



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

« Σχεδιασμός ενισχυτή στενής ζώνης χαμηλού θορύβου »



Του φοιτητή :

ΚΑΦΤΕΡΑΝΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ

Αρ. Μητρώου: 511042

Του φοιτητή :

ΑΡΛΕΤΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

Αρ. Μητρώου:511145

Επιβλέπων καθηγητής : Λέκτορας ΓΙΑΚΟΥΜΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

Θεσσαλονίκη, 6-2020

Τίτλος Δ.Ε.: Σχεδιασμός ενισχυτή στενής ζώνης χαμηλού θορύβου
Κωδικός Δ.Ε.: 20173

Όνοματεπώνυμο φοιτητών: Καφτεράνης Παναγιώτης & Αρλέτος
Γεώργιος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Γιακουμής Άγγελος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 29-4-2020

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.: 30-12-2020

Βεβαιώνω ότι είμαστε οι συγγραφείς αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχουμε καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμάς προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Καφτεράνη Παναγιώτη και Αρλέτου Γεώργιου που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, οι συγγραφείς/δημιουργοί εκχωρούν στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας των συγγραφέων/δημιουργών, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιοδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση των συγγραφέων/δημιουργών.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων των συγγραφέων, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η εποχή που διανύουμε χαρακτηρίζεται ως η εποχή των τεχνολογιών και των εξελίξεων, που περιλαμβάνουν την ύπαρξη πληθώρας ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Οι συσκευές αυτές προκειμένου να τεθούν σε λειτουργία απαιτούν την εκπομπή κάποιου είδους ηλεκτρικού σήματος. Ένα από τα κυριότερα προβλήματα που προκύπτουν κατά την εκπομπή ηλεκτρονικών σημάτων είναι η εξασθένηση. Οι λόγοι της εξασθένησης του ηλεκτρικού σήματος ποικίλλουν. Μερικά προβλήματα που μπορεί να προκύψουν είναι οι δυσλειτουργίες της ίδιας της συσκευής, οι παρεμβολές από άλλες ηλεκτρικές ή ηλεκτρονικές συσκευές (όπως οι φούρνοι μικροκυμάτων ή τα κινητά τηλέφωνα), η αντίσταση μεταλλικών αγωγών (όπως οι σιδερένιες ντουλάπες), το νερό (ενυδρείο) ή και η τοποθεσία μιας ηλεκτρικής συσκευής (router ή ακόμη και συσκευή usb). Ένας τρόπος επίλυσης του προβλήματος αυτού είναι η χρήση ενός ενισχυτή σήματος που θα βοηθήσει να επιτύχουμε τις επιθυμητές τιμές. Υπάρχουν, λοιπόν, στο εμπόριο διαθέσιμοι διάφοροι τύποι ενισχυτών, όπως για παράδειγμα ενισχυτές τηλεπικοινωνιακών σημάτων, υψηλών συχνοτήτων, ήχου και άλλοι. Στην παρούσα εργασία, θα ασχοληθούμε συγκεκριμένα με ένα τύπο ενισχυτή, αυτόν του χαμηλού θορύβου ενισχυτή ραδιοσυχνοτήτων στα 2,4 GHz (low noise amplifier 2,4 GHz), ο οποίος βρίσκει εφαρμογή σε ηλεκτρονικές συσκευές, όπως το Bluetooth, το Wi-Fi router και home RF.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία περιλαμβάνει την ανάλυση και τον σχεδιασμό σε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης ενός χαμηλού θορύβου ενισχυτή στα 2,4 GHz (low noise amplifier 2,4 GHz) που αφορά ραδιοσυχνότητα ηλεκτρονικών συσκευών, όπως Bluetooth, Wi-Fi router, home RF. Όπως είναι ήδη γνωστό, καθώς ο ενισχυτής είναι μια ηλεκτρονική διάταξη μετάδοσης-λήψης, θα προσπαθήσουμε να κρατήσουμε το θόρυβο σε χαμηλό επίπεδο, αλλά και να έχουμε ταυτόχρονα ένα επαρκές κέρδος. Επιπλέον, μέσω υπολογισμών και με το σχεδιαστικό πρόγραμμα προσομοίωσης θα δώσουμε ένα σχηματικό με την τελική μορφή του ενισχυτή χαμηλού θορύβου στα 2,4GHz (low noise amplifier 2,4 GHz). Τέλος, θα γίνει μια αξιολόγηση της τελικής απόδοσης του ενισχυτή.

« LOW NOISE NARROWBAND AMPLIFIER DESIGN »

**PANAGIOTIS KAFTERANIS & GIORGOS
ARLETOS**

Abstract

This dissertation includes the analysