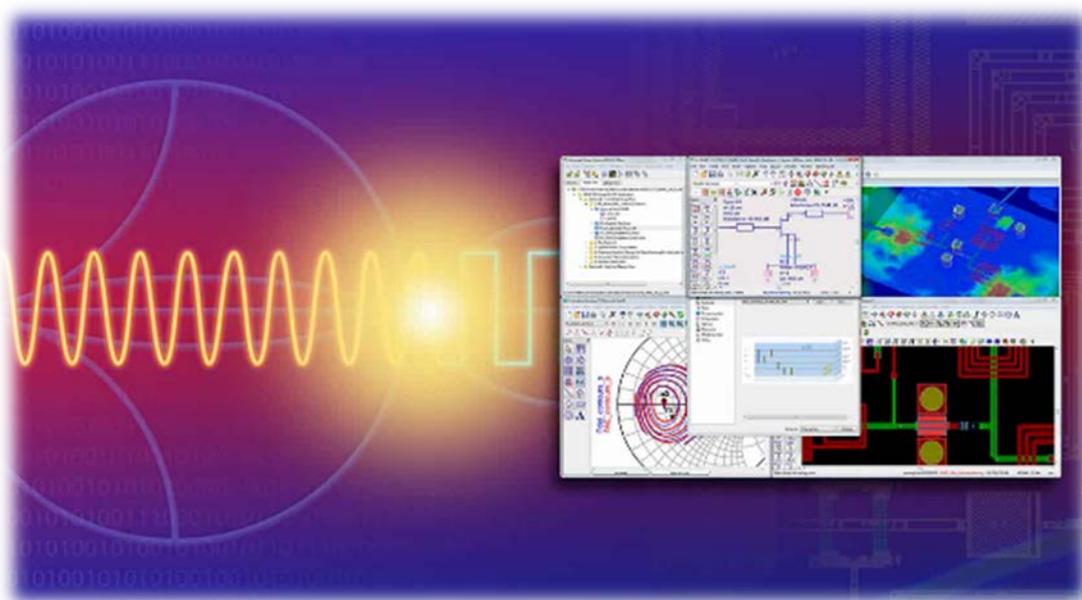
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ

ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση και υλοποίηση φίλτρων
μικροκυματικής τεχνολογίας



Φοιτητής: Γεωργάκης Γεώργιος

Επιβλέπων Καθηγητής: Βότης Κωνσταντίνος

ΑΡΤΑ
2014

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

Η παρούσα εργασία αποτελεί έργο αποκλειστικά του φοιτητή και φέρει την ευθύνη για τα όσα αναγράφονται σε αυτή. Όλες οι προτάσεις και οι ιδέες που διατυπώνονται στο κείμενο και ανήκουν σε άλλους συγγραφείς παρουσιάζονται συνολικά στο τέλος στη βιβλιογραφία από την πηγή την οποία αντλήθηκαν και δεν υφίσταται λογοκλοπή. Η εργασία εκπονήθηκε για εκπαιδευτικό σκοπό ως μέρος της εκπαιδευτικής διαδικασίας της σχολής Μηχανικών Πληροφορικής- ΤΕΙ Ηπείρου. Για την περάτωσή της συνέβαλε σημαντικά και καθοριστικά η χρήση του λογισμικού Advanced Design System (ADS) που διατίθεται στο τμήμα του ΤΕΙ.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Βότη Κωνσταντίνο για την ανάθεση της πτυχιακής εργασίας σε ένα αντικείμενο που είχε μεγάλο ενδιαφέρον και κατάφερα να διευρύνω το γνωστικό μου επίπεδο ανακαλύπτοντας καινούρια πράγματα που πιθανώς με βοηθήσουν στο μέλλον. Επίσης σε κάθε μου απορία υπήρχε πάντα άμεση απάντηση εκ μέρους του και μου έδινε τις απαραίτητες κατευθύνσεις για την ολοκλήρωση της εργασίας. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ιθύνοντες για την άδεια που μου έδωσαν να χρησιμοποιήσω το λογισμικό ADS ώστε να φέρω εις πέρας την παρούσα πτυχιακή εργασία

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΠΕΛΙΔΗΨΗ</u>	4
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 (ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΕ ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ)</u>	5
1.1 Σήματα για τη μετάδοση αναλογικών και ψηφιακών δεδομένων.....	5
1.2 Βασικές έννοιες του σήματος.....	5
1.3 Decibel (dB).....	6
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 (ΦΙΛΤΡΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ)</u>	8
2.1 Τι είναι φίλτρο συχνοτήτων.....	8
2.2 Κατηγορίες φίλτρων.....	8
2.2.1 Αναλογικά φίλτρα.....	8
2.2.2 Ψηφιακά φίλτρα.....	9
2.3 Διαφορές αναλογικών και ψηφιακών φίλτρων.....	9
2.4 Τα είδη των φίλτρων.....	9
2.4.1 Χαμηλοπερατό φίλτρο.....	10
2.4.2 Υψηλοπερατό φίλτρο.....	11
2.4.3 Ζωνοπερατό φίλτρο.....	12
2.5 Τάξη φίλτρου.....	13
2.6 Προσέγγιση Butterworth.....	14
2.7 Προσέγγιση Chebyshev.....	14
2.8 Προσέγγιση Bessel.....	16
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 (ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ)</u>	18
3.1 Εισαγωγή στα μικροκύματα.....	18
3.2 Τι είναι τα μικροκύματα.....	19
3.3 Χαρακτηριστικά των μικροκυμάτων.....	19
3.4 Φάσμα και ζώνες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	21
3.5 Φάσμα και ζώνες συχνοτήτων.....	23
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 (ΜΙΚΡΟΤΑΙΝΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ)</u>	25
4.1 Μικροταινία ή Microstrip line.....	25
4.2 Δομή του φίλτρου μικροταινίας (microstrip).....	25

4.3 Ταχύτητα διάδοσης και ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μικροταινίας.....	26
4.4 Μοντελοποίηση μικροταινίας – Lumped Elements LC.....	27
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 (ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΧΑΜΗΛΟΠΕΡΑΤΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ)</u>	30
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 (ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΒΗΜΑ-ΒΗΜΑ ΧΑΜΗΛΟΠΕΡΑΤΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ – ADS)</u>	34
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ-ΑΝΑΦΟΡΕΣ</u>	49

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει σκοπό να δώσει στους αναγνώστες να καταλάβουν την λειτουργία,τη δομή αλλά και τις εφαρμογές ενός φίλτρου συχνοτήτων που βασίζεται στη μικροκυματική τεχνολογία. Πιο συγκεκριμένα, στην αρχή γίνεται αναφορά γενικότερα στα φίλτρα συχνοτήτων και τη λειτουργία τους. Στη συνέχεια αναλύονται τα μικροκύματα, αναφέροντας την ιστορία τους και τη μετέπειτα εξέλιξη τους και καθιέρωση στη σύγχρονη εποχή της ανεπτυγμένης τεχνολογίας. Έπειτα γίνεται ανάλυση της μικροταινίας η οποία με λίγα λόγια είναι η γραμμή μεταφοράς των συχνοτήτων και τη συνολική κατασκευή της που ουσιαστικά αποτελεί και το φίλτρο μας. Κάνουμε το σχέδιο ενός χαμηλοπερατού φίλτρου με τις απαραίτητες ενέργειες και υπολογισμούς που χρειάζονται και στο τέλος με βάση το σχέδιο που καταλήξαμε το μεταφέρουμε στο λογισμικό προσομοίωσης ADS όπου γίνεται ακριβής απεικόνιση των βημάτων που πρέπει να ακολουθήσουμε ώστε να το φέρουμε στο τελικό στάδιο. Χάρη στις πολλές και χρήσιμες δυνατότητες του λογισμικού μπορούμε να δούμε τη μορφή που θα έχει το φίλτρο μας σχεδιαστικά αλλά και τρισδιάστατη απεικόνιση για πιο ρεαλιστική εικόνα του φίλτρου. Παρουσιάζονται τρία χαμηλοπερατά φίλτρα με διαφορετικές συχνότητες για σύγκριση μεταξύ τους και με τη βοήθεια των γραφικών παραστάσεων μπορούμε να επαληθεύσουμε την ορθή λειτουργία τους και να βγάλουμε τα συμπεράσματά μας.

Λέξεις κλειδιά :

φίλτρο συχνοτήτων , μικροκύματα , μικροταινία , χαμηλοπερατό φίλτρο, ADS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

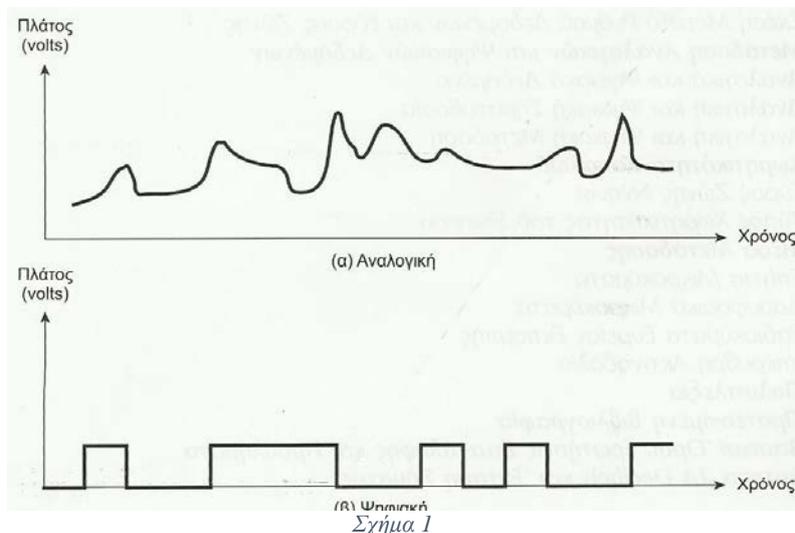
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΕ ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1 Σήματα για τη μετάδοση αναλογικών και ψηφιακών δεδομένων

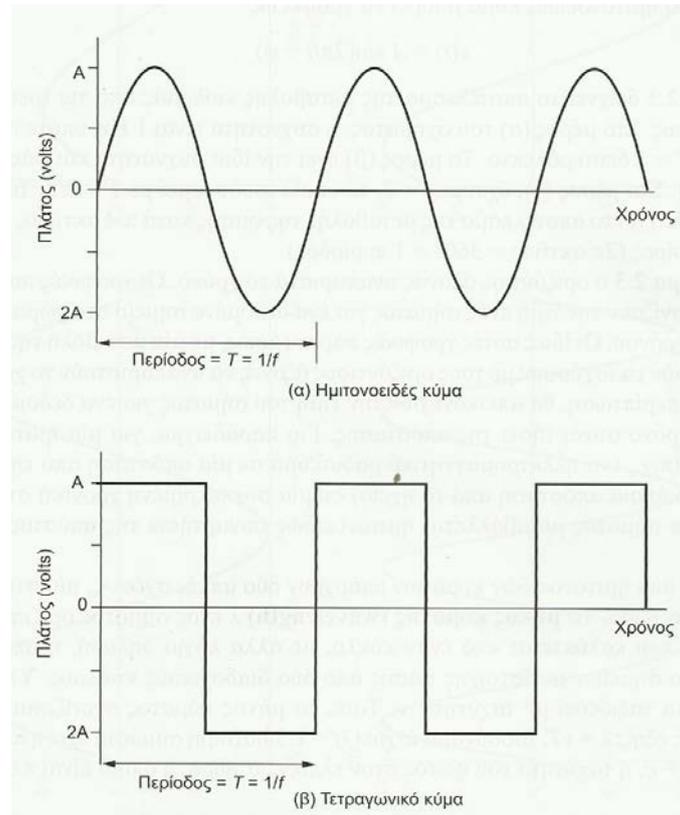
Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα χρησιμοποιούνται ως μέσο για τη μετάδοση δεδομένων. Ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα είναι συνάρτηση του χρόνου, αλλά μπορεί να εκφραστεί και ως συνάρτηση της συχνότητας επειδή αποτελείται από συνιστώσες διαφορετικών συχνοτήτων. Οι όροι αναλογικό και ψηφιακό αντιστοιχούν κατά προσέγγιση στους όρους συνεχές και διακριτό αντίστοιχα. Αυτοί οι δύο όροι χρησιμοποιούνται συχνά στις επικοινωνίες δεδομένων σε τρία τουλάχιστον πεδία: δεδομένα, σήματα και μετάδοση. Εν συντομία ως δεδομένα (data) ορίζουμε τις οντότητες που μεταφέρουν κάποια έννοια ή πληροφορία. Τα σήματα (signals) είναι ηλεκτρικές ή ηλεκτρομαγνητικές αναπαράστασεις των δεδομένων. Η μετάδοση (transmission) είναι η επικοινωνία δεδομένων με τη διάδοση και την επεξεργασία των σημάτων.(1)

1.2 Βασικές έννοιες του σήματος

Αν ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα θεωρηθεί ως συνάρτηση του χρόνου μου μπορεί να είναι αναλογικό η ψηφιακό. Ένα αναλογικό η διακριτό σήμα είναι ένα σήμα του οποίου η ένταση μεταβάλλεται ομαλά στο χρόνο. Με άλλα λόγια δεν υπάρχουν διακοπές ή ασυνέχειες στο σήμα. Ένα ψηφιακό ή διακριτό σήμα είναι ένα σήμα του οποίου η ένταση διατηρεί ένα σταθερό επίπεδο για μια χρονική περίοδο και μετά αλλάζει σε ένα άλλο σταθερό επίπεδο. Το σχήμα 1 δείχνει παραδείγματα και για τους δύο τύπους σημάτων. Το αναλογικό σήμα αναπαριστά ομιλία ενώ το διακριτό σχήμα μπορεί να αναγνωρίσει τα δυαδικά ψηφία 0 και 1. Η απλούστερη μορφή σήματος είναι το περιοδικό σήμα στο οποίο η ίδια μορφή σήματος επαναλαμβάνεται στο χρόνο. Το σχήμα 2 δείχνει ένα παράδειγμα ενός περιοδικού αναλογικού σήματος(ημιτονοειδές κύμα) και ενός περιοδικού ψηφιακού σήματος (τετραγωνικό κύμα).



Αναλογική και ψηφιακή κυματομορφή



Σχήμα 2

Παραδείγματα περιοδικών σημάτων

Το ημίτονοειδές κύμα είναι το θεμελιώδες αναλογικό σήμα. Ένα γενικό ημιτονοειδές κύμα μπορεί να αναπαρασταθεί από τρεις παραμέτρους: το μέγιστο πλάτος (A), τη συχνότητα (f) και τη φάση (φ). Το **μέγιστο πλάτος (peak amplitude)** είναι η μέγιστη τιμή ή ένταση του σήματος στο χρόνο. Η **συχνότητα (frequency)** είναι ο ρυθμός (σε κύκλους ανα δευτερόλεπτο ή Hertz) κατά τον οποίο το σήμα επαναλαμβάνεται. Μια ισοδύναμη παράμετρος είναι η **περίοδος (period)** T του σήματος, η οποία είναι ο χρόνος που χρειάζεται για μια επανάληψη και συνεπώς ισχύει $T = 1/f$. Η **φάση (phase)** είναι μέτρηση της σχετικής θέσης στο χρόνο μέσα σε μία περίοδο του σήματος. Επίσης **μήκος κύματος (wavelength)** λ ενός σήματος ορίζεται ως η απόσταση που καλύπτεται από έναν κύκλο, η απόσταση δηλαδή μεταξύ δύο σημείων αντίστοιχης φάσης από δύο διαδοχικούς κύκλους. (1)

1.3 Decibel (dB)

Μία σημαντική παράμετρος σε οποιοδήποτε σύστημα μετάδοσης είναι η ισχύς του σήματος. Καθώς ένα σήμα διαδίδεται κατά μήκος ενός μέσου μετάδοσης εμφανίζεται απώλεια ή εξασθένηση της ισχύος του σήματος. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού χρησιμοποιούνται ενισχυτές σε διάφορα σημεία οι οποίοι

παρέχουν μία απολαβή στην ισχύ των σημάτων. Είναι πολύ συνηθισμένο να εκφράζουμε την απολαβή, τις απώλειες και τα σχετικά επίπεδα σε decibel για τους εξής λόγους:

- Η ισχύς του σήματος συχνά μειώνεται λογαριθμικά και συνεπώς οι απώλειες μπορούν να εκφραστούν εύκολα σε decibel το οποίο είναι μία λογαριθμική μονάδα.
- Το καθαρό κέρδος ή η απώλεια μιας συνολικής διαδρομής μετάδοσης η οποία αποτελείται από επιμέρους διαφορετικές διαδρομές μπορούν να υπολογιστούν με απλή πρόσθεση και αφαίρεση.

Το decibel είναι μια μέτρηση του λόγου μεταξύ δύο επιπέδων του σήματος. Η απολαβή σε decibel δίνεται από τη σχέση :

$$G_{dB} = 10 \log_{10} P_{out} / P_{in}$$

Όπου : G_{dB} = η απολαβή σε decibel

P_{in} = το επίπεδο ισχύος εισόδου

P_{out} = το επίπεδο ισχύος εξόδου

\log_{10} = ο δεκαδικός λογάριθμος (1)

Λόγος Ισχύος	dB	Λόγος Ισχύος	dB
10^1	10	10^{-1}	-10
10^2	20	10^{-2}	-20
10^3	30	10^{-3}	-30
10^4	40	10^{-4}	-40
10^5	50	10^{-5}	-50
10^6	60	10^{-6}	-60

Πίνακας 1

Τιμές σε decibel

dB	power ratio	amplitude ratio
100	10 000 000 000	100 000
90	1 000 000 000	31 623
80	100 000 000	10 000
70	10 000 000	3 162
60	1 000 000	1 000
50	100 000	316.2
40	10 000	100
30	1 000	31.62
20	100	10
10	10	3.162
6	3.981	1.995 (~2)
3	1.995 (~2)	1.413
1	1.259	1.122
0	1	1
-1	0.794	0.891
-3	0.501 (~1/2)	0.708
-6	0.251	0.501 (~1/2)
-10	0.1	0.316 2
-20	0.01	0.1
-30	0.001	0.031 62
-40	0.000 1	0.01
-50	0.000 01	0.003 162
-60	0.000 001	0.001
-70	0.000 000 1	0.000 316 2
-80	0.000 000 01	0.000 1
-90	0.000 000 001	0.000 031 62
-100	0.000 000 000 1	0.000 01

Πίνακας 2

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΦΙΛΤΡΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

2.1 Τί είναι το φίλτρο συχνοτήτων

Σχεδόν όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα χρησιμοποιούν φίλτρα. Ένα φίλτρο επιτρέπει τη διέλευση μιας ζώνης συχνοτήτων ενώ απορρίπτει μία άλλη. Έχουν τη δυνατότητα δηλαδή να διαχωρίζουν και να επιτρέπουν τη διέλευση των επιθυμητών σημάτων από τα ανεπιθύμητα καθώς και να παρεμποδίζουν τα παρεμβαλλόμενα σήματα ή αλλιώς τον θόρυβο. Η συμπεριφορά ενός φίλτρου συνήθως περιγράφεται από τη σχέση εισόδου-εξόδου: (i)



Σχήμα 3

2.2 Κατηγορίες φίλτρων

2.2.1 Αναλογικά φίλτρα

Τα φίλτρα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα αναλογικά και τα ψηφιακά. Συγκεκριμένα τα φίλτρα με τα οποία επεξεργαζόμαστε αναλογικά σήματα καλούνται αναλογικά, ενώ τα αντίστοιχα που εφαρμόζονται στην επεξεργασία ψηφιακών σημάτων ψηφιακά.

Τα αναλογικά φίλτρα χρησιμοποιούν αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα κατασκευασμένα από υλικά κυρίως αντιστάσεις, πυκνωτές και τελεστικούς ενισχυτές για να παράγει το ζητούμενο αποτέλεσμα φιλτραρίσματος. Τα αναλογικά φίλτρα χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες:

A) *Παθητικά φίλτρα*: Τα παθητικά φίλτρα ονομάζονται και RLC φίλτρα που συμβολίζουν τις αντιστάσεις, τα πηνία και τους πυκνωτές από τα οποία αποτελούνται. Αυτά τα στοιχεία (αντιστάσεις, πηνία, πυκνωτές) ονομάζονται παθητικά στοιχεία καθώς δεν εξαρτώνται από παροχή εξωτερικής τροφοδοσίας για τη λειτουργία τους. Συνήθως χρησιμοποιούνται για συχνότητες πάνω από 1 MHz.

B) *Ενεργά φίλτρα*: Τα ενεργά φίλτρα σε αντίθεση με τα παθητικά χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία ενέργειας για να λειτουργήσουν. Εκτός από αντιστάσεις και πυκνωτές, συνήθως περιλαμβάνουν και τελεστικούς ενισχυτές, οι οποίοι απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία. Συνήθως χρησιμοποιούνται για συχνότητες κάτω από 1 MHz.

(2)

2.2.2 Ψηφιακά φίλτρα

Τα ψηφιακά φίλτρα υλοποιούνται μέσω ενός ψηφιακού επεξεργαστή ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, δηλαδή μελετούνται και σχεδιάζονται σε διάφορα προγράμματα (software) με απόλυτη ακρίβεια και επεξεργασία τους κάθε φορά που χρειάζεται με σκοπό τον επαναπρογραμματισμό του φίλτρου. Για να γίνει αυτό το αναλογικό σήμα εισόδου πρέπει πρώτα να δειγματοληφθεί και να ψηφιοποιηθεί με τη χρήση ενός ADC (analog to digital converter) μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό. Οι δυαδικοί αριθμοί που προκύπτουν, οι οποίοι αναπαριστούν διαδοχικές τιμές από τη δειγματοληψία του σήματος εισόδου, μεταφέρονται στον επεξεργαστή, που εκτελεί τις απαραίτητες αριθμητικές πράξεις.

2.3 Διαφορές αναλογικών και ψηφιακών φίλτρων

- Ένα ψηφιακό φίλτρο είναι σε θέση να επαναπρογραμματιστεί. Αυτό σημαίνει ότι το ψηφιακό φίλτρο μπορεί να τροποποιηθεί εύκολα χωρίς να επηρεαστεί το κύκλωμα.
- Ένα αναλογικό φίλτρο, μπορεί μόνο να αλλαχθεί ξανασχεδιάζοντας το κύκλωμα του φίλτρου δηλαδή πρέπει να αλλάξουμε τα ηλεκτρικά του εξαρτήματα.
- Οι χαρακτηριστικές των αναλογικών φίλτρων εξαρτούνται από τις τιμές των στοιχείων των ηλεκτρικών κυκλωμάτων που είναι συνδεδεμένα οι οποίες τιμές αλλάζουν με την θερμοκρασία, την υγρασία, τον χρόνο ζωής με αποτέλεσμα να μεταβάλλονται οι χαρακτηριστικές των φίλτρων .
- Στα ψηφιακά είναι απολύτως σταθερές οι χαρακτηριστικές αν δουλεύει κανονικά ο επεξεργαστής .
- Με τα ψηφιακά προσεγγίζουμε τις ιδανικές τιμές ενός φίλτρου ,ενώ στα αναλογικά δεν έχουμε ακρίβεια στις τιμές γιατί απαιτούνται πολύπλοκα κυκλώματα λόγω του ότι είναι δύσκολος ο υπολογισμός των στοιχείων του κυκλώματος.
- Τα ψηφιακά φίλτρα έχουν πολύ μεγάλη ευελιξία στο σχεδιασμό τους ενώ τα αναλογικά όχι. (i)

2.4 Τα είδη των φίλτρων

Τα φίλτρα αναλόγως την χρησιμότητα που θέλουμε να έχουν και για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες της κάθε συσκευής και συστήματος που διαφέρουν το

ένα με το άλλο, καθώς το κάθε ηλεκτρονικό κύκλωμα για να αποδώσει όπως το θέλει ο κατασκευαστής λειτουργεί με διαφορετική γκάμα συχνοτήτων. Από χαμηλές συχνότητες μέχρι υψηλές, αλλά και συχνότητες μεταξύ ενός εύρους όπως επίσης και εκτός αυτού. Για αυτό το λόγο τα φίλτρα διακρίνονται σε τρία, κυρίως, βασικά είδη : Τα χαμηλοπερατά, τα υψηλοπερατά και τα ζωνοπερατά (ωστόσο υπάρχουν επίσης και τα ζωνοφρακτικά και τα φίλτρα διέλευσης όλων των συχνοτήτων).

Για τη μελέτη της συμπεριφοράς ενός φίλτρου απαιτείται η γνώση, σε κάθε συχνότητα, του πλάτους του σήματος στην έξοδο του φίλτρου V_{out} και του πλάτους του σήματος στην είσοδο V_{in} στην ίδια συχνότητα. Ο λόγος των δύο αυτών πλατών ονομάζεται **απολαβή** ή **κέρδος** του φίλτρου:

$$A(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Η γραφική παράσταση του κέρδους τάσης του ως προς τη συχνότητα ονομάζεται **απόκριση** του φίλτρου. (3)

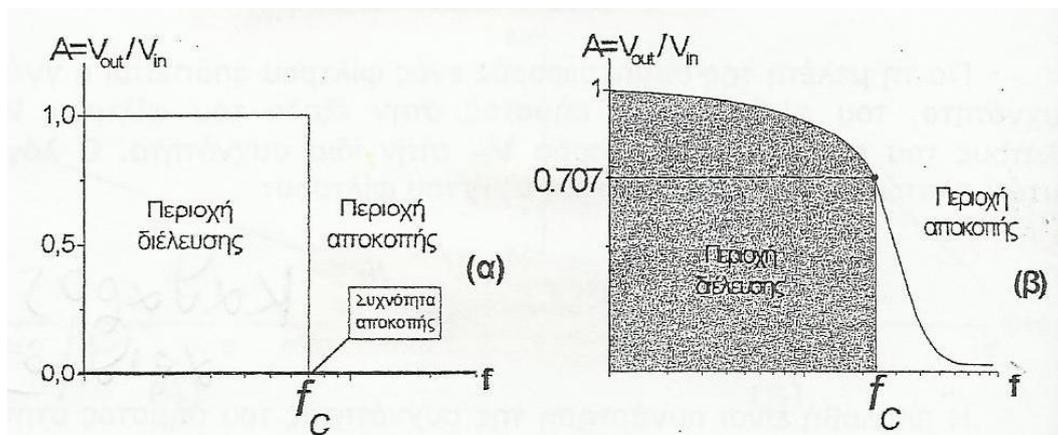
Τα φίλτρα έχουν μία συχνότητα σημείο αναφοράς, καθώς η συγκεκριμένη τιμή της είναι αυτή που καθορίζει ποιές συχνότητες θα περάσουν και ποιές όχι ανάλογα το φίλτρο. Αυτή η συχνότητα ονομάζεται **συχνότητα αποκοπής**. Επειδή η κατασκευή ιδανικών φίλτρων είναι αδύνατη ως συχνότητα αποκοπής ορίζεται η συχνότητα εκείνη για την οποία η απολαβή A ισούται με το 0.707 της μέγιστης τιμής της ή με -3 dB. Επομένως :

$$A(f_c) = 0.707 - V_{out} = 0.707 V_{in} \text{ ή}$$

$$A_{dB}(f_c) = -3dB$$

2.4.1 Χαμηλοπερατό φίλτρο

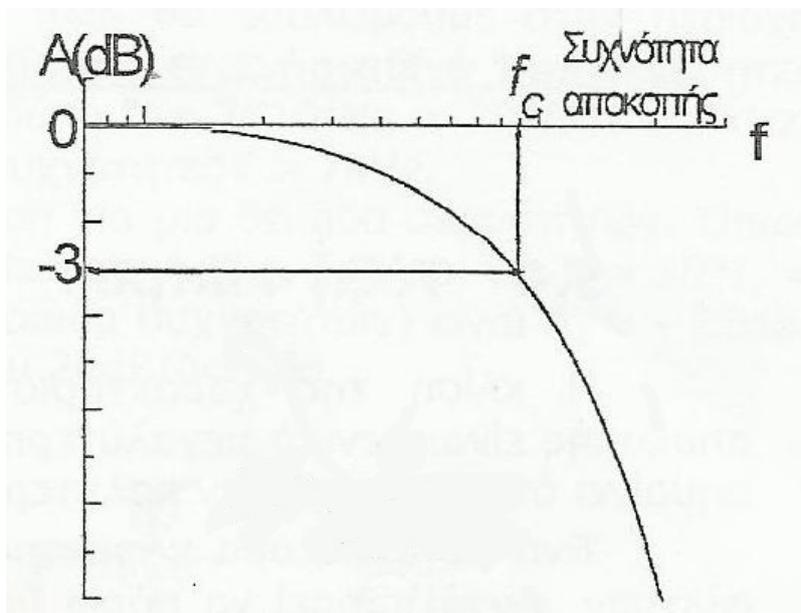
Το χαμηλοπερατό φίλτρο όπως λέει και το ονομά του επιτρέπει τη διέλευση των χαμηλών συχνοτήτων ενώ απορρίπτει τις υψηλές. Επιτρέπει τη διέλευση όλων των συχνοτήτων από μηδέν μέχρι τη συχνότητα αποκοπής και απορρίπτει όσες είναι πάνω από αυτή. Η περιοχή από μηδέν μέχρι τη συχνότητα αποκοπής ονομάζεται ζώνη διέλευσης συχνοτήτων. Οι συχνότητες πάνω από τη συχνότητα αποκοπής ονομάζεται ζώνη αποκοπής / απόρριψης. (2),(3)



Σχήμα 4

α) Απόκριση ιδανικού χαμηλοπερατού φίλτρου

β) Απόκριση πραγματικού χαμηλοπερατού φίλτρου

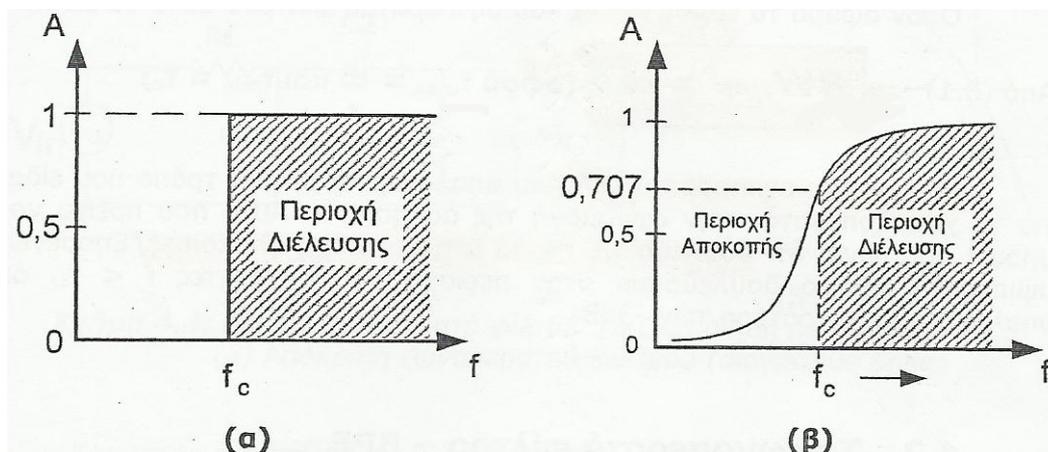


Σχήμα 5

Απόκριση χαμηλοπερατού φίλτρου σε dB

2.4.2 Υψηλοπερατό φίλτρο

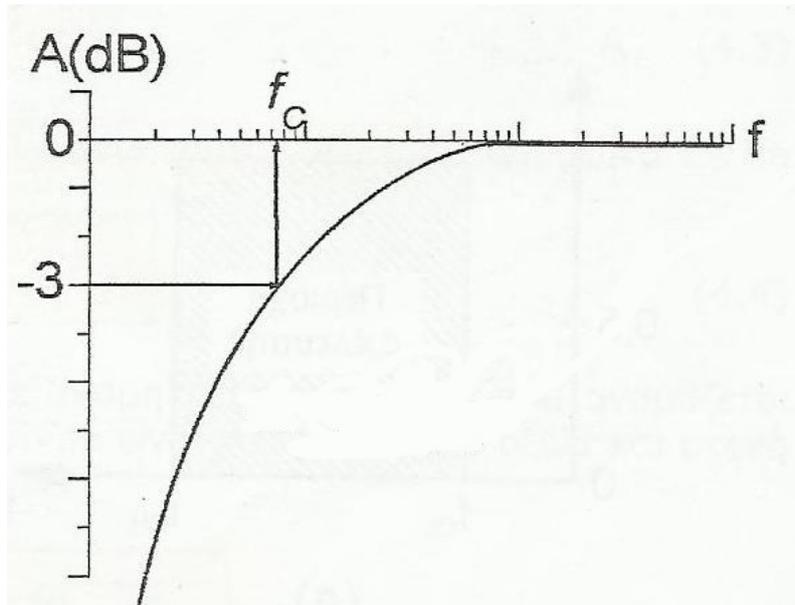
Το υψηλοπερατό φίλτρο κάνει ακριβώς το αντίθετο από το χαμηλοπερατό, επιτρέπει δηλαδή τη διέλευση των υψηλών συχνοτήτων απορρίπτοντας τις χαμηλές. Ένα υψηλοπερατό φίλτρο παρεμποδίζει όλες τις συχνότητες από μηδέν μέχρι τη συχνότητα αποκοπής και επιτρέπει τη διέλευση όλων των συχνοτήτων πάνω από τη συχνότητα αποκοπής. Οι συχνότητες μεταξύ μηδέν και συχνότητας αποκοπής αποτελούν τη ζώνη αποκοπής / απόρριψης ενώ όλες οι συχνότητες πάνω από τη συχνότητα αποκοπής αποτελούν τη ζώνη διέλευσης των συχνοτήτων. (2),(3)



Σχήμα 6

α) Απόκριση ιδανικού υψηλοπερατού φίλτρου

β) Απόκριση πραγματικού υψηλοπερατού φίλτρου



Σχήμα 7

Απόκριση υψηλοπερατού φίλτρου σε dB

2.4.3 Ζωνοπερατό φίλτρο

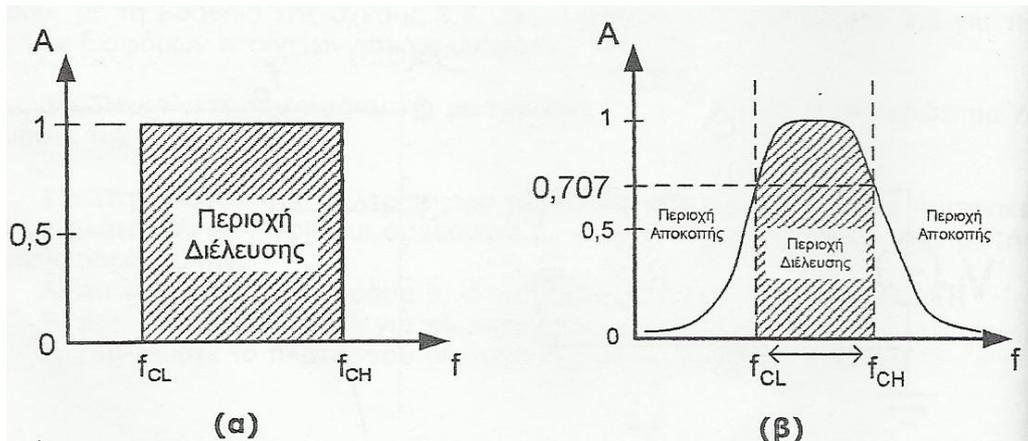
Το ζωνοπερατό φίλτρο θα μπορούσε να θεωρηθεί σαν ένας συνδυασμός χαμηλοπερατού και υψηλοπερατού φίλτρου. Επιτρέπει τη διέλευση συχνοτήτων μέσα σε μία συγκεκριμένη περιοχή η οποία ορίζεται από δύο συχνότητες αποκοπής, μία χαμηλή ή κάτω συχνότητα αποκοπής f_{CL} (Low) και μία υψηλή ή πάνω συχνότητα αποκοπής f_{CH} (High). Ένα ζωνοπερατό φίλτρο απορρίπτει όλες τις συχνότητες από μηδέν μέχρι τη χαμηλή συχνότητα αποκοπής. Έπειτα επιτρέπει τη διέλευση όλων των συχνοτήτων μεταξύ της χαμηλής και της υψηλής συχνότητας αποκοπής και τέλος απορρίπτει όλες τις συχνότητες που είναι πάνω από την υψηλή συχνότητα αποκοπής. Επομένως η περιοχή μεταξύ των δύο συχνοτήτων αποκοπής αποτελεί τη ζώνη διέλευσης ενώ οι συχνότητες κάτω και πάνω απ' αυτές αποτελούν τη ζώνη αποκοπής / απόρριψης. (2),(3)

Το εύρος ζώνης BW (Bandwidth) του φίλτρου είναι η διαφορά μεταξύ της ανώτερης και κατώτερης συχνότητας αποκοπής:

$$BW = f_{CH} - f_{CL}$$

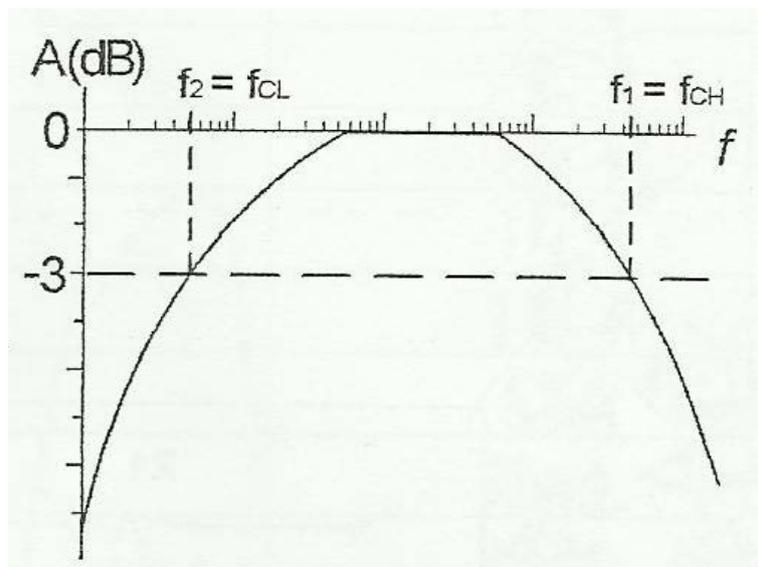
Η κεντρική συχνότητα f_0 υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$f_0 = \sqrt{f_{CL} \cdot f_{CH}}$$



Σχήμα 8

- α) Απόκριση ιδανικού ζωνοπερατού φίλτρου
- β) Απόκριση πραγματικού ζωνοπερατού φίλτρου



Σχήμα 9

Απόκριση ζωνοπερατού φίλτρου σε dB

2.5 Τάξη φίλτρου

Η τάξη ενός παθητικού φίλτρου (order of a passive filter) -συμβολίζεται με n -ισούται με το πλήθος των πηνίων και των πυκνωτών στο φίλτρο. Αν ένα φίλτρο έχει δύο πηνία και δύο πυκνωτές τότε $n=4$. Αν το παθητικό φίλτρο πέντε πηνία και πέντε πυκνωτές, $n=10$. Επομένως η τάξη μας λέει ποσο περίπλοκο είναι το φίλτρο. Όσο υψηλότερη είναι η τάξη, τόσο πιο περίπλοκο είναι το φίλτρο.

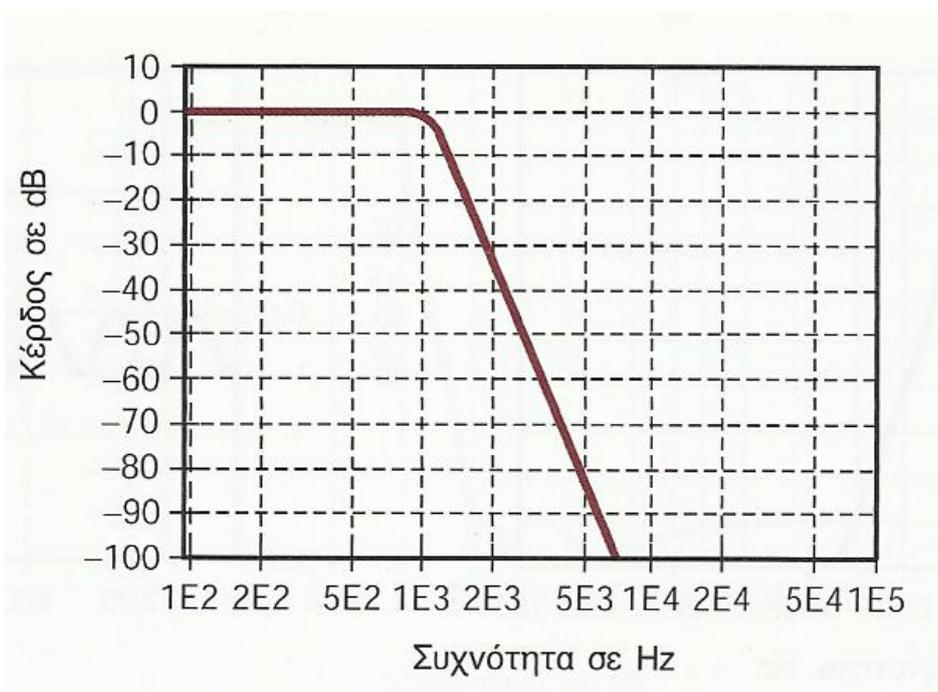
Η τάξη ενός ενεργού φίλτρου εξαρτάται από το πλήθος των RC κυκλωμάτων που περιέχει. Αν ένα ενεργό φίλτρο περιέχει οκτώ RC κυκλώματα τότε $n=8$. Συνήθως είναι δύσκολο να μετρήσουμε τα επιμέρους RC κυκλώματα σε ένα ενεργό φίλτρο. Επομένως χρησιμοποιείται μια πιο απλή μέθοδος για τον καθορισμό της τάξης του ενεργού φίλτρου :

$$n \approx \# \text{ πυκνωτές}$$

όπου το # σημαίνει πλήθος. Για παράδειγμα αν ένα ενεργό φίλτρο περιέχει 12 πυκνωτές, έχει τάξη 12. (2)

2.6 Προσέγγιση Butterworth

Η προσέγγιση Butterworth περιγράφηκε πρώτη φορά το 1930 από τον Βρετανό μηχανικό Stephen Butterworth απ' όπου πήρε και την ονομασία. Μερικές φορές ονομάζεται προσέγγιση μέγιστης επιπέδου απόκρισης (maximally flat approximation), επειδή η εξασθένιση στη ζώνη διέλευσης συχνοτήτων είναι μηδενική σε όλη σχεδόν τη ζώνη διέλευσης συχνοτήτων και μειώνεται σταδιακά στο άκρο της ζώνης αυτής. Η απόκριση στη ζώνη διέλευσης συχνοτήτων είναι ομοιόμορφη. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα ενός φίλτρου Butterworth είναι η ομοιομορφία της απόκρισης της ζώνης διέλευσης συχνοτήτων . Ενώ το κυριότερο μειονέκτημα είναι ο σχετικά αργός ρυθμός μεταβολής. (2)

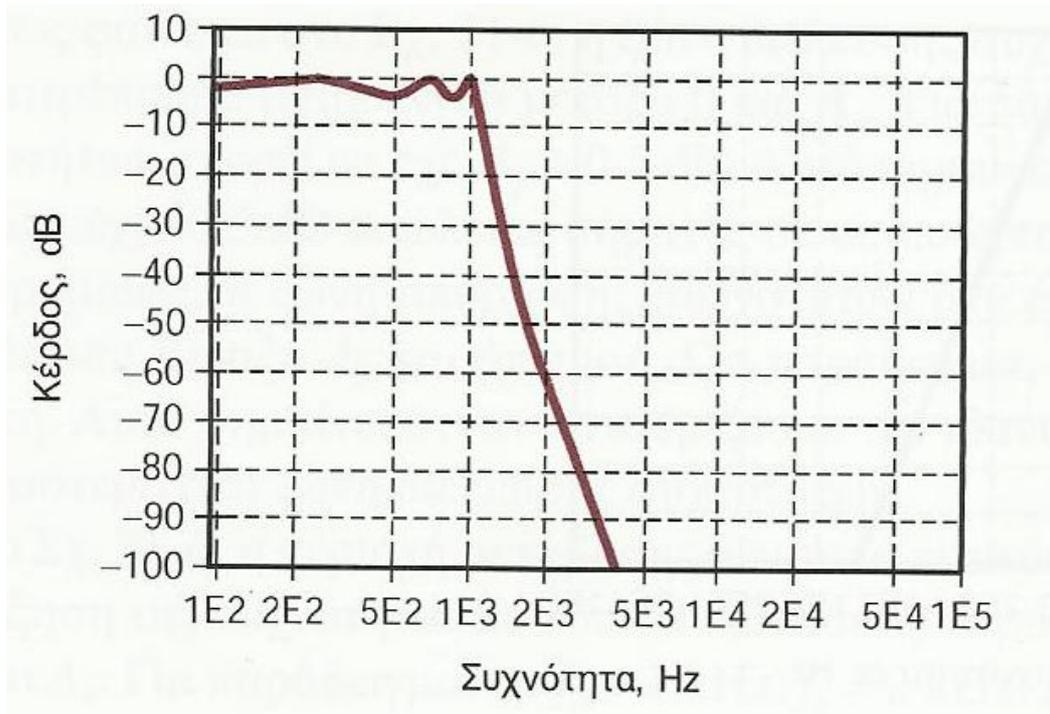


Σχήμα 10

Χαμηλοπερατή απόκριση Butterworth

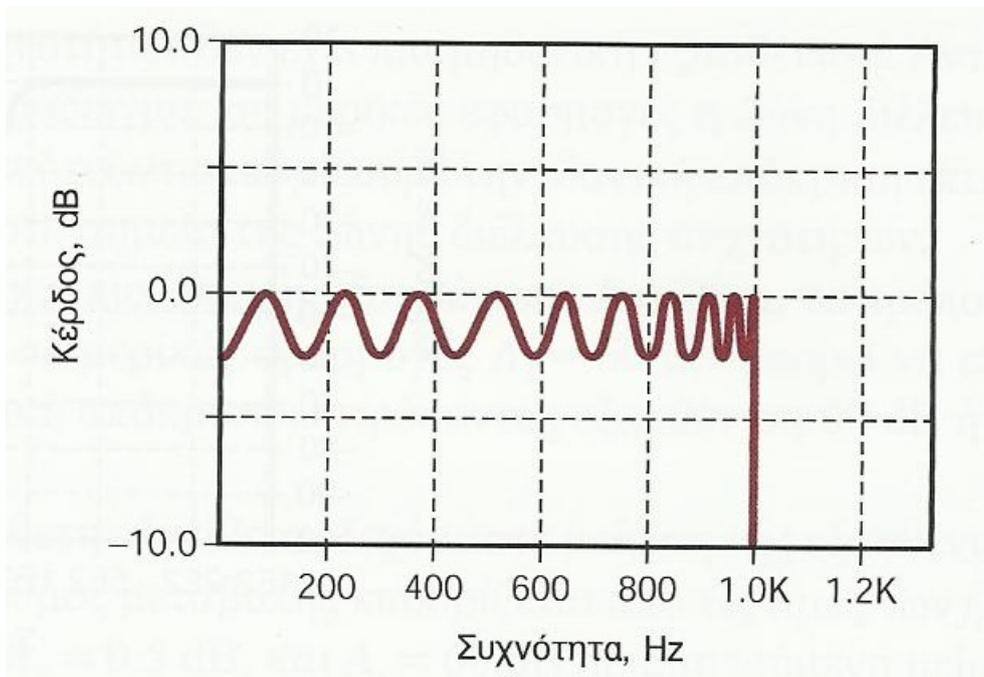
2.7 Προσέγγιση Chebyshev

Σε ορισμένες εφαρμογές, η ομοιόμορφη απόκριση της ζώνης διέλευσης συχνοτήτων δεν είναι σημαντική. Στην περίπτωση αυτή μπορούμε να προτιμήσουμε την προσέγγιση Chebyshev επειδή μειώνεται γρηγορότερα στην περιοχή μετάβασης, απ' ό,τι ένα φίλτρο Butterworth. Μειώνει δηλαδή τη διαφορά μεταξύ μιας ιδανικής και μιας πραγματικής απόκρισης. Το τίμημα για τη γρηγορότερη αυτή μείωση είναι η εμφάνιση κυμάτωσης στη ζώνη διέλευσης συχνοτήτων. Η ονομασία προέρχεται από τον Ρώσο μαθηματικό Pafnuty Chebyshev και τους μαθηματικούς τύπους του.



Σχήμα 11

Χαμηλοπερατή απόκριση Chebyshev



Σχήμα 12

Μεγένθυση κυματώσεων ζώνης διέλευσης

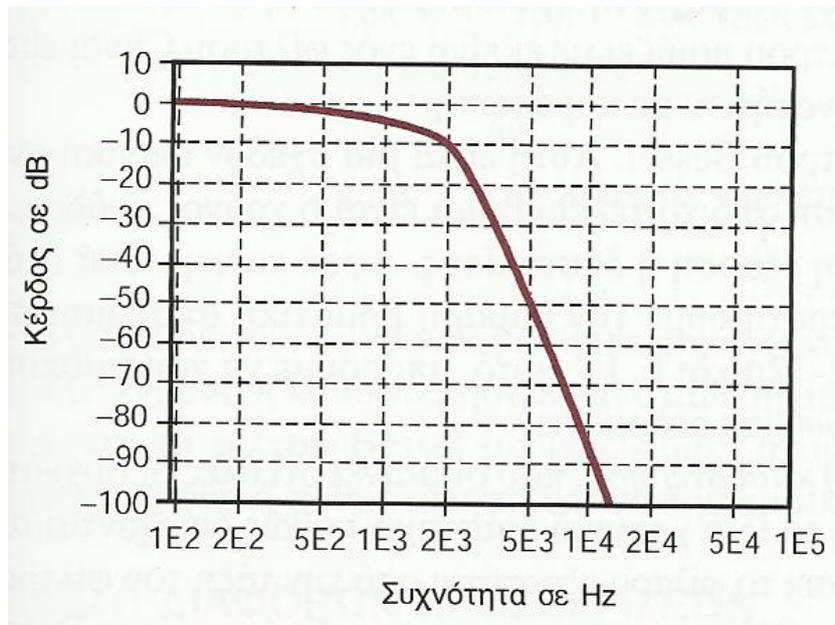
Το πλήθος των κυματώσεων στη ζώνη διέλευσης συχνοτήτων ενός χαμηλοπερατού φίλτρου Chebyshev ισούται με το μισό της τάξης φίλτρου:

$$\# \text{Κυματώσεων} = n/2$$

Αν ένα φίλτρο έχει τάξη 10 θα έχει 5 κυματώσεις, αν είναι τάξης 15 θα έχει 7.5 κυματώσεις κ.ο.κ. Στο σχήμα 10 οι κυματώσεις έχουν την ίδια τιμή peak to peak, δηλαδή ίδια μέγιστη και ελάχιστη τιμή, γι' αυτό και μερικές φορές η προσέγγιση Chebyshev ονομάζεται προσέγγιση ίσης κυμάτωσης. Συνήθως επιλέγεται βάθος κυμάτωσης μεταξύ 0.1 και 3 dB ανάλογα με τις απαιτήσεις. (2)

2.8 Προσέγγιση Bessel

Η προσέγγιση Bessel έχει ομοιόμορφη ζώνη διέλευσης συχνοτήτων και μονοτονική ζώνη απόρριψης συχνοτήτων παρόμοια με εκείνη της προσέγγισης Butterworth. Ωστόσο για την ίδια τάξη φίλτρου ο ρυθμός μεταβολής στην περιοχή μετάδοσης είναι πολύ μικρότερος με ένα φίλτρο Bessel απ' ότι με ένα Butterworth. Το φίλτρο έχει επίπεδη ζώνη διέλευσης συχνοτήτων ένα σχετικά αργό ρυθμό μεταβολής και μονοτονική ζώνη απόρριψης συχνοτήτων. Η προσέγγιση Bessel θα παρέχει πάντα τον αργότερο ρυθμό μεταβολής από τις άλλες προσεγγίσεις. Με άλλα λόγια έχει την υψηλότερη τάξη ή τη μεγαλύτερη πολυπλοκότητα από όλες τις προσεγγίσεις. (2)



Σχήμα 13

Χαμηλοπερατή απόκριση Bessel

ΤΥΠΟΣ	ΖΩΝΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ f	ΖΩΝΗ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ f	ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ	ΒΗΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ
BUTTERWORTH	ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ	ΜΟΝΟΤΟΝΙΚΗ	ΚΑΛΟΣ	ΚΑΛΗ
CHEBYSHEV	ΜΕ ΚΥΜΑΤΩΣΗ	ΜΟΝΟΤΟΝΙΚΗ	ΠΟΛΥ ΚΑΛΟΣ	ΚΑΛΗ
BESSEL	ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΗ	ΜΟΝΟΤΟΝΙΚΗ	ΚΑΚΟΣ	ΑΡΙΣΤΗ

Πίνακας 3

Προσεγγίσεις φίλτρων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

3.1 Εισαγωγή στα μικροκύματα

Στα πρώτα χρόνια των ασύρματων τεχνικών χρησιμοποιούνταν μόνο το φάσμα χαμηλών συχνοτήτων διότι όχι μόνο ήταν περιορισμένος ο αριθμός των χρηστών αλλά και ο απαραίτητος εξοπλισμός ήταν περιορισμένος. Τα μέλη της επιστημονικής και της τεχνολογικής κοινότητας απέκτησαν περρισσότερη γνώση στο πεδίο των ραδιοσυχνοτήτων και γενικότερα υπήρξε μια μεγάλη εξέλιξη πάνω σ' αυτό , με αποτέλεσμα η χαμηλότερη κλίμακα του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων να υποστεί συμφόρηση με αποτέλεσμα τη σύγχυση και προβλήματα κατά τη μετάδοση και λήψη του σήματος. Για το λόγο αυτό ήταν απαραίτητη η εξάπλωση στις υψηλότερες τιμές του φάσματος όπως και έγινε τα επόμενα χρόνια με έναν συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό. Συνεπώς από την έναρξη του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου η λύση στις απαιτήσεις της εξελιγμένης επικοινωνίας και στον εξοπλισμό των ραντάρ βρέθηκε στις τάξεις των μικροκυμάτων. Σήμερα χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλά συστήματα της σύγχρονης τεχνολογίας, εξυπηρετώντας διάφορους σκοπούς, όπως στη βιομηχανία της τηλεόρασης για εκπομπή επίγειου τηλεοπτικού σήματος όπως και δορυφορικού αλλά και γενικότερα στις δορυφορικές επικοινωνίες. Επίσης στην κινητή τηλεφωνία, στην εφαρμογή Wi-Fi , στην ραδιοφωνία , στην ιατρική , στην αστρονομία και αλλού. (iii)

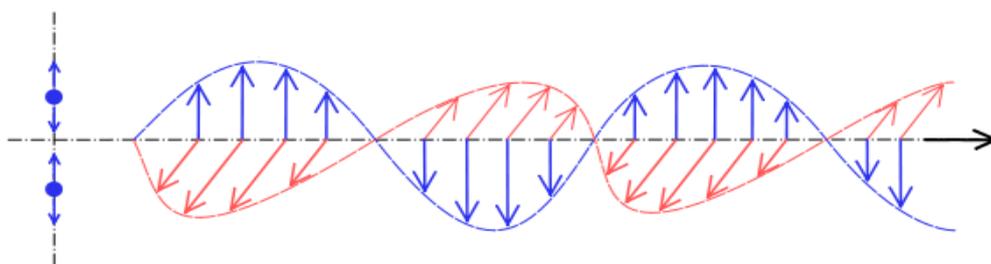


Εικόνα 1

Μικροκυματική κεραία

3.2 Τί είναι τα μικροκύματα

Τα μικροκύματα είναι ουσιαστικά ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και πιο συγκεκριμένα αποτελεί ένα μέρος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι εκπομπή στον χώρο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας υπό μορφή κυμάτων που ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι συγχρονισμένα ταλαντούμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους και κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης. Διαδίδονται στο κενό με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός ($3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$) αλλά και μέσα στην ύλη με ταχύτητα λίγο μικρότερη απ' την ταχύτητα του φωτός. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται από επιταχυνόμενα ηλεκτρικά φορτία. Δημιουργούνται επίσης όταν ένα ηλεκτρόνιο κάποιου ατόμου χάνει μέρος της ενέργειάς του και μεταπίπτει σε χαμηλότερη τροχιά ή ενεργειακή στάθμη κοντά στον πυρήνα. Αυτό έχει ως συνέπεια να δημιουργηθεί μια ταλάντωση που διαδίδεται πλέον στο χώρο με τη μορφή ενός ταυτόχρονα ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Τα δύο αυτά πεδία είναι, αφενός μεν, κάθετα μεταξύ τους, αφετέρου και κάθετα με τη διεύθυνση διάδοσης του παραγόμενου κύματος, του λεγόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούσει σε κάποιο άτομο τα δύο συνδυαζόμενα αυτού πεδία μπορούν να προσφέρουν μεταφερόμενη ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο με αποτέλεσμα να το εξαναγκάσουν να μεταπηδήσει αυτό σε ανώτερη ενεργειακή στάθμη, ή ακόμα και να το απελευθερώσει από το άτομο σε περίπτωση που βρίσκεται στην εξωτερική στοιβάδα (φωτοηλεκτρικό φαινόμενο). (xvi)



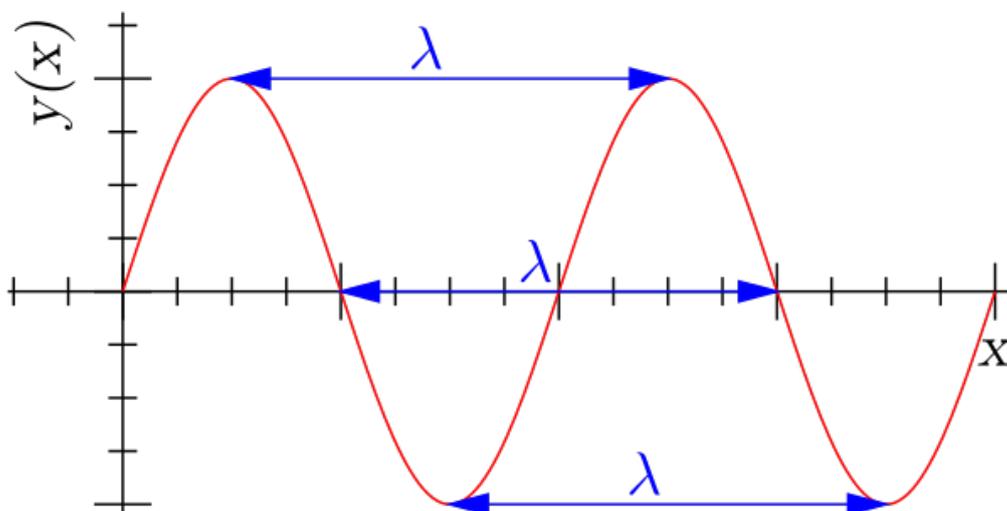
Εικόνα 2

Γραφική αναπαράσταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος

3.3 Χαρακτηριστικά των μικροκυμάτων

Τα μικροκύματα όπως αναφέραμε προηγουμένως είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εντοπίζονται στις συχνότητες μεταξύ 0,3 GHz (300 MHz) και 300 GHz, με μήκος κύματος μεταξύ 0,1 και 100 εκατοστών. Μήκος κύματος ορίζεται ως η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων του κύματος ίδιας φάσης όπου το δεύτερο σημείο σταματάει εκεί που το κύμα αρχίζει ξανά να επαναλαμβάνεται και εντοπίζεται μεταξύ των κορυφών του αλλά και στα μηδενικά σημεία. Συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα “λ” και υπολογίζεται από τον τύπο $\lambda = \frac{u}{f}$, όπου u η ταχύτητα διάδοσης του κύματος και f η συχνότητά του και επομένως το μήκος κύματος είναι

αντιστρόφως ανάλογο της συχνότητας του ίδιου κύματος, που σημαίνει πως όσο μικρότερη είναι η συχνότητα ενός κύματος τόσο μεγαλύτερο θα είναι το μήκος κύματός του.



Εικόνα 3

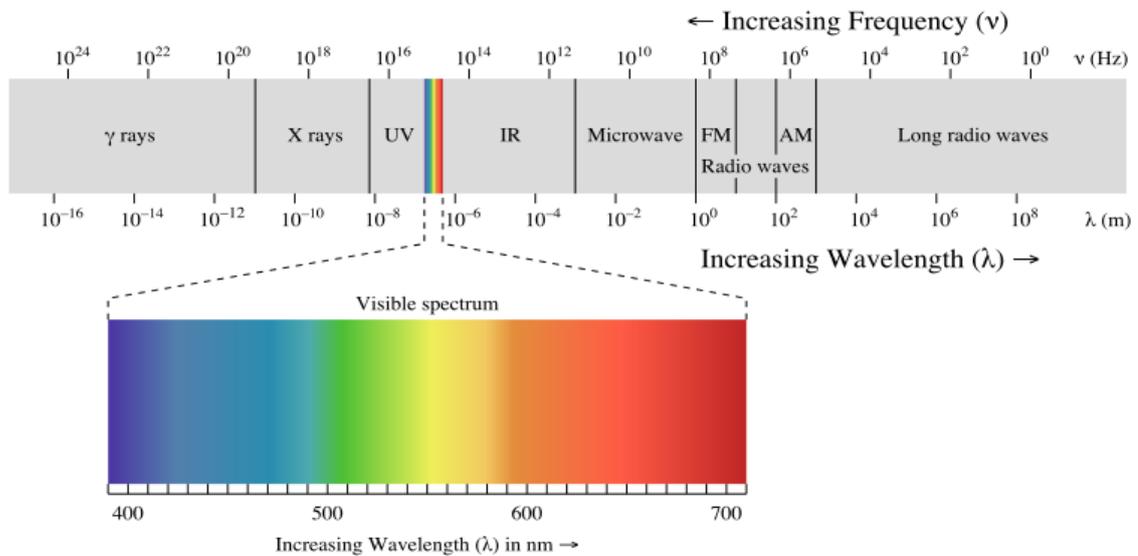
Το μήκος κύματος ενός ημιτονοειδούς σήματος

Το πρόβλημα στις συχνότητες των μικροκυμάτων λοιπόν είναι το μέγεθος του μήκους κύματος του σήματος. Το μήκος κύματος σε ένα σήμα χαμηλής συχνότητας είναι πολύ μεγάλο συγκρινόμενο με τις φυσικές διαστάσεις μιας συσκευής. Για παράδειγμα, το μήκος κύματος μιας γραμμής ηλεκτρικής ενέργειας στα 50 Hz είναι 6.000 km ενώ για ένα σήμα συχνότητας 1 MHz το μήκος κύματος είναι 300 m. Ο μεγάλος λόγος διαστάσεων μήκους κύματος προς συσκευή έχει σαν αποτέλεσμα πολύ μικρές διαφορές φάσεως σε διαφορετικά σημεία δοκιμής. Οι μικρές διαφορές φάσεως σημαίνουν ότι δεν μπορεί να σχηματιστεί ένα στάσιμο κύμα, το οποίο είναι το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ ενός προς τα εμπρός κινούμενου σήματος και της ανακλάσεώς του. Στις μικροκυματικές συχνότητες, το μήκος κύματος ενός σήματος είναι συγκρίσιμο ή ακόμη και μικρότερο από τις φυσικές διαστάσεις της συσκευής. Για παράδειγμα, το μήκος κύματος ενός σήματος 10 GHz είναι 3 cm. Έτσι, δύο γειτονικά σημεία δοκιμής μπορεί να έχουν σημαντική διαφορά φάσεως. Παρόμοια, επειδή ένα προς τα εμπρός κινούμενο κύμα μπορεί να ανακλαστεί μερικώς εξαιτίας μιας κακής προσαρμογής στο κύκλωμα, ένα σημείο δοκιμής στο κύκλωμα είναι η υπέρθεση του προς τα εμπρός και του ανακλώμενου κύματος. Αυτά τα δύο κύματα διαφέρουν μεταξύ τους κατά μία σημαντική γωνία φάσεως και κατά τη διεύθυνση της διάδοσής τους. Η πεπερασμένη διαφορά φάσεως μεταξύ του προς τα εμπρός κύματος και του ανακλώμενου κύματος έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό ενός στασίμου κύματος. Επίσης, άλλα φαινόμενα υψηλής συχνότητας όπως οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας, οι διηλεκτρικές απώλειες και οι παρασιτικές χωρητικότητες καθιστούν το σχεδιασμό των μικροκυματικών κυκλωμάτων δύσκολο. Έτσι δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε απλά καλώδια και χαμηλής συχνότητας στοιχεία, όπως αντιστάσεις, πυκνωτές και πηνία, επειδή αυτά τα στοιχεία έχουν διαφορετική συμπεριφορά στις υψηλές συχνότητες που οδηγεί σε

πιθανή αστοχία τους. Η κατασκευή δικτύων υψηλών συχνοτήτων είναι πολύ ευαίσθητη στο σχήμα και στις ασυνέχειες των αγωγών. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό ενός μικροκυματικού σήματος είναι ότι μπορεί να διαθωθεί μέσα από την ιονόσφαιρα με ελάχιστες απώλειες. Όμως, οι υδρατμοί, η βροχή, το όζον και το οξυγόνο απορροφούν τα μικροκύματα σε ορισμένες συχνοτήτες. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε συχνότητες της τάξεως δεκάδων MHz και κάτω, δεν μπορεί να εισχωρήσει στην ιονόσφαιρα αλλά ανακλάται πίσω. Τα μικροκύματα όμως, μπορούν να εισχωρήσουν στην ιονόσφαιρα υφιστάμενα κάποια περίθλαση. Έτσι οι διαστημικές επικοινωνίες χρησιμοποιούν μικροκύματα. Ένα άλλο στοιχείο των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων υψηλών συχνοτήτων είναι ότι ως φέροντα κύματα μπορούν να συγκεντρώσουν περισσότερη πληροφορία μέσα στο εύρος ζώνης τους. (iv),(v)

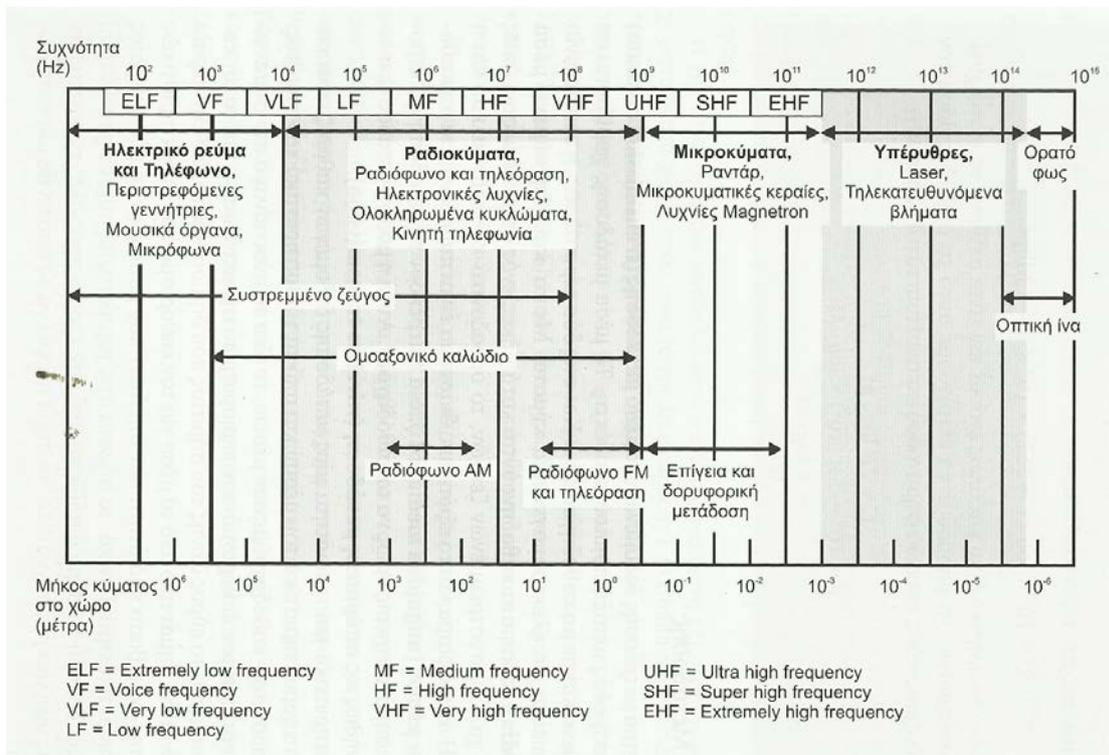
3.4 Φάσμα και ζώνες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Ολόκληρο το σύμπαν περιβάλλεται από ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ανάλογα με την συχνότητα των κυμάτων της και αντίστοιχα την ενέργεια που μεταφέρει χωρίζεται σε περιοχές. Αυτές είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γάμμα. Όλες αυτές οι παραπάνω μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κινούνται (ταξιδεύουν) με την ταχύτητα φωτός.



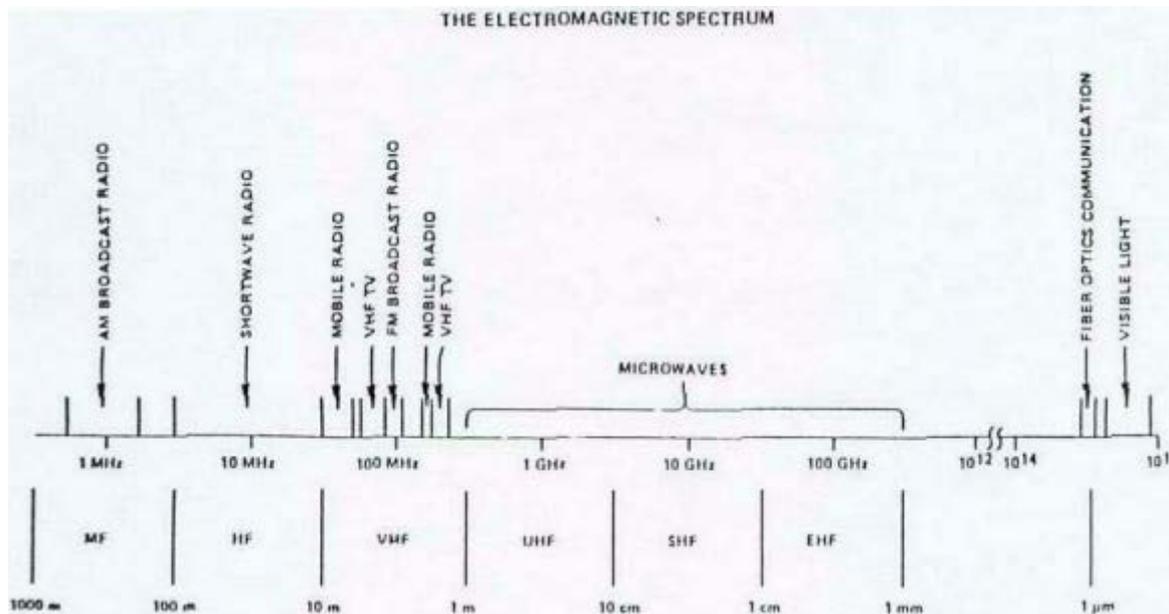
Εικόνα 4

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συχνοτήτων



Εικόνα 5

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα τηλεπικοινωνιών



Εικόνα 6

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα συχνοτήτων και εφαρμογές

Περιοχή του φάσματος	Περιοχή συχνοτήτων	Ενέργεια φωτονίων
Ραδιοκύματα	0-300 MHz	0-10 ⁻⁵ eV
Μικροκύματα	300 MHz - 300GHz	10 ⁻⁵ - 10 ⁻³ eV
υπέρυθρη ακτινοβολία	300GHz - 400THz	10 ⁻³ - 1,6eV
ορατή ακτινοβολία	400-800THz	1,6 - 3,2 eV
ορατή ακτινοβολία	800THz - 3 · 10 ¹⁷ Hz	3eV - 2000eV
ακτίνες X	3 · 10 ¹⁷ Hz - 5 · 10 ¹⁹ Hz	1200 eV - 2,4 · 10 ⁵ eV
ακτίνες γ	5 · 10 ¹⁹ Hz - 3 · 10 ²² Hz	10 ⁵ eV - 10 ⁷ eV
Κοσμικές ακτίνες	3 · 10 ²² Hz	10 ⁷ eV

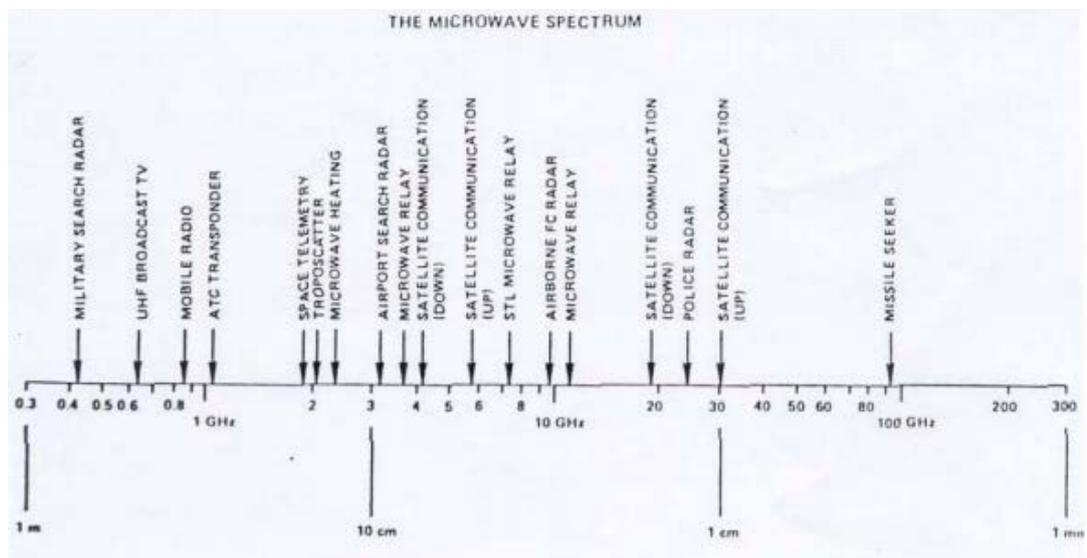
Πίνακας 4

Ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

3.5 Φάσμα και ζώνες μικροκυμάτων

Τα μικροκύματα δεν έχουν ακριβή όρια που τα διαχωρίζουν από τις γειτονικές περιοχές του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας των υπερβραχέων και της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τα μικροκύματα χωρίζονται σε τρεις επιμέρους ζώνες:

- Στα δεκατομετρικά μικροκύματα (Ultra High Frequency, UHF) (0.3-3 GHz)
- Στα εκατοστομετρικά μικροκύματα (Super High Frequency, SHF) (3-30 GHz)
- Στα χιλιοστομετρικά μικροκύματα (Extremely High Frequency, EHF) (30-300 GHz) (iii)



Εικόνα 7

Φάσμα μικροκυμάτων και εφαρμογές

Ο επόμενος πίνακας δείχνει τις ζώνες συχνοτήτων των μικροκυμάτων κατά το πρότυπο της RSGB (Radio Society of Great Britain).

**Ζώνες συχνότητας (frequency bands)
μικροκυμάτων**

Όνομασία (RSGB)	Περιοχή συχνοτήτων
Ζώνη L	1 έως 2 GHz
Ζώνη S	2 έως 4 GHz
Ζώνη C	4 έως 8 GHz
Ζώνη X	8 έως 12 GHz
Ζώνη K _U	12 έως 18 GHz
Ζώνη K	18 έως 26.5 GHz
Ζώνη K _a	26.5 έως 40 GHz

**Ζώνες συχνότητας (frequency bands)
μικροκυμάτων**

Όνομασία (RSGB)	Περιοχή συχνοτήτων
Ζώνη Q	30 έως 50 GHz
Ζώνη U	40 έως 60 GHz
Ζώνη V	50 έως 75 GHz
Ζώνη E	60 έως 90 GHz
Ζώνη W	75 έως 110 GHz
Ζώνη F	90 έως 140 GHz
Ζώνη D	110 έως 170 GHz

Πίνακας 5

Ζώνες των μικροκυμάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΙΚΡΟΤΑΙΝΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ

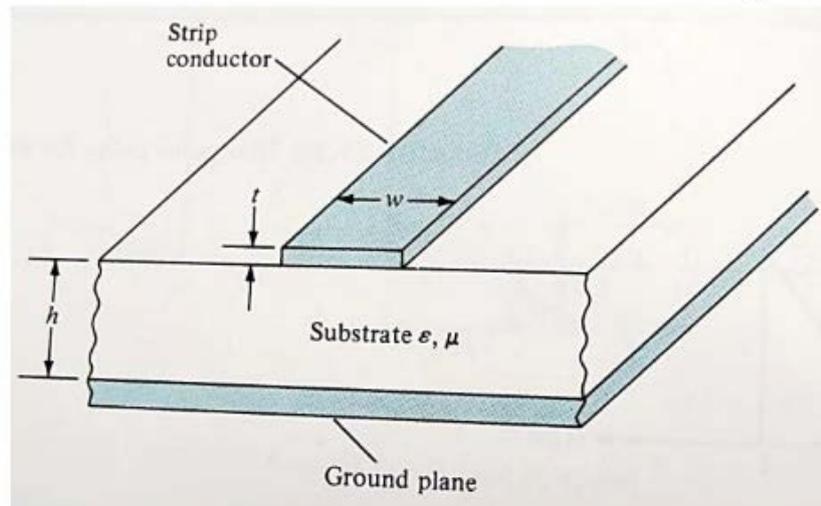
4.1 Μικροταινία ή Microstrip line

Η μικροταινία πρωτοεμφανίστηκε τον Δεκέμβριο του 1952 από τους Grieg και Engelmann και αργότερα αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε από την ITT Laboratories. Η πιο σωστή ονομασία είναι microwave strip line κι αυτό γιατί χρησιμοποιείται για τη μεταφορά σημάτων μικροκυματικών συχνοτήτων, καθώς η μικροταινία είναι ένας τύπος γραμμής μεταφοράς (μεταφέρει το σήμα απ τον πομπό στον δέκτη). Πάρα πολλά προϊόντα που χρησιμοποιούν μικροκύματα όπως κεραίες, φίλτρα και πολλά άλλα χρησιμοποιούν την μικροταινία. Είναι πολύ φθηνότερη σε σχέση με άλλες παραδοσιακές γραμμές μεταφοράς καθώς είναι κατα πολυ πιο ελαφριά και συμπαγής. Τα μειονεκτήματα της μικροταινίας είναι γενικότερα η μειωμένη ικανότητα διαχείρισης της ισχύος και οι μεγάλες απώλειες και τέλος δεν περικλείεται από κάποιο υλικό με αποτέλεσμα να είναι εκτεθειμένη σε διάφορους εξωγενείς παράγοντες. (vi)

4.2 Δομή του φίλτρου μικροταινίας (microstrip)

Το φίλτρο με μικροταινία σαν κατασκευή αποτελείται απο τρία βασικά κομμάτια, την γραμμή (strip) στο επάνω μέρος, ένα διηλεκτρικό στρώμα (dielectric layer) στη μέση και στο κάτω μέρος η γείωση (ground). (vii)

Structure of a Planar Microstrip Filter

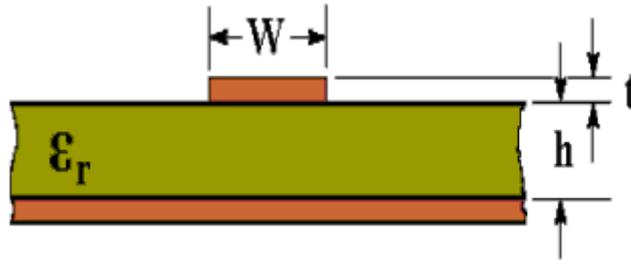


Top: metal strip (copper or gold)
Middle: Dielectric material (FR-4, Duroid, Epoxy)
Bottom: metal plate (copper or gold)

Εικόνα 8

Η αρχιτεκτονική του φίλτρου μικροταινίας

Πιο συγκεκριμένα, στην κορυφή βρίσκεται η μεταλλική γραμμή που συνήθως είναι από χαλκό αλλά και χρυσό. Στο ενδιάμεσο εντοπίζεται το διηλεκτρικό υλικό με πιο δημοφιλές το FR-4, με ύψος 1,55 μm για την υλοποίηση του φίλτρου στην παρούσα εργασία, που αποτελείται από εποξικό γυαλί και είναι ανθεκτικό σε δυσμενείς συνθήκες. Και τέλος στο κάτω μέρος υπάρχει η γείωση που όπως και στη γραμμή κατασκευάζεται επίσης από χαλκό ή χρυσό.



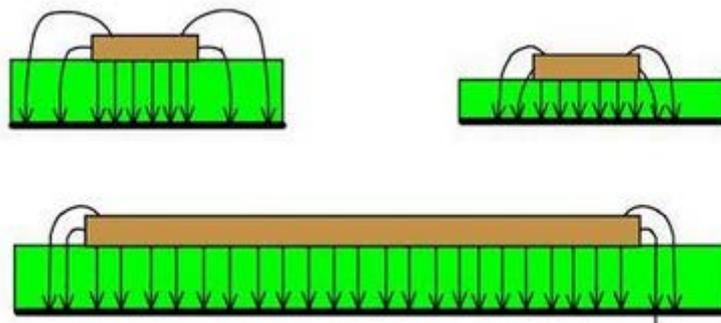
Εικόνα 9

Η δομή για την εφαρμογή μικροταινίας

Το πλάτος της γραμμής παίζει σημαντικό ρόλο για την ορθή λειτουργία του φίλτρου καθώς διαφοροποιώντας έστω και λίγο τις διαστάσεις της μπορεί να λειτουργήσει διαφορετικά από αυτό που εμείς το προορίζουμε. Για το λόγο αυτό πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη όλοι οι παράγοντες της κατασκευής. Δηλαδή, για να έχουμε σωστό αποτέλεσμα θα πρέπει να υπάρχουν απαραίτητα συγκεκριμένες τιμές στο διηλεκτρικό υπόστρωμα (ϵ_r) το οποίο ουσιαστικά λειτουργεί σαν μονωτής και πολώνει τα ηλεκτρικά φορτία, στο ύψος (H), στο ύψος της γραμμής και έχοντας και την τιμή της αντίστασης θα μπορούμε να υπολογίσουμε τις διαστάσεις της γραμμής.

4.3 Ταχύτητα διάδοσης και ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μικροταινίας

Η μικροταινία δεν έχει και την γρηγορότερη ταχύτητα διάδοσης. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μιας μικροταινίας βρίσκεται εν μέρει στο διηλεκτρικό υλικό και επίσης στον αέρα όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα. (viii)



Εικόνα 10

Ηλεκτρικό πεδίο μικροταινιών

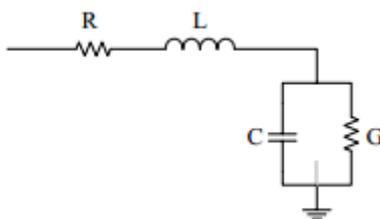
Παρατηρώντας την εικόνα βλέπουμε πάνω αριστερά μία τυπική κατασκευή μικροταινίας. Αν φέρουμε την γραμμή πιο κοντά στο επίπεδο τότε όλο και περισσότερο ηλεκτρικό πεδίο θα εισχωρήσει στο διηλεκτρικό υλικό (πάνω δεξιά). Ή, αν η γραμμή είναι πολύ πλατιά ακόμη περισσότερο ηλεκτρικό πεδίο θα βρεθεί στο διηλεκτρικό (κάτω μέρος της εικόνας).

Συνοψίζοντας θα μπορούσαμε να πούμε πως:

- 1) Για κάθε μικροταινία μικρού πλάτους που βρίσκεται σχετικά μακριά από τη γείωση, το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρομαγνητικού πεδίου βρίσκεται πάνω από το διηλεκτρικό υλικό, στον αέρα και έχουν τη μεγαλύτερη ταχύτητα διάδοσης.
- 2) Για κάθε μικροταινία με μεγάλο πλάτος που βρίσκεται σχετικά κοντά στη γείωση το μεγαλύτερο ποσοστό ηλεκτρομαγνητικού πεδίου βρίσκεται εντός του διηλεκτρικού και έχουν μικρότερη ταχύτητα διάδοσης.

4.4 Μοντελοποίηση μικροταινίας – Lumped Components LC

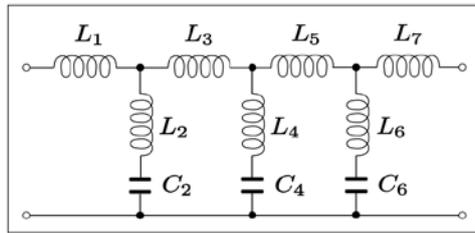
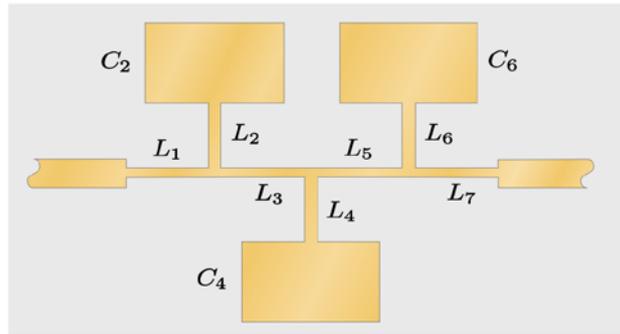
Το κυκλωματικό δίκτυο που χρησιμοποιείται για τη μοντελοποίηση της μικροταινίας είναι το RLCG. Το δικτύωμα αυτό περιγράφει τις ηλεκτρικές ιδιότητες της μικροταινίας.



Εικόνα 11

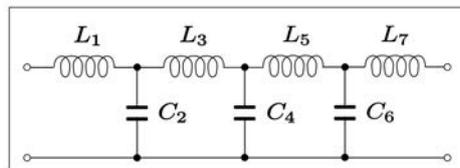
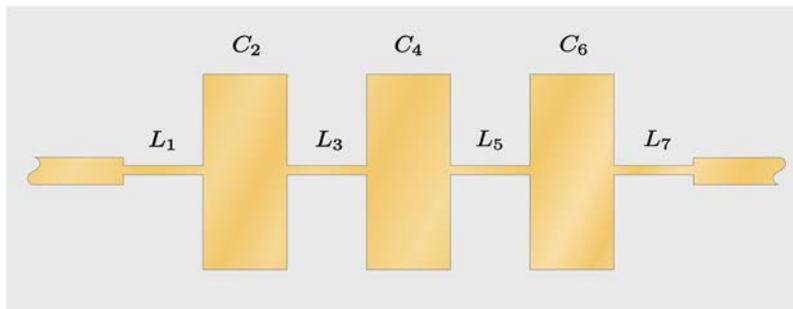
Κυκλωματικό δίκτυο για μοντελοποίηση μικροταινίας

Η αντίσταση R περιγράφει την εξασθένιση που επιδέχεται το μεταδιδόμενο σήμα. Η γείωση λειτουργεί ως μέσο μέσω του οποίου κλείνει το κύκλωμα. Η επαγωγή L αντιπροσωπεύει τον επαγωγικό χαρακτήρα της μικροταινίας, την ιδιότητά της να αλληλεπιδρά τόσο με τον αγωγό γείωσης όσο και με τις γειτονικές γραμμές. Σε συνδυασμό με την χωρητικότητα προσομοιώνει την καθυστέρηση που εισάγει η μικροταινία κατά τη διάδοση ενός σήματος. Η επαγωγή L και η αντίσταση R αναφέρονται στον αγωγό σήματος και γείωσης. Η αγωγιμότητα G αναφέρεται στις απώλειες που εισάγει ο ημιαγωγός κατά τη διάδοση ενός σήματος λόγω της μη μηδενικής του αγωγιμότητας. Όσον αφορά την εξάρτηση των στοιχείων του δικτύωματος από τη συχνότητα τα R και L είναι σχεδόν πάντα εξαρτώμενες. (ix)



Εικόνα 12

Microstrip και ισοδύναμο LC



Εικόνα 13

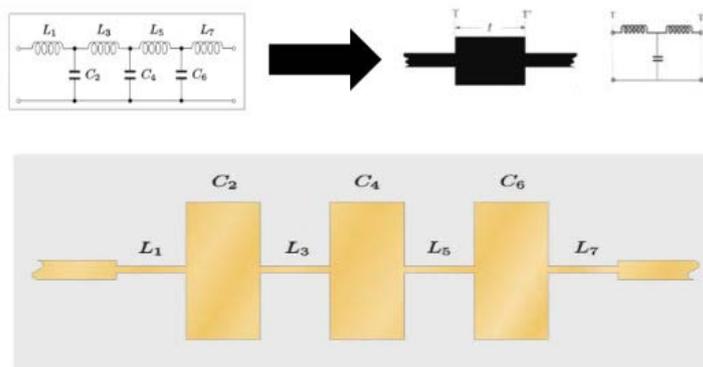
Microstrip και ισοδύναμο LC

Create a LC circuit schematic

a			a		
b			b		

strap

Εικόνα 14



Εικόνα 15

Για τη σχεδίαση κάθε φίλτρου ακολουθούμε κάποιο πρωτότυπο. Για την υλοποίηση φίλτρου 3^{ης} τάξης με 2 πηνία και έναν πυκνωτή θα χρειαστεί να συμβουλευτούμε τον παρακάτω πίνακα με κυμάτωση 3 dB για να έχουμε τις τιμές των στοιχείων και έπειτα να προχωρήσουμε.

0.5 dB Ripple											
N	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}
1	0.6986	1.0000									
2	1.4029	0.7071	1.9841								
3	1.5963	1.0967	1.5963	1.0000							
4	1.6703	1.1926	2.3661	0.8419	1.9841						
5	1.7058	1.2296	2.5408	1.2296	1.7058	1.0000					
6	1.7254	1.2479	2.6064	1.3137	2.4758	0.8696	1.9841				
7	1.7372	1.2583	2.6381	1.3444	2.6381	1.2583	1.7372	1.0000			
8	1.7451	1.2647	2.6564	1.3590	2.6964	1.3389	2.5093	0.8796	1.9841		
9	1.7504	1.2690	2.6678	1.3673	2.7239	1.3673	2.6678	1.2690	1.7504	1.0000	
10	1.7543	1.2721	2.6754	1.3725	2.7392	1.3806	2.7231	1.3485	2.5239	0.8842	1.9841

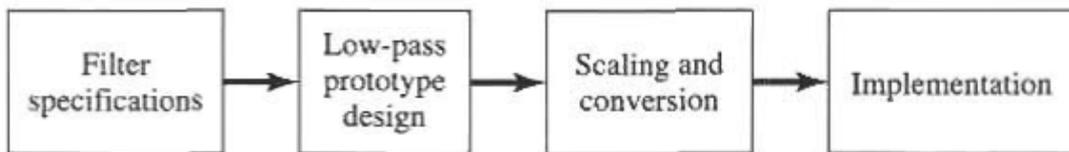
3.0 dB Ripple											
N	g_1	g_2	g_3	g_4	g_5	g_6	g_7	g_8	g_9	g_{10}	g_{11}
1	1.9953	1.0000									
2	3.1013	0.5339	5.8095								
3	3.3487	0.7117	3.3487	1.0000							
4	3.4389	0.7483	4.3471	0.5920	5.8095						
5	3.4817	0.7618	4.5381	0.7618	3.4817	1.0000					
6	3.5045	0.7685	4.6061	0.7929	4.4641	0.6033	5.8095				
7	3.5182	0.7723	4.6386	0.8039	4.6386	0.7723	3.5182	1.0000			
8	3.5277	0.7745	4.6575	0.8089	4.6990	0.8018	4.4990	0.6073	5.8095		
9	3.5340	0.7760	4.6692	0.8118	4.7272	0.8118	4.6692	0.7760	3.5340	1.0000	
10	3.5384	0.7771	4.6768	0.8136	4.7425	0.8164	4.7260	0.8051	4.5142	0.6091	5.8095

Source: Reprinted from G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures* (Dedham, MA: Artech House, 1980), with permission.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

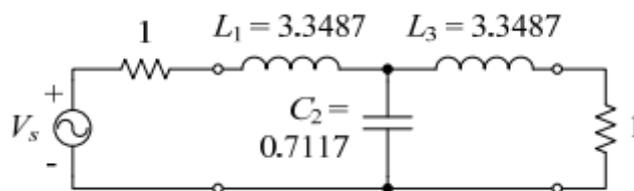
ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΧΑΜΗΛΟΠΕΡΑΤΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ

Για να σχεδιάσουμε ένα φίλτρο θα πρέπει να ορίσουμε πρώτα τα χαρακτηριστικά που θα έχει στη συνέχεια να ακολουθήσουμε το σχεδιασμό απ' το πρωτότυπο σχέδιο για χαμηλοπερατό φίλτρο σύμφωνα με τον Πίνακα 6 , να κάνουμε τις απαραίτητες μετατροπές και ενέργειες και τέλος να το εφαρμόσουμε στην πράξη. (xi)

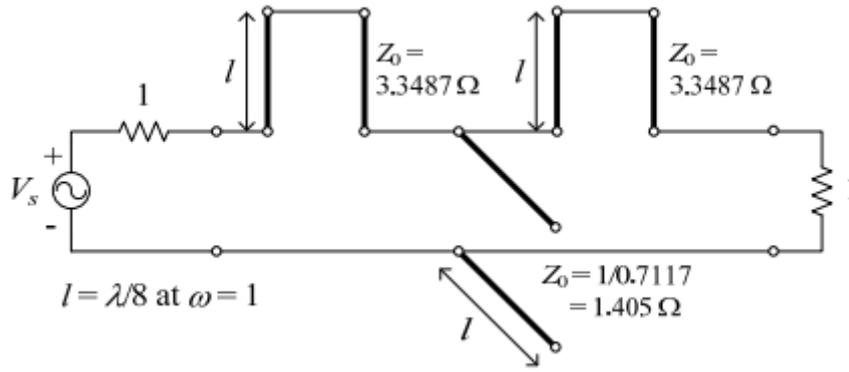


Σχήμα 14

Επομένως για να σχεδιάσουμε ένα χαμηλοπερατό φίλτρο 3^{ης} τάξης με μικροταινία , με συχνότητα αποκοπής $f_c = 3$ GHz, με 50Ω αντίσταση συστήματος και κυμάτωση 3 dB στη ζώνη διέλευσης ακολουθούμε το πρωτότυπο του φίλτρου ($g_1=g_3=3.3487$, $g_2=0.7117$ και $g_4=1$) ως εξής :



Έπειτα, σχηματίζουμε με στοιχεία στελέχων (stubs) και το αντίστοιχο κύκλωμα που προκύπτει έχει την ίδια κεντρική συχνότητα.

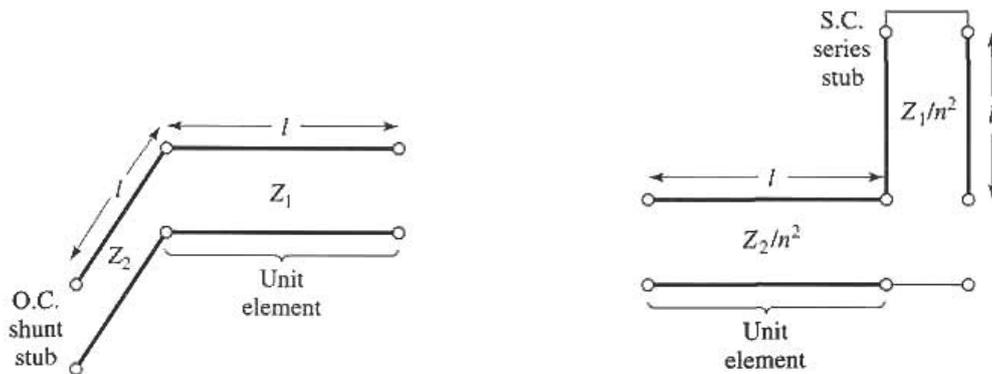


Δε θα μπορούσαμε ωστόσο να δουλέψουμε σωστά με αυτό το σχηματικό καθώς δεν υπάρχει φυσικός διαχωρισμός μεταξύ των στελεχών (stubs).

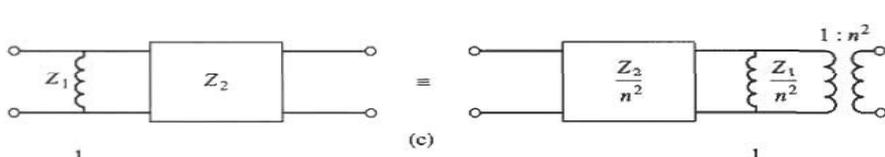
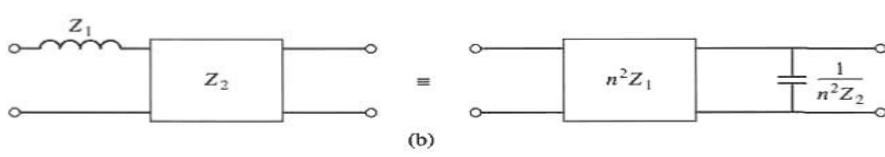
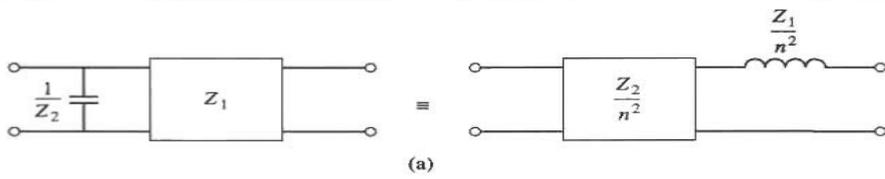
Επομένως χρησιμοποιούμε τις ιδιότητες Kuroda για να μετατρέψουμε αυτό το μη πρακτικό σχηματικό σε ισοδύναμο πρακτικό. (x)

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ KURODA:

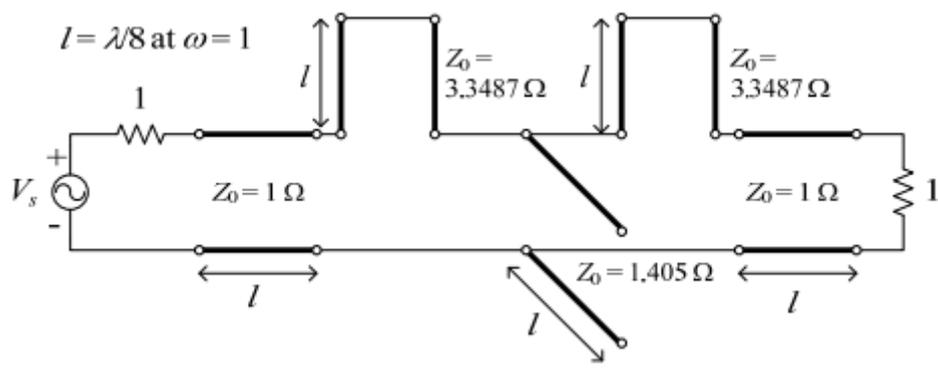
- *Στελέχη γραμμών μεταφοράς με φυσικό διαχωρισμό*
- *Μετασχηματισμός στελεχών (stubs) που είναι σε σειρά, σε παράλληλα ή αντίστροφα*
- *Τροποποίηση μη πρακτικών τιμών εμπέδησης σε τιμές πρακτικά πραγματοποιήσιμες (xii)*



$$n^2 = 1 + Z_2 / Z_1$$

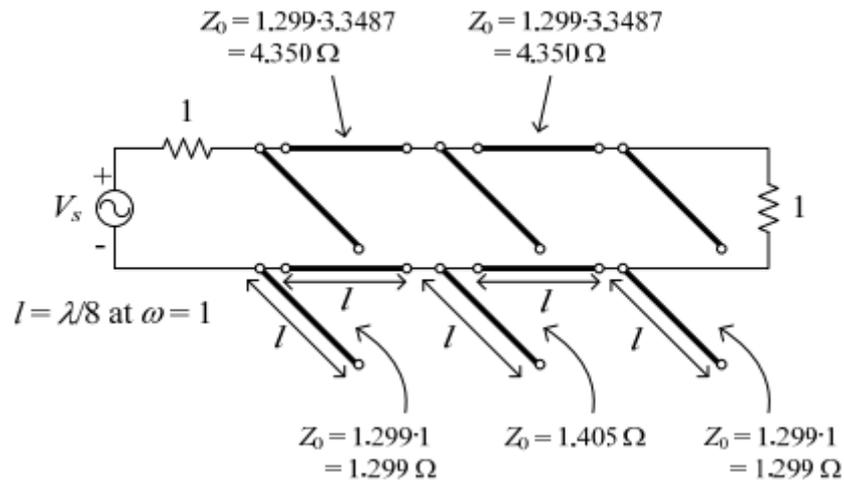


Στο σχήμα μας όμως δεν υπάρχουν μοναδιαία στοιχεία (unit elements) ώστε να εφαρμόσουμε τις ιδιότητες Kuroda. Οπότε αυτό που κάνουμε είναι να τα προσθέσουμε εμείς στα άκρα του σχηματικού μας με αντίσταση $Z_0=1$. Επομένως έχουμε το παρακάτω σχήμα που δεν επηρεάζει την απόδοση του φίλτρου απ'τη στιγμή που η αντίσταση είναι ίση με 1 σε κάθε άκρο:

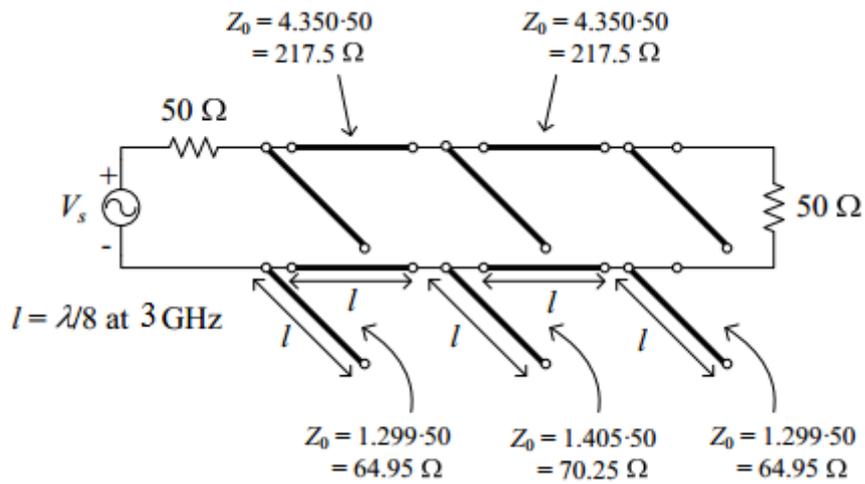


Τώρα πλέον μπορούμε να εφαρμόσουμε τις ιδιότητες **Kuroda**:

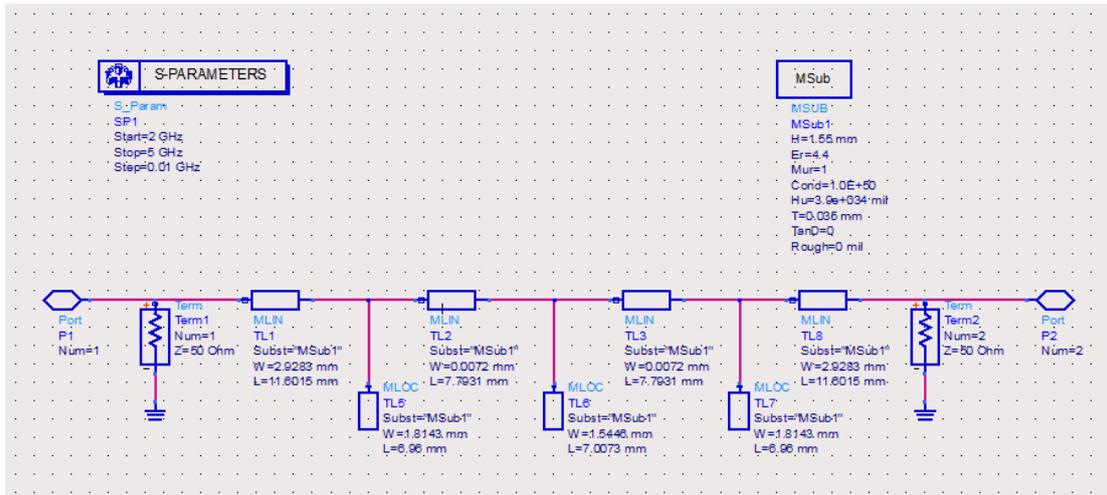
$$n^2 = 1 + Z_2 / Z_1 = 1.229$$



Τέλος θα χρειαστεί να δώσουμε τις τελικές τιμές στην αντίσταση και συχνότητα. Γι αυτό πολλαπλασιάζουμε όλες τις αντιστάσεις κατά 50 :



Στο επόμενο κεφάλαιο θα προσομοιωθεί το συγκεκριμένο σχηματικό στο πρόγραμμα ADS (Er= 4.4 , H= 1.55) (x)



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΒΗΜΑ-ΒΗΜΑ ΧΑΜΗΛΟΠΕΡΑΤΟΥ ΦΙΛΤΡΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ – ADS (Advanced Design System)

Σχετικά με το ADS: Το Advanced Design System ή ADS όπως λέγεται εν συντομία είναι ένα λογισμικό σύστημα ηλεκτρονικού σχεδιασμού από την Keysight EESof EDA, της Keysight Technologies. Παρέχει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον σχεδιασμού για διάφορα ηλεκτρονικά προϊόντα όπως κινητά τηλέφωνα, συσκευές τηλεϊδιοποίησης, ασύρματα δίκτυα, δορυφορικές επικοινωνίες, συστήματα ραντάρ και συνδέσεις υψηλής ταχύτητας δεδομένων. Το ADS υποστηρίζει κάθε βήμα της διαδικασίας του σχεδιασμού απεικονίζοντας το σχηματικό, παρέχει πολλών ειδών υπολογισμούς και μετατροπές στις μετρήσεις κάθε εξαρτήματος, απεικονίζει κάθε κατασκευάσμα με τις φυσικές του διαστάσεις και σε μορφή τριών διαστάσεων (3D), όπως επίσης και το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, κάνει προσομοιώσεις και εξάγει τα αποτελέσματα μέσω γραφικών παραστάσεων και πολλές ακόμα λειτουργίες που επιτρέπει στον σχεδιαστή να έχει πολλές δυνατότητες σε ό,τι θέλει να κατασκευάσει. Η Keysight EDA έχει δωρίσει αντίγραφα του λογισμικού ADS σε πολλά τμήματα μηχανικών ηλεκτρολογίας και πανεπιστήμια όπως και στο TEI Ηπείρου- Μηχανικών

Πληροφορικής με ένα μεγάλο ποσοστό των αποφοίτων να είναι εξοικειωμένοι με το λογισμικό. Γι' αυτό και το σύστημα έχει μεγάλη απήχηση στη βιομηχανία. (xv)

LPF – $f_c = 3 \text{ GHz}$: Εφόσον λοιπόν πρώτα έχει γίνει η εγκατάσταση του λογισμικού στον υπολογιστή με διπλό κλικ ανοίγουμε το πρόγραμμα ADS και σε λίγα δευτερόλεπτα θα μεταφερθούμε στο περιβάλλον του προγράμματός μας. Για να ξεκινήσουμε να σχεδιάσουμε ένα καινούριο φίλτρο πηγαίνουμε το ποντίκι στην καρτέλα FILE και επιλέγουμε NEW PROJECT όπως στην εικόνα παρακάτω (Figure 1).

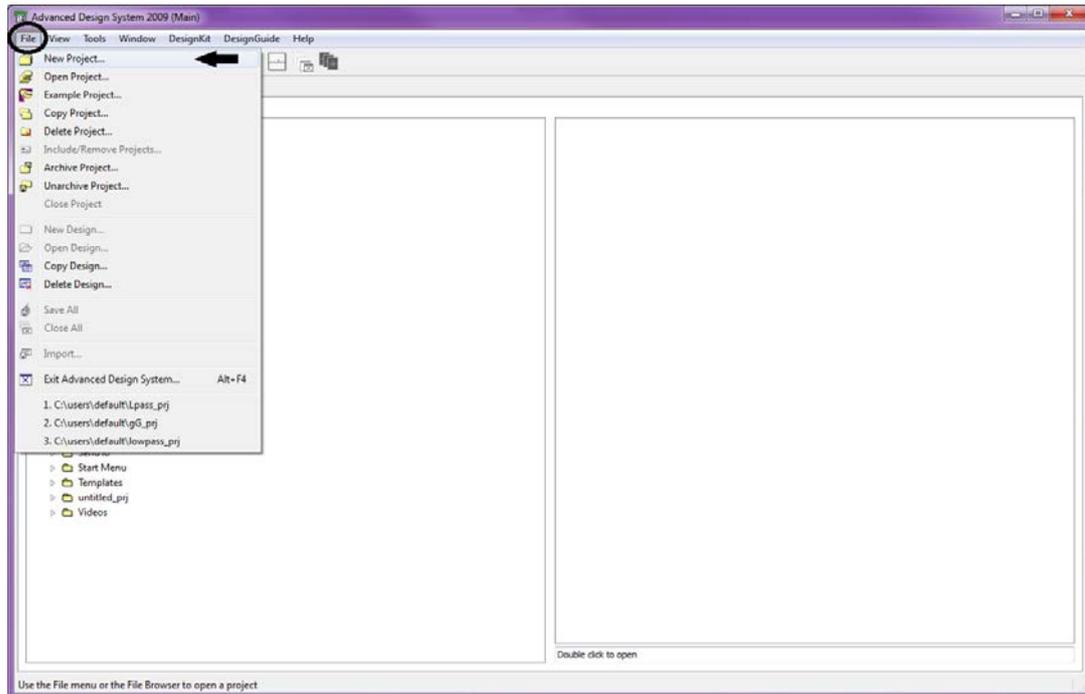


Figure 1

Στη συνέχεια εμφανίζεται ένα παράθυρο όπου ζητάει ένα όνομα για την εργασία μας ώστε να την αποθηκεύσει. Βάζουμε το όνομα που θέλουμε π.χ “lowpass_filter” και πατάμε OK (Figure 2).

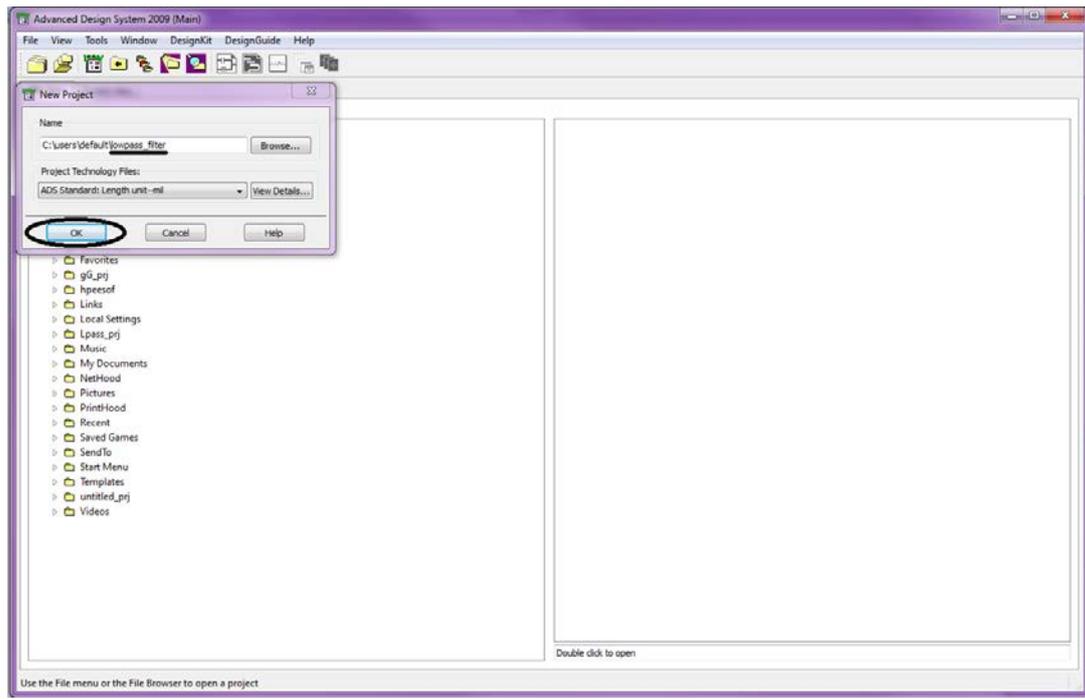


Figure 2

Μεταφερόμαστε αμέσως μετά στο σχηματικό και στις παλέτες των εξαρτημάτων κάθε είδους που βρίσκονται στην αριστερή στήλη. Από εκεί λοιπόν θα επιλέξουμε με τον δείκτη του ποντικού την επιλογή “TLines-Microstrip” για να σχεδιάσουμε με την μικροταινία (Figure 3)

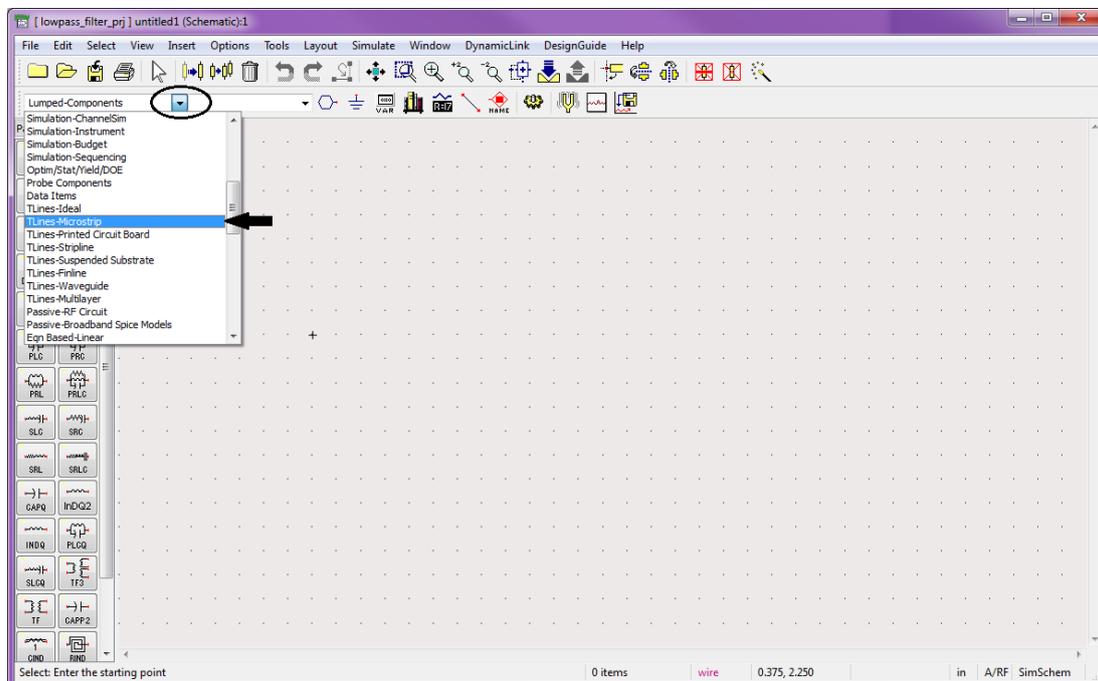


Figure 3

Θα εμφανιστεί η παλέτα από την κατηγορία της μικροταινίας, διαλέγουμε το MLIN και βάζοντάς το σε σειρά 4 φορές. Δε χρειάζεται να το επιλέξουμε 4 φορές αλλά

παραμένει σαν επιλογή για να το τοποθετήσουμε όσες φορές θέλουμε και όταν δε θα χρειαστούμε άλλο απλα πατάμε “Escape” απ’ το πληκτρολόγιο.(Figure 4,5)

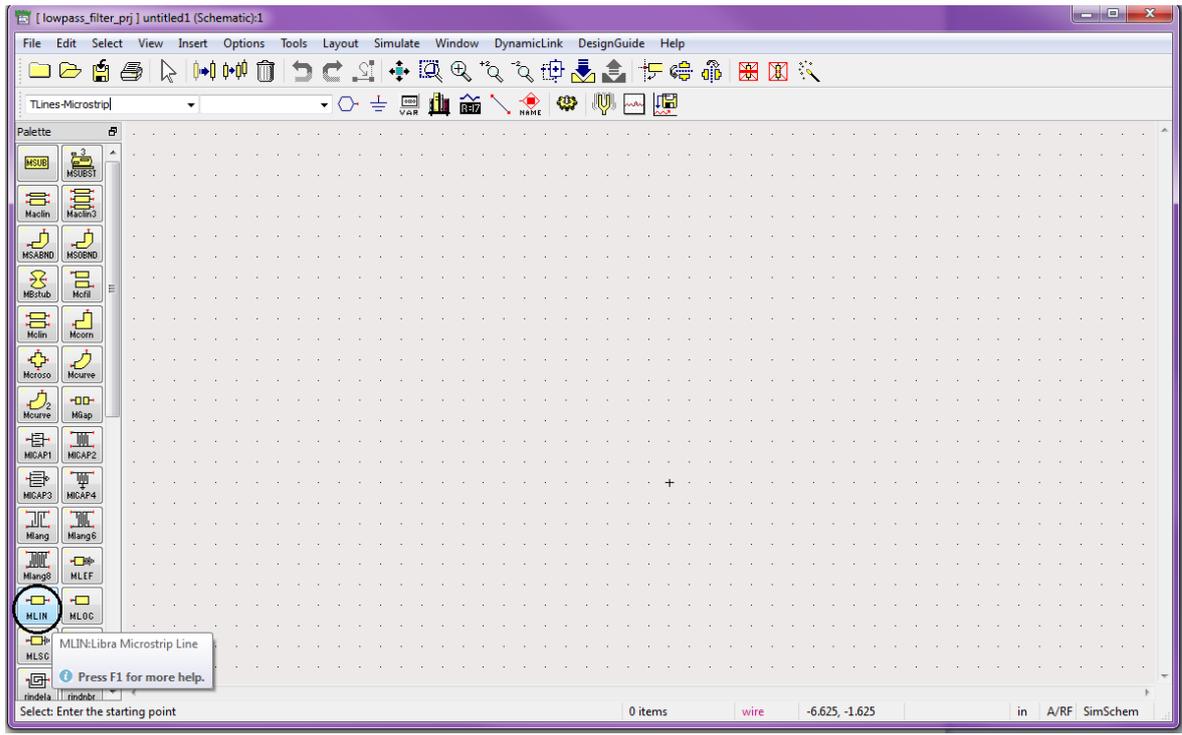


Figure 4

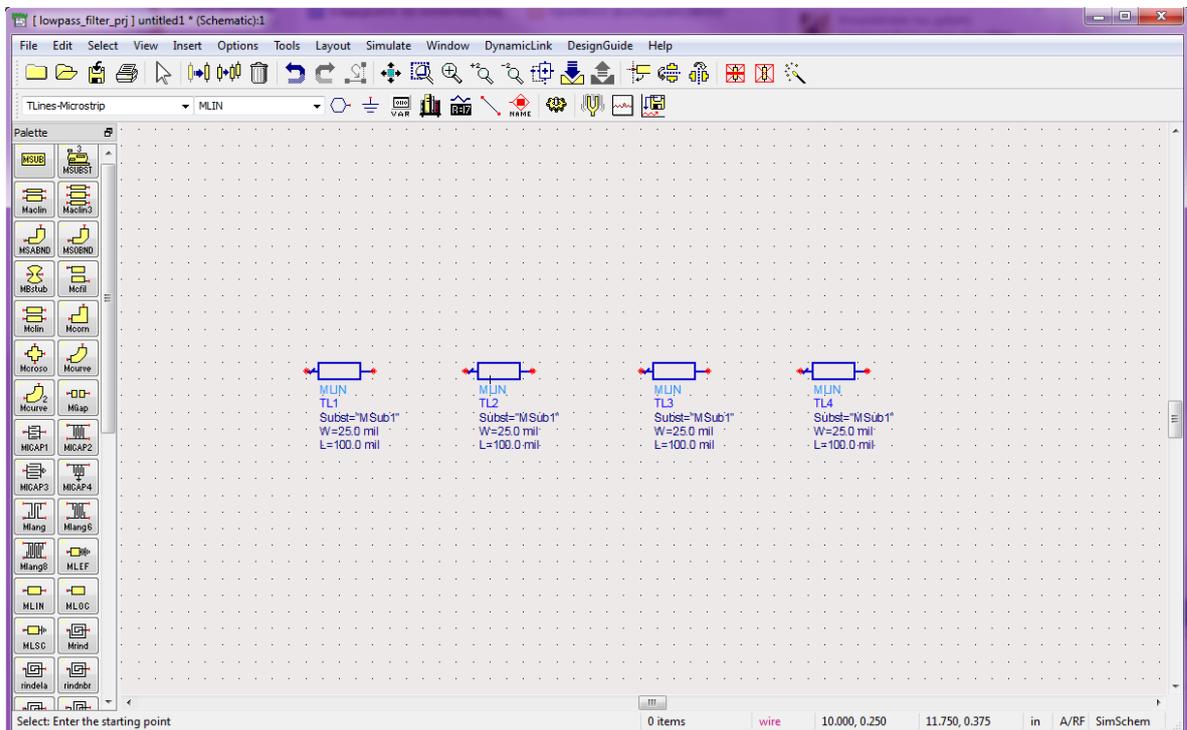


Figure 5

Εν συνεχεία επιλέγουμε από την οριζόντια μπάρα τη γραμμή “Wire” που είναι κυκλωμένο για να ενώσουμε μεταξύ τους τα MLINs. Αφού το έχουμε επιλέξει

κάνουμε ένα κλικ στο δεξί άκρο του πρώτου MLIN και άλλο ένα στο αριστερό άκρο του επόμενου MLIN κ.ο.κ μέχρι να τα ενώσουμε όλα μεταξύ τους (Figure 6)

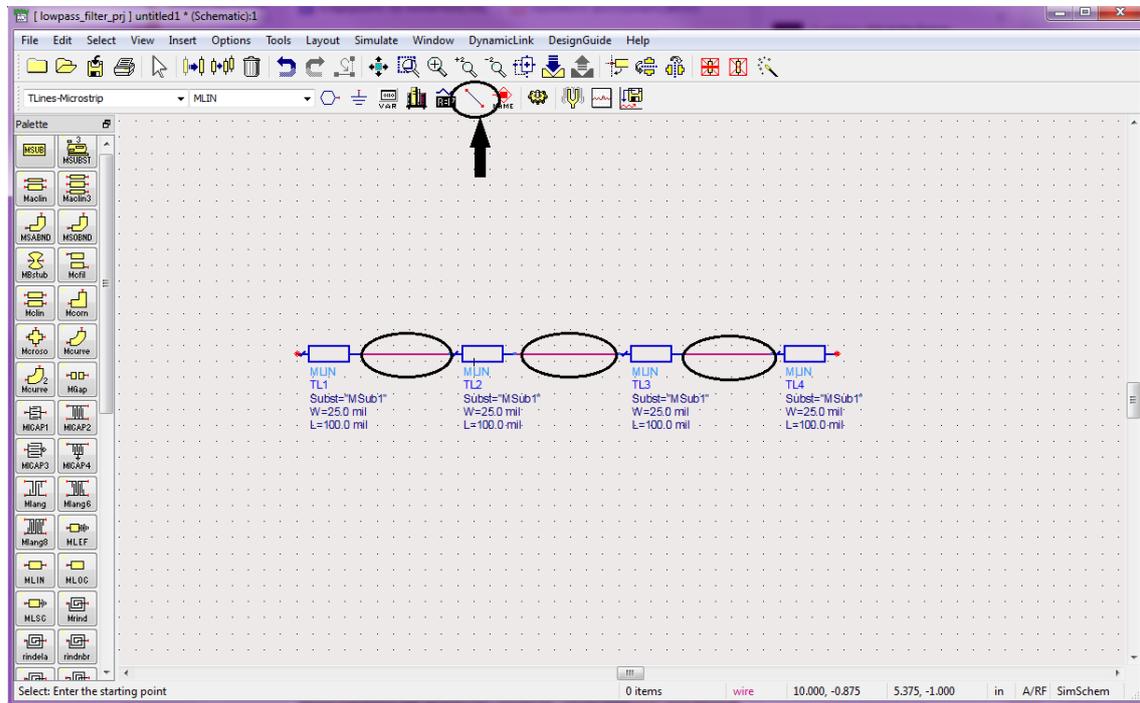


Figure 6

Έπειτα στο πεδίο αναζήτησης (για να γίνει σωστή αναζήτηση και ο εντοπισμός του στοιχείου που θέλουμε, θα πρέπει να εισάγουμε ακριβώς την ονομασία του όπως την έχει το πρόγραμμα, δηλαδή το Term π.χ πρέπει να γραφεί ακριβώς έτσι και όχι TERM ή term) πληκτρολογούμε “Term” που συμβολίζει την αντίσταση και τοποθετούμε μία από τα αριστερά και μία από τα δεξιά. Κάτω από αυτές τοποθετούμε από μια γείωση “GROUND” που επιλέγουμε από την οριζόντια μπάρα με το χαρακτηριστικό συμβολό της που είναι σε κύκλο. Και ξανά με το “Wire” ενώνουμε αυτή τη φορά τα ελεύθερα άκρα του πρώτου και τελευταίου MLIN με το ένα άκρο του Term ενώ το άλλο άκρο του συνδέεται με τη γείωση. Για να πάρει την ίδια θέση το Term όπως αυτή της εικόνας αρκεί να πατήσουμε στο πληκτρολόγιο “Ctrl” + R (Rotate) και με αυτό τον τρόπο κάνουμε περιστροφή στο στοιχείο ανάλογα με το πως μας βολεύει στο σχηματικό. Έτσι λοιπόν θα έχουμε δημιουργήσει το παρακατω σχηματικό (Figure 7).

Με το σχεδιαστικό μέρος τελειώσαμε και πλέον θα ασχοληθούμε με τα χαρακτηριστικά του και την προσομοίωση του. Αρχικά θα πρέπει να θέσουμε τις τιμές και τα χαρακτηριστικά της πλακέτας που θα χρησιμοποιήσουμε καθώς και τη συχνότητα, την αντίσταση Z_0 και άλλα. Αυτό λοιπόν θα γίνει επιλέγοντας την καρτέλα “Tools”-“LineCalc”-“Start line Calc” ή (αφου έχουμε επιλέξει πρώτα ένα MLIN) “Start Selected Component To LineCalc” (Figure 8).

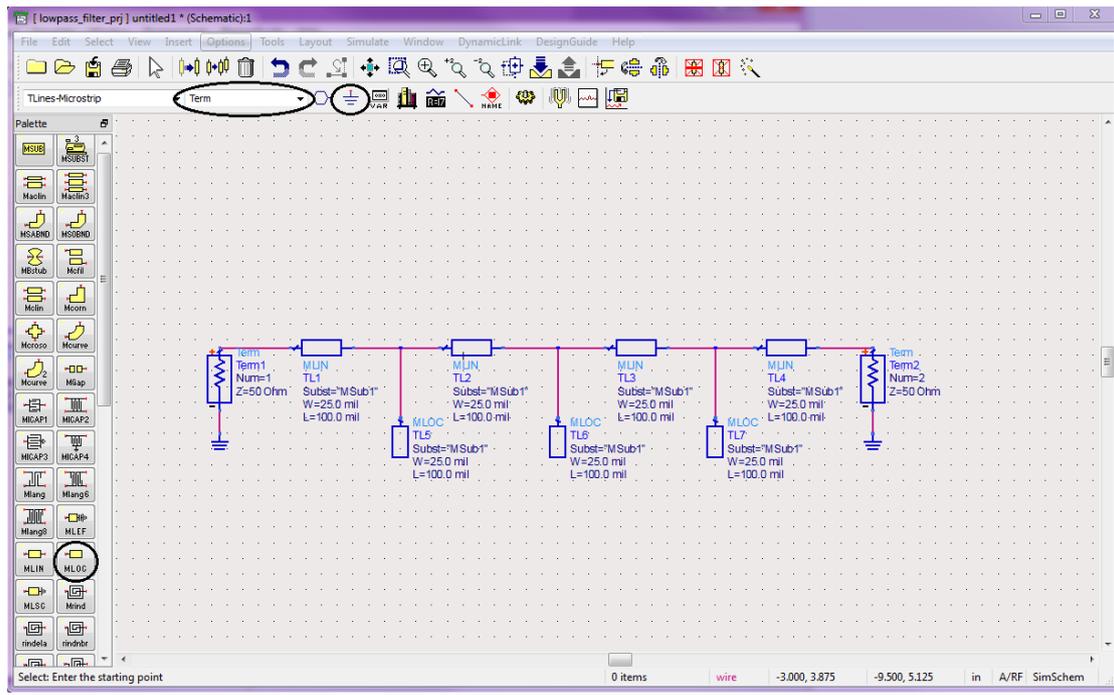


Figure 7

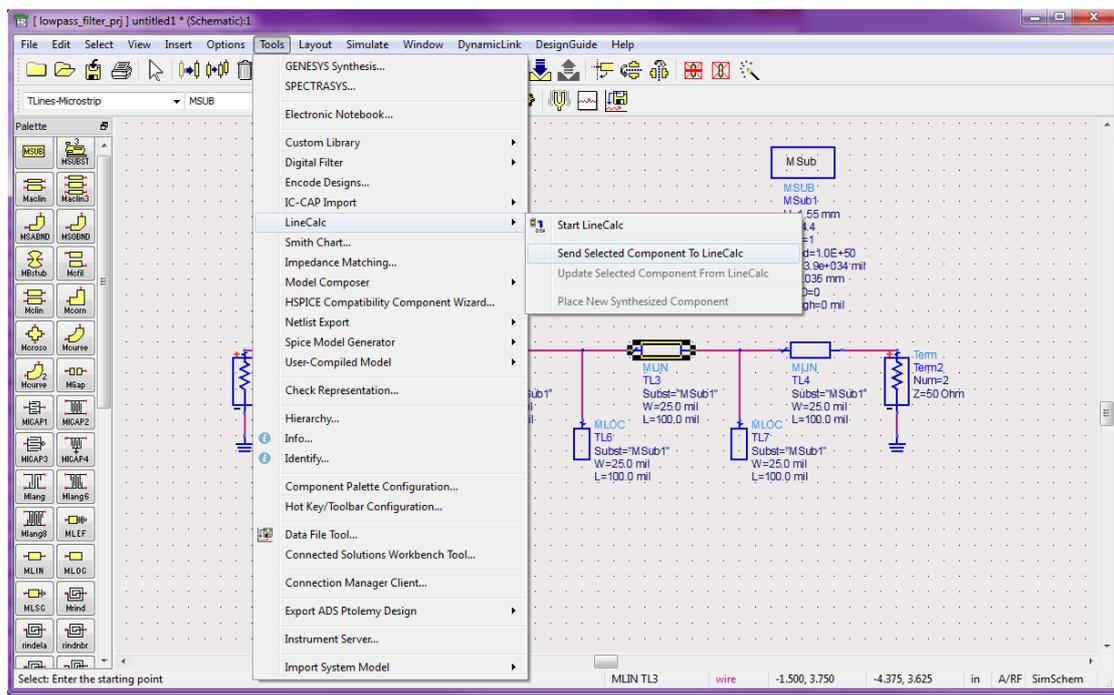


Figure 8

Πλέον εμφανίζεται ένα νέο παράθυρο, αυτό του υπολογισμού του πλάτους και μήκους των μικροταινιακών γραμμών αφού πρωτίστως δηλώσουμε κάποια άλλα χαρακτηριστικά που χρειάζονται για τον υπολογισμό τους. Ξεκινάμε με τα χαρακτηριστικά του υλικού “Substrate Parameters” που θα είναι η βάση για την μικροταινία. Πρώτη είναι η ένδειξη “H” δηλαδή το ύψος του (height) που για το συγκεκριμένο φίλτρο μας είναι τα 1,55 mm. Έπειτα βάζουμε την τιμή του

δηλεκτρικού “Er” στο 4,4 και τα υπόλοιπα τα αφήνουμε στις προκαθορισμένες τιμές τους. Συνεχίζουμε στην κατηγορία “Component Parameters” όπου εκεί θα βάλουμε τη συχνότητα αποκοπής που θέλουμε (στα δεξιά κάθε τιμής υπάρχει η μονάδα μέτρησης που πατώντας το βελάκι μπορούμε να αλλάξουμε μονάδα προς διευκόλυνση κάθε σχεδιαστή) και πιο δίπλα στην κατηγορία “Electrical” βάζουμε τις τιμές που έχουμε υπολογίσει και πατώντας το βελάκι “Synthesize” θα μας εμφανίσει το πλάτος (Width) και το μήκος (Length) της κάθε γραμμής αλλάζοντας την τιμή Z_0 σε καθεμία (Figure 9)

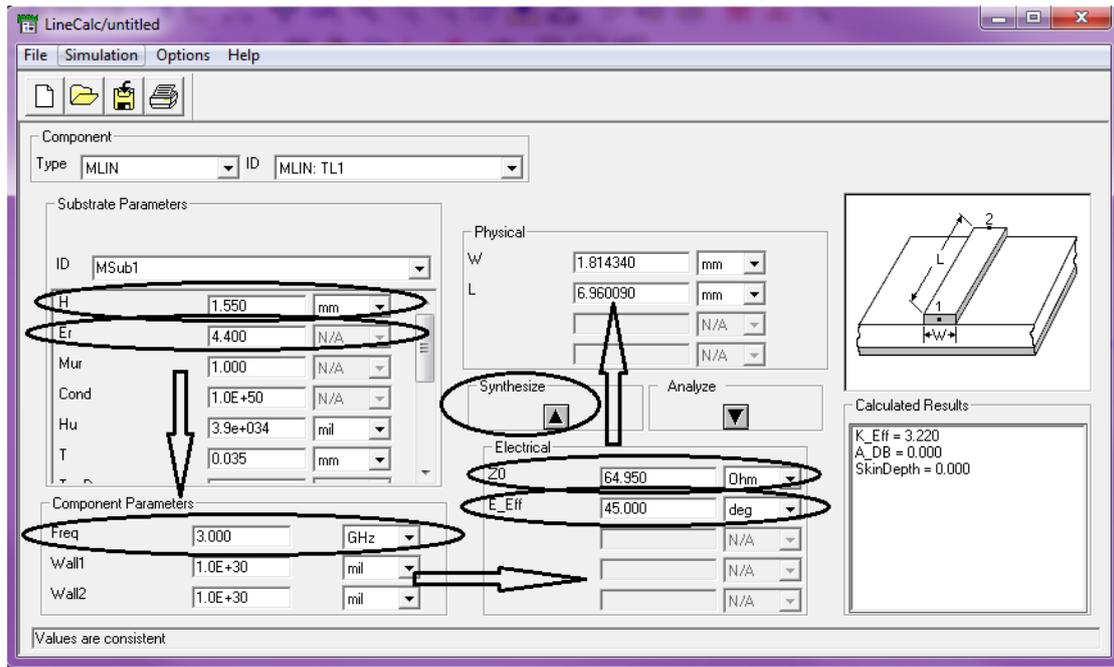


Figure 9

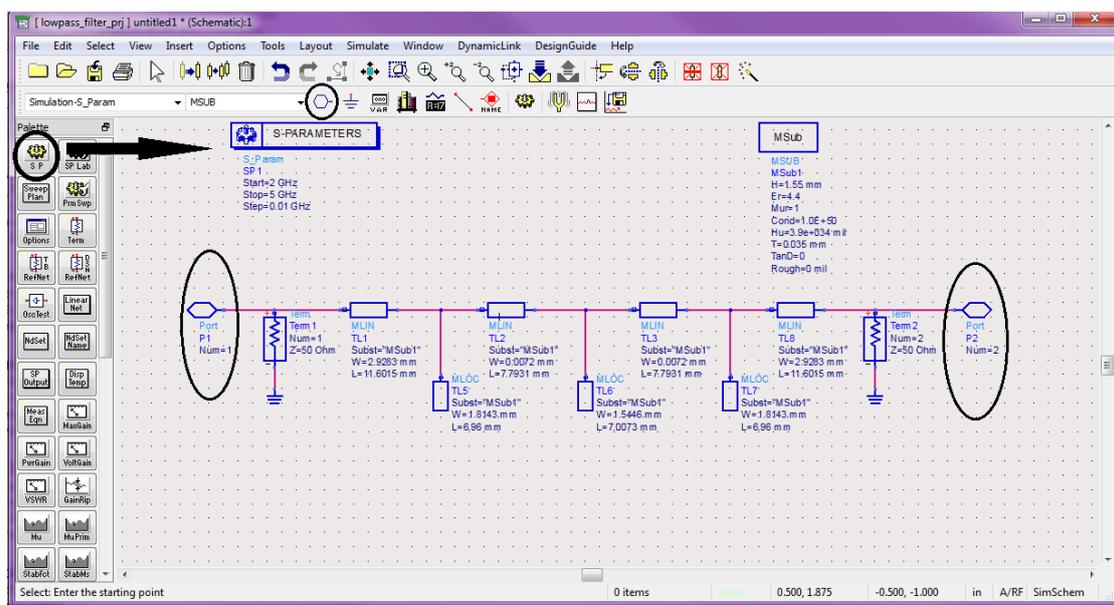


Figure 10

Αφού συμπληρώσαμε τα απαιτούμενα πεδία για τον υπολογισμό των διαστάσεων της μικροταινίας κλείνουμε το παράθυρο και επανεργάζομαστε στο σχηματικό. Για να

ολοκληρώσουμε το σχηματικό μας προσθέτουμε 2 “Port”, το οποίο επιλέγουμε από την οριζόντια μπάρα όπως φαίνεται στην εικόνα, στην αρχή και στο τέλος του σχεδίου μας και όπως και προηγουμένως τα ενώνουμε και αυτά. Ουσιαστικά το αριστερό και δεξί Port αντιπροσωπεύει την είσοδο και την έξοδο του συστήματός μας αντίστοιχα. (Figure 10).

Τέλος επιλέγουμε την κατηγορία “Simulation-S_Param” από το πεδίο όπως στην Figure 3 και θέτουμε τους όρους της προσομοίωσής μας όπως “Start= 2 GHz” δηλαδή να ξεκινήσει η προσομοίωση από τα 2 GHz, να σταματήσει “Stop= 5 GHz” και το βήμα “Step= 0.1 GHz” .

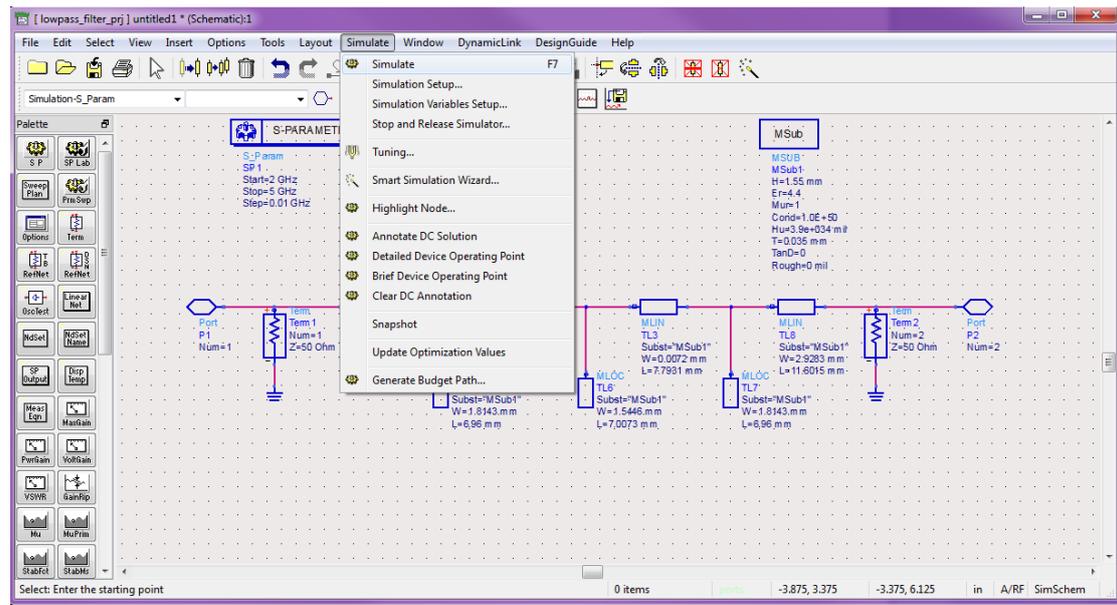


Figure 11

Πλέον όλα είναι έτοιμα να ξεκινήσουμε την προσομοίωση και να δούμε τα αποτελέσματα από τις γραφικές παραστάσεις. Πηγαίνοντας στην καρτέλα “Simulate”-“Simulate” η απλώς πατώντας F7 και θα μεταβούμε σε ένα νέο παράθυρο. Στην αριστερή στήλη κάνουμε κλικ στο σχήμα που είναι σε κύκλο και με τη σειρά του θα ανοίξει νέο παράθυρο. Σε αυτό θα πρέπει να δηλώσουμε τι θα θέλαμε να δούμε απ τη γραφική παράσταση. Επιλέγουμε S(1,1) και S(2,1) όπου 1 η είσοδος και 2 η έξοδος. Αφού τα επιλέξουμε και τα δύο πατάμε “Add” επιλέγουμε τη μέτρηση dB και πατάμε και στα δύο OK (Figure 12). Εμφανίζεται πλέον η απόκριση του φίλτρου μας και φαίνεται ξεκάθαρα πως πρόκειται για ένα χαμηλοπερατό φίλτρο το οποίο επιτρέπει τη διέλευση συχνοτήτων μέχρι 3 GHz και στη συνέχεια μετά από αυτή την τιμή αρχίζει η απόρριψη των επόμενων συχνοτήτων όπως φαίνεται από την κλίση που παίρνει το σχήμα(Figure 13). Για να το διαπιστώσουμε καλύτερα μπορούμε να τοποθετήσουμε έναν δείκτη εκεί που τέμνονται οι δύο γραμμές (είσοδος-έξοδος). Παρατηρώντας τις τιμές που μας εμφανίζει για το συγκεκριμένο σημείο βλέπουμε ότι η συχνότητα είναι στα 3 GHz η οποία, όπως δηλώνει και η τιμή των dB=3, αποτελεί και την συχνότητα αποκοπής όπως θέλαμε (Figure 14).

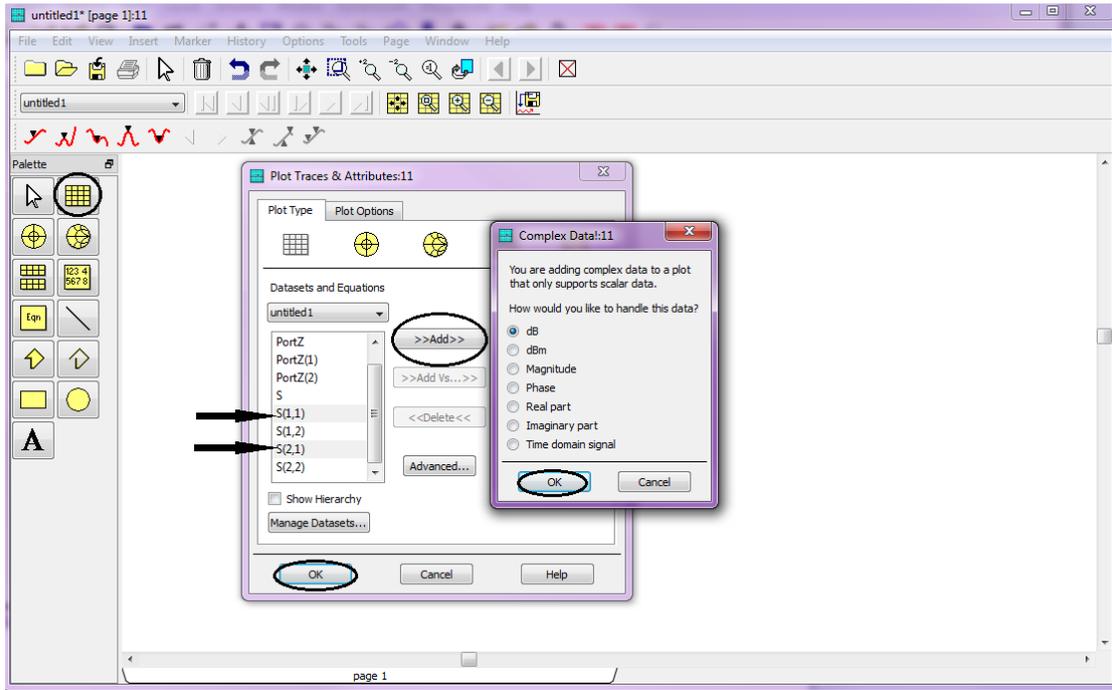


Figure 12

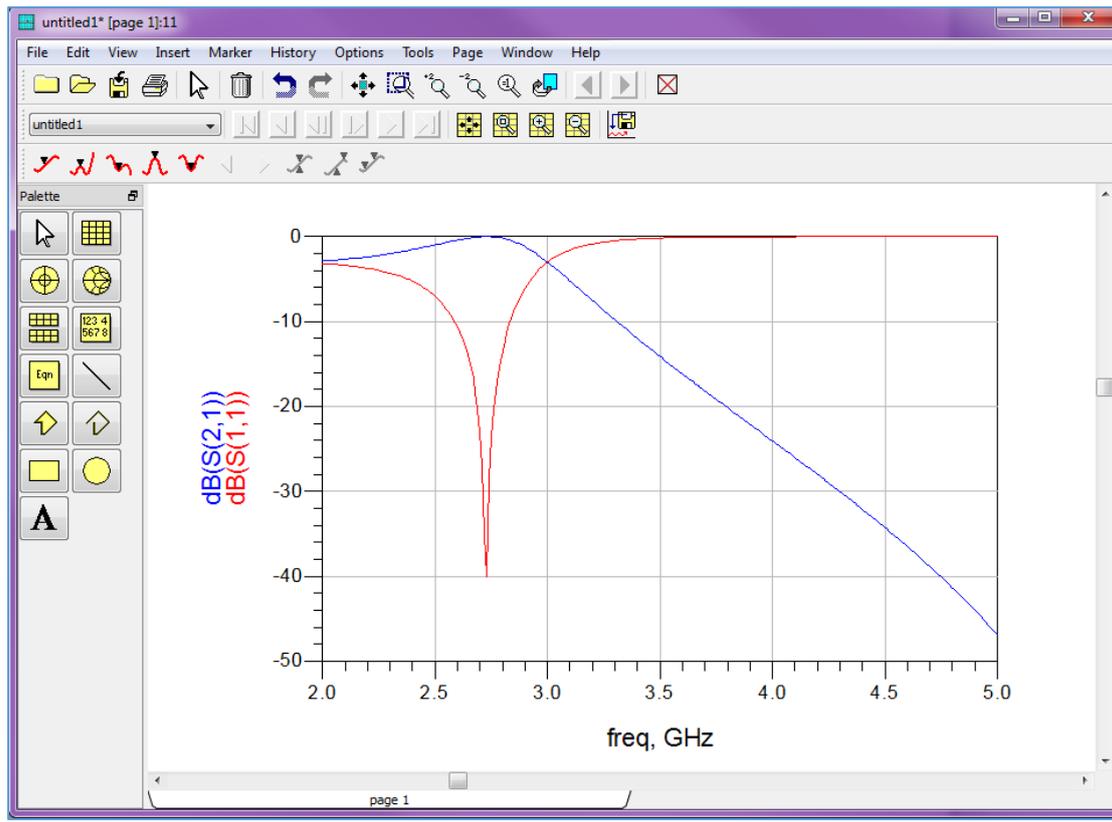


Figure 13

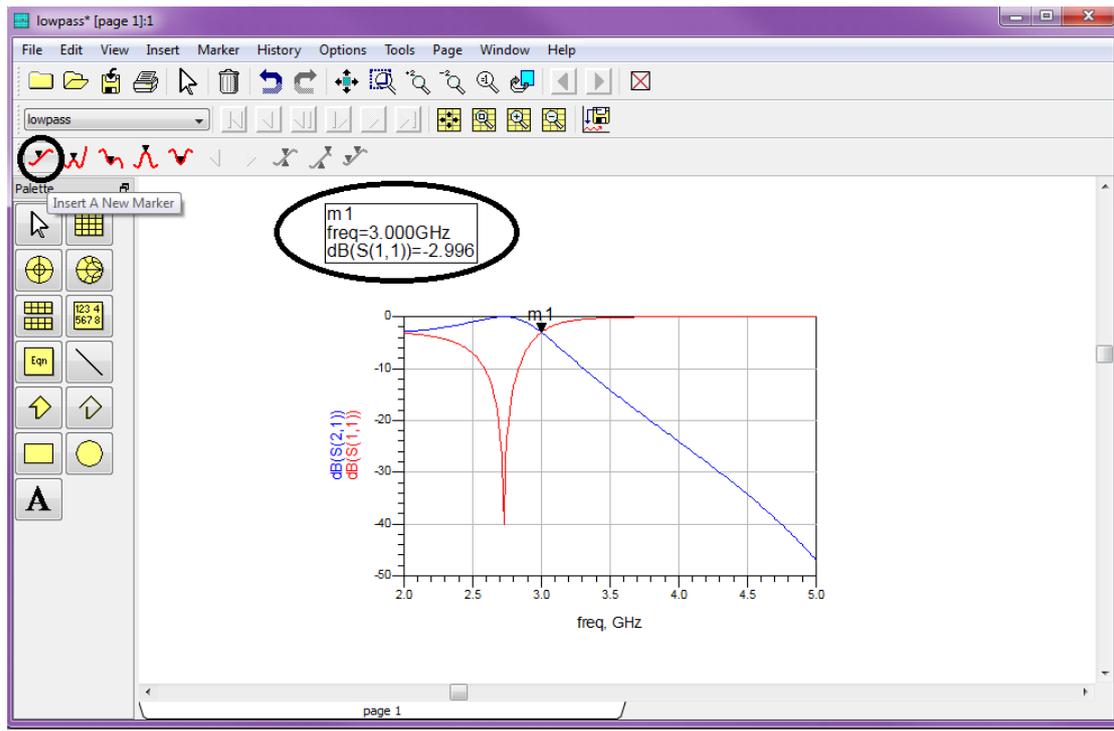


Figure 14

Τώρα για να δούμε πως θα είναι σα σχέδιο το σχηματικό που δημιουργήσαμε πηγαίνουμε στην καρτέλα “Layout”-“Generate/Update Layout” (Figure 15) και θα μπορούμε να δούμε το αποτέλεσμα (Figure 16).

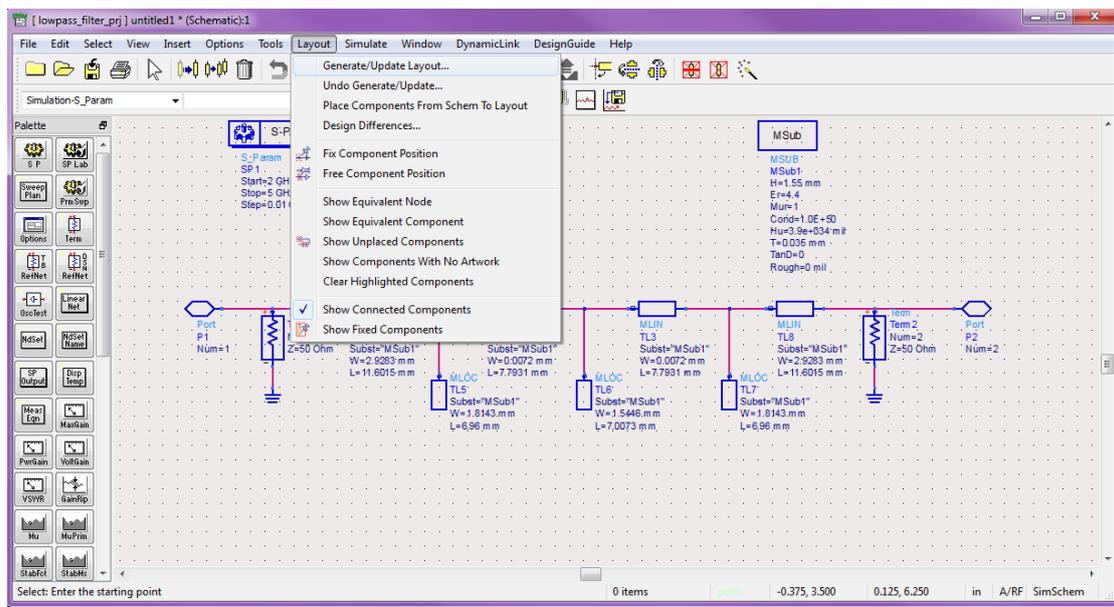


Figure 15

Το ADS μας δίνει τη δυνατότητα να δούμε το σχέδιό μας και σε τρισδιάστατη μορφή και να το δούμε από κάθε οπτική γωνία. Αυτό επιτυγχάνεται επιλέγοντας, από το παράθυρο του Layout, την καρτέλα “EMDS”-“3D EM Preview” (Figure 17).

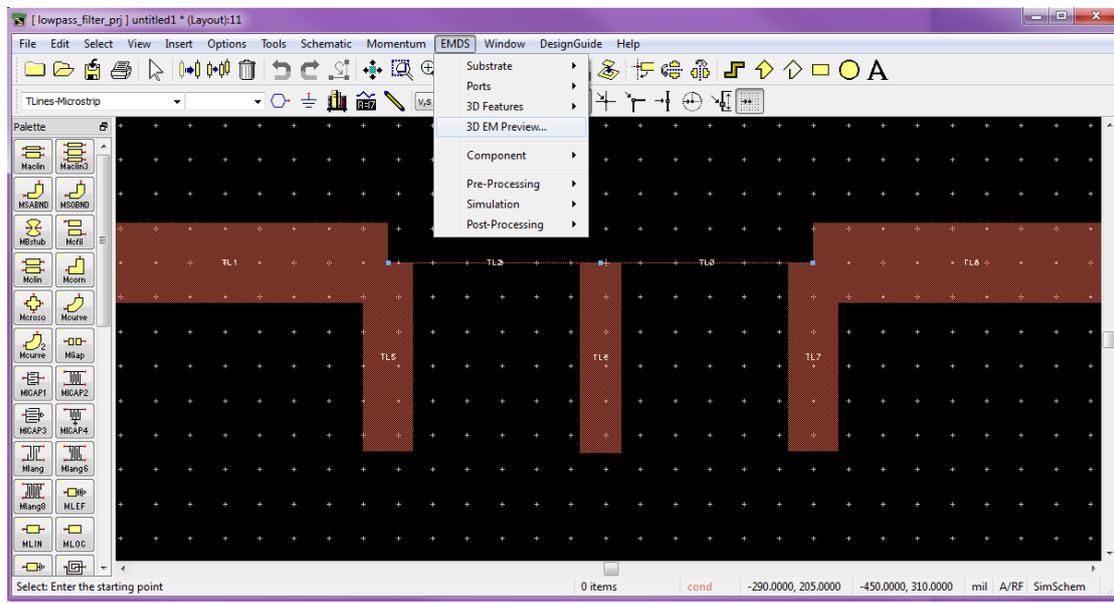


Figure 16

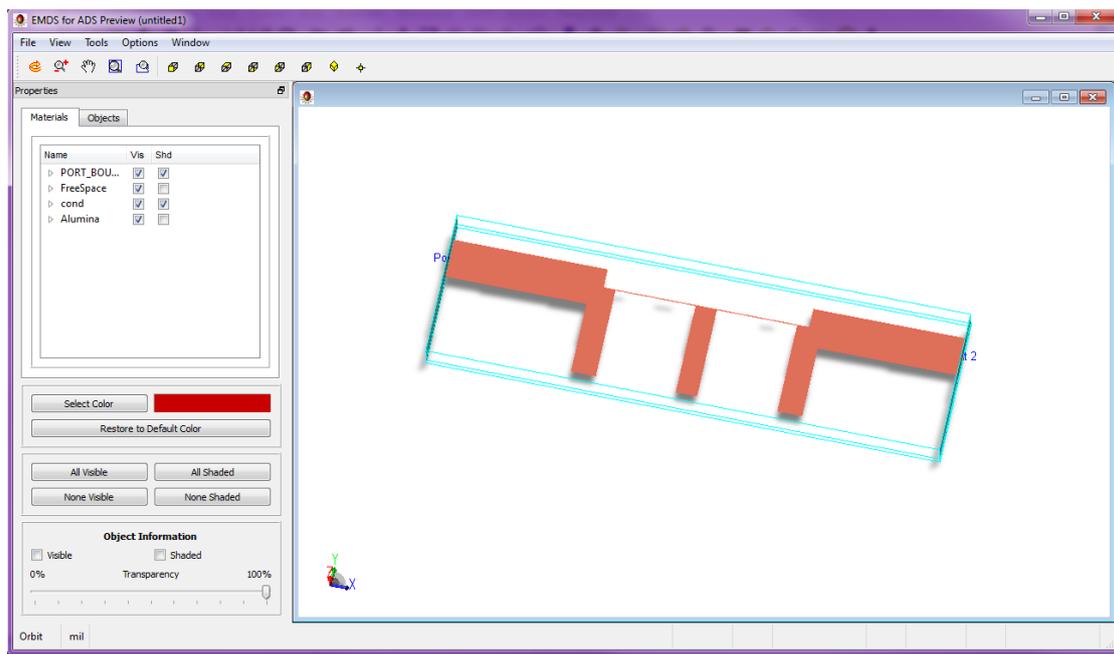


Figure 17

Τέλος για να μπορέσουμε να το σχεδιάσουμε και πρακτικά με βάση το σχέδιο που απεικονίζει το ADS θα πρέπει να πάρουμε τις φυσικές του διαστάσεις ώστε να τις αντιγράψουμε σε κάποιο πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας ή στη Ζωγραφική του υπολογιστή. Για να μετρήσουμε τις διαστάσεις της κάθε γραμμής επομένως πάμε στο παράθυρο του Layout και στην καρτέλα “Insert” επιλέγουμε το “Dimension Line” και πηγαίνοντας στο σχέδιο κάνουμε ένα κλικ σε ένα σημείο και τον δείκτη του ποντικιού

ακολουθεί μία γραμμή και άλλο ένα κλικ μέχρι το σημείο που θέλουμε να μετρήσουμε. Στη μέση της γραμμής που κάναμε εμφανίζεται η απόσταση που ψάχνουμε (Figure 18,19).

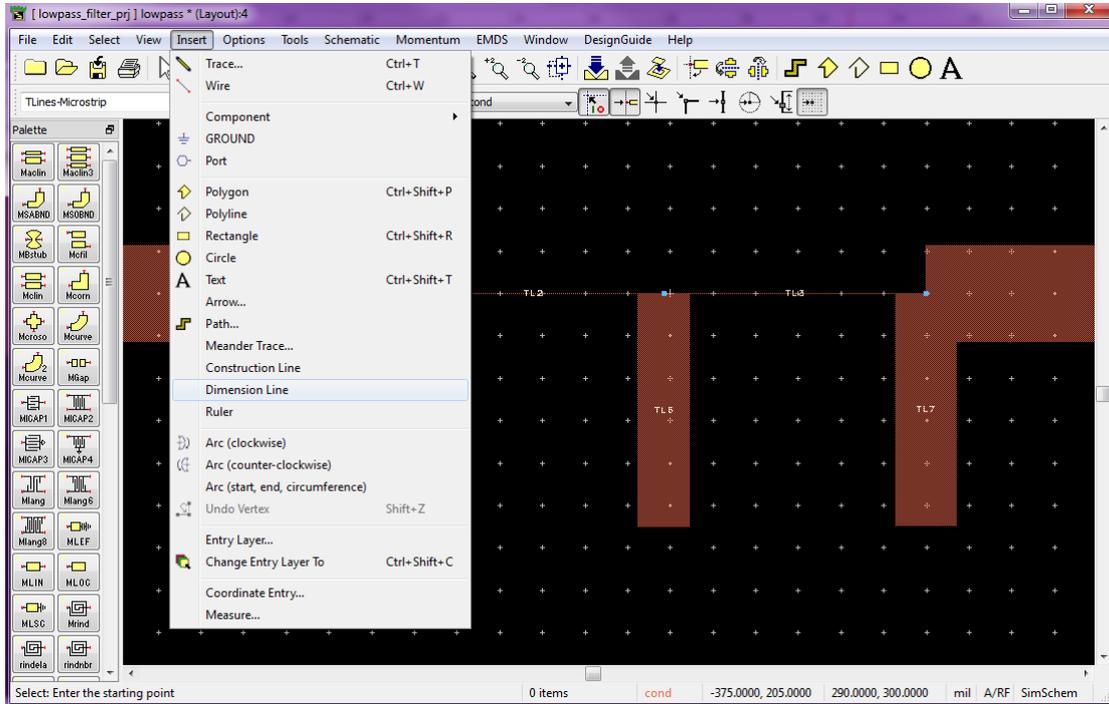


Figure 18

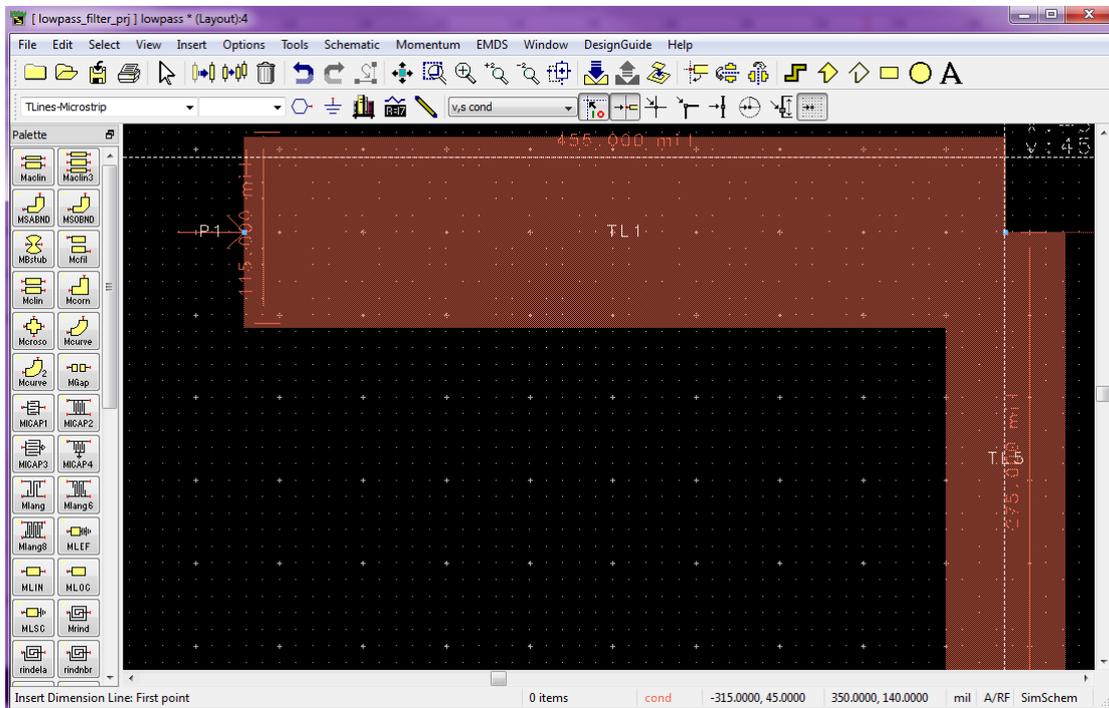


Figure 19

LPF – $f_c = 5 \text{ GHz}$: Την ίδια διαδικασία ακολουθούμε και για συχνότητα αποκοπής στα 5 GHz με τη διαφορά τώρα πως στο “LineCalc” αλλάζουμε την τιμή της συχνότητας και συνεπώς θα αλλάξουν και όλες οι διαστάσεις των μικροταινιών. Εφόσον κάνουμε αυτή την αλλαγή έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Στο σχηματικό δεν αλλάζει κάτι ουσιαστικό παρα μόνο οι τιμές από τα πλάτη και μήκη των MLINs αλλά και οι τιμές στο “S-Parameters” καθώς δουλεύουμε σε άλλες συχνότητες πλέον (Figure 20).

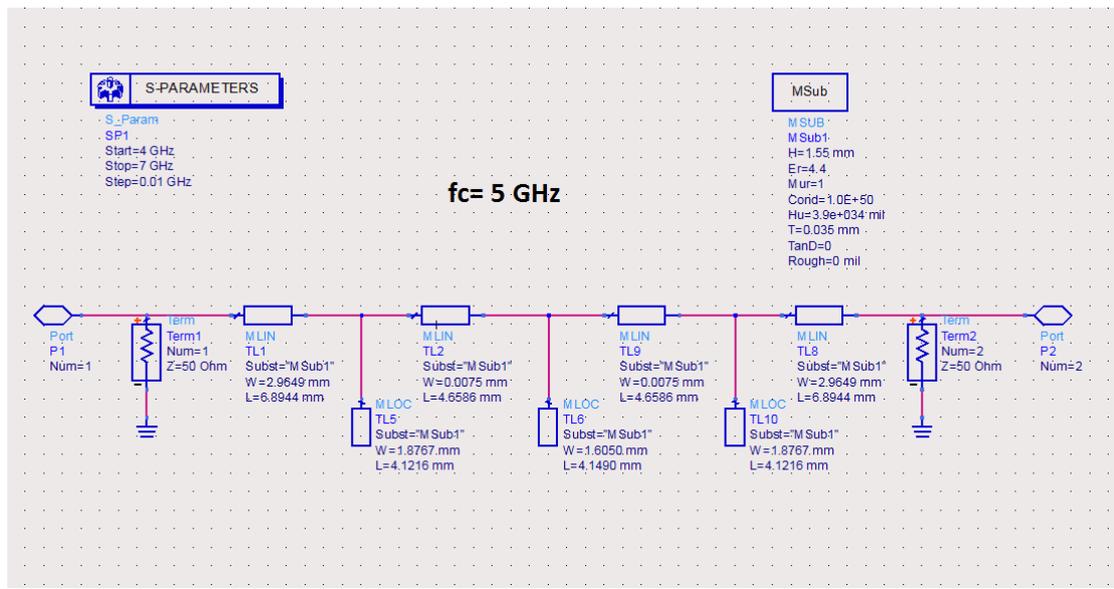


Figure 20

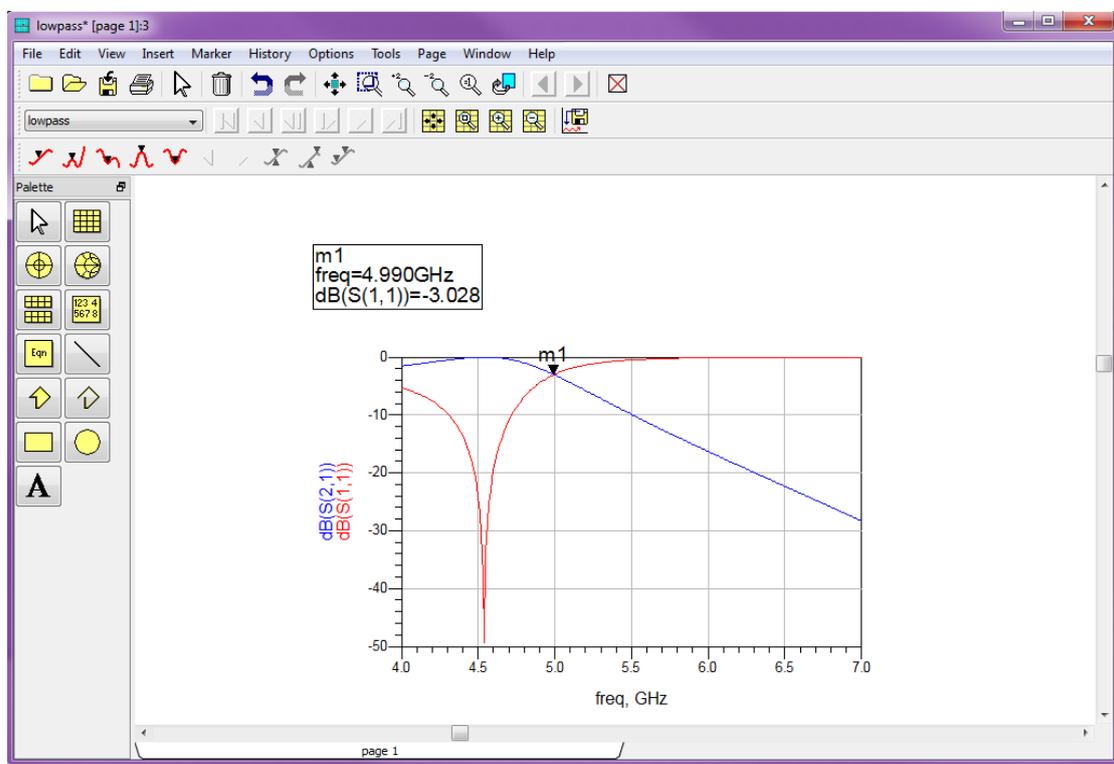


Figure 21

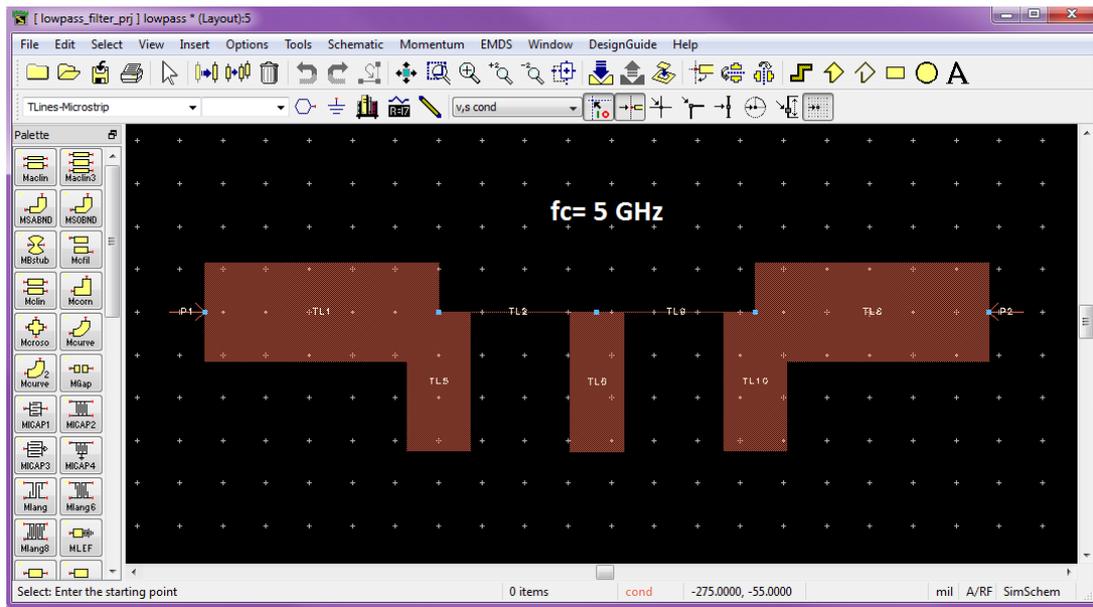


Figure 22

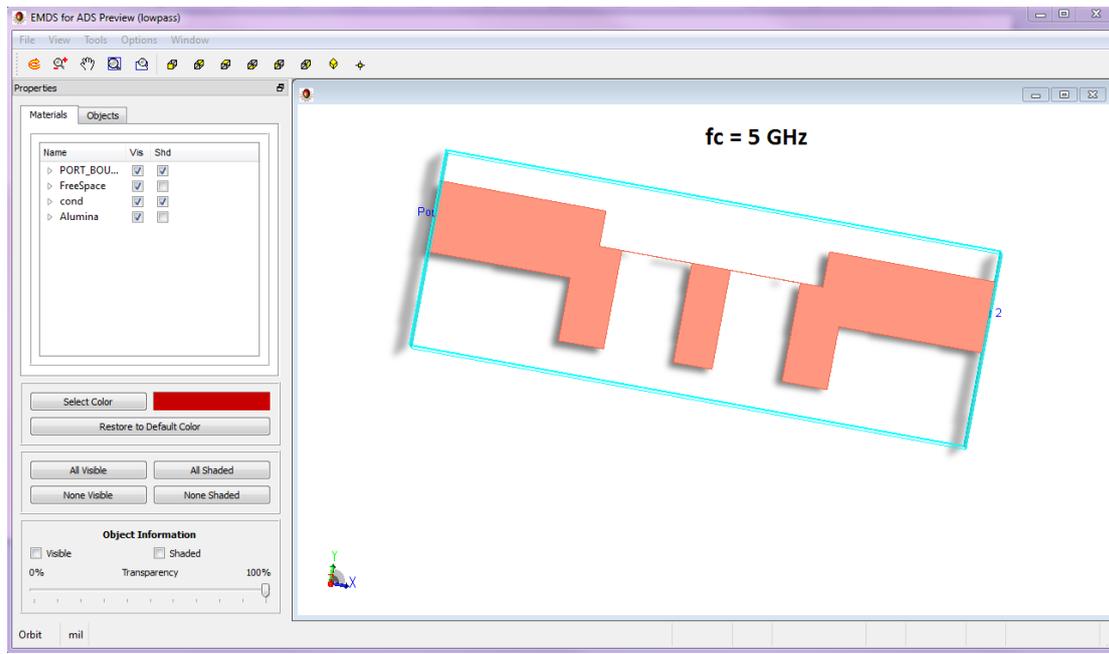


Figure 23

Κάνοντας την προσομοίωση εμφανίζεται η γραφική παράσταση με την απόκριση του φίλτρου και αυτή τη φορά η απόρριψη συχνοτήτων μεταφέρθηκε στα 5 GHz (Figure 21). Στις υπόλοιπες δύο εικόνες εμφανίζονται τα αντίστοιχα Layout και 3D preview.

LPF – $f_c = 1$ GHz: Τέλος θα απεικονιστεί ένα ακόμα παράδειγμα χαμηλοπερατού φίλτρου μικροκυματικής τεχνολογίας με συχνότητα αποκοπής στο 1 GHz. Είναι φανερό πως αλλάζοντας τη συχνότητα διαφοροποιούνται και οι διαστάσεις των μικροταινιών για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις που θέτουμε κάθε φορά.

Απεικονίζονται με τη σειρά το σχηματικό (Figure 24), η απόκριση συχνότητας (Figure 25), το Layout (Figure 26), και η τρισδιάστατη μορφή 3D preview (Figure 27).

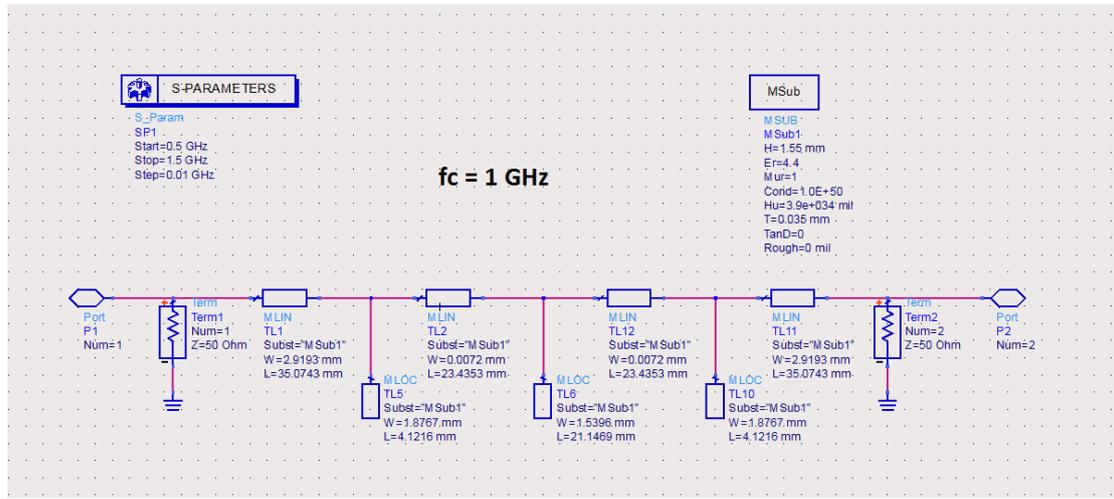


Figure 24

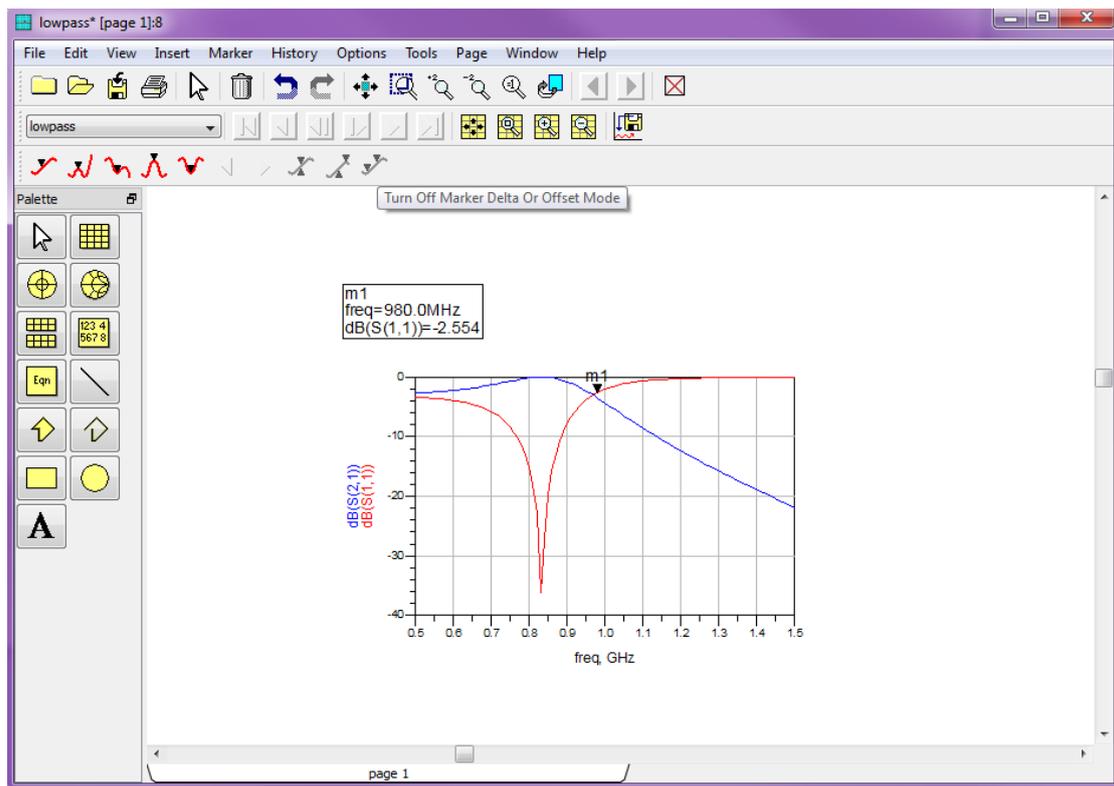


Figure 25

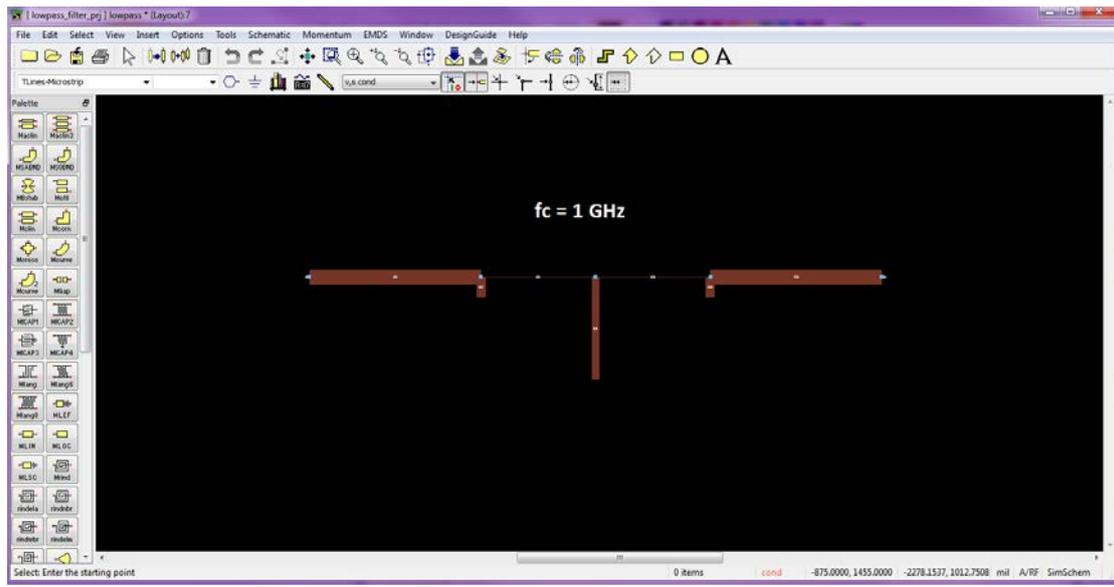


Figure 26

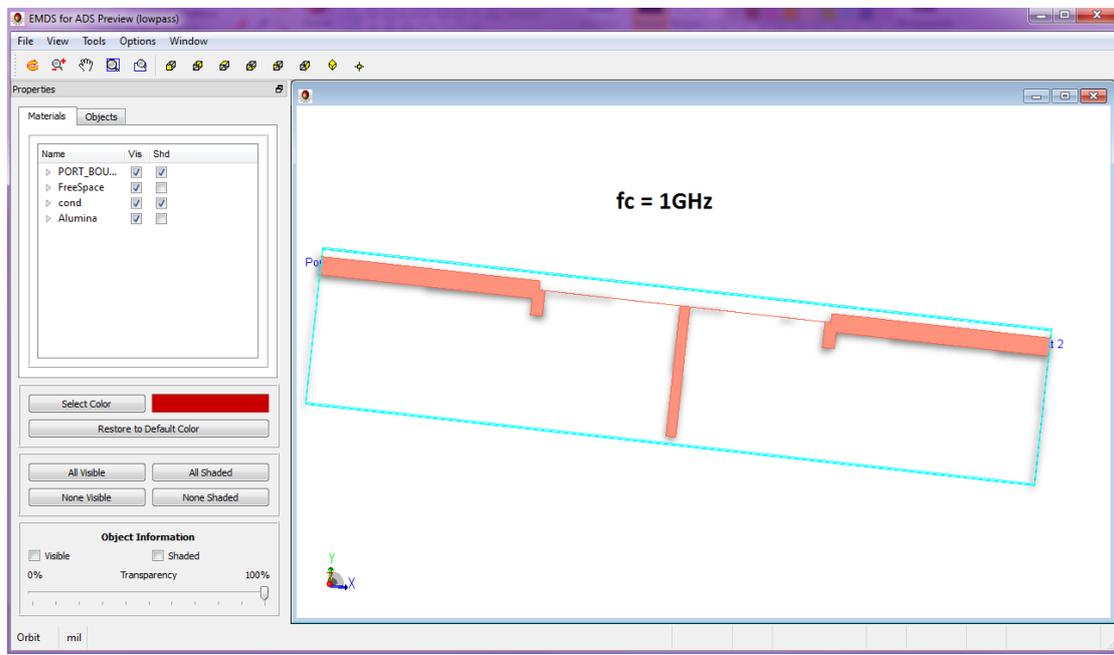


Figure 27

Όπως είναι φανερό αναλόγως τη συχνότητα που ορίζουμε αλλάζουν και οι διαστάσεις του φίλτρου είτε λίγο είτε πολύ όμως τα αποτελέσματα από τη λειτουργία τους είναι τα επιθυμητά. Αυτός λοιπόν ο τρόπος που παρουσιάστηκε είναι ο κατάλληλος για τη δημιουργία χαμηλοπερατών φίλτρων μικροκυματικής τεχνολογίας με τη χρήση μικροταινίας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΦΟΡΕΣ

BIBLIA:

1. Stallings William, 2007, *Ασύρματες Επικοινωνίες και Δίκτυα*, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα
2. Malvino Albert – Bates David, 2011, *Ηλεκτρονική 7^η έκδοση*, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα
3. Σταύρου Νικόλαος, *Αναλογικές Τηλεπικοινωνίες-Εργαστηριακές Ασκήσεις*, ΤΕΙ Ηπείρου

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ:

- i. <http://eureka.lib.teithe.gr:8080/bitstream/handle/10184/4276/Kuriakou.pdf?sequence=1>
- ii. <http://en.wikipedia.org/wiki/Decibel>
- iii. <http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1>
- iv. <http://uspas.fnal.gov/materials/MicrowaveTheory.pdf>
- v. ftp://teiser.gr/pliroforiki/MIKROKIMATIKES_DIATAKSEIS/%CC%9%CA%D1%CF%CA%D5%CC%C1%D4%C1_%C8_.pdf
- vi. <http://en.wikipedia.org/wiki/Microstrip>
- vii. <https://www.youtube.com/watch?v=3Zj97hUtrEQ>
- viii. <http://www.pcbdesign007.com/pages/columns.cgi?clmid=55&artid=76489&pf=1>
- ix. http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2003-0063/DT2003-0063.pdf
- x. <http://whites.sdsmt.edu/classes/ee481/notes/481Lecture31.pdf>
- xi. <http://ntuenc.tw/upload/file/201102212235523ca26.pdf>
- xii. <http://www.itc.ku.edu/~jstiles/723/handouts/Kurodas%20Identities%20.pdf>
- xiii. <http://en.wikipedia.org/wiki/FR-4>
- xiv. http://en.wikipedia.org/wiki/Distributed_element_filter
- xv. http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Design_System
- xvi. http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1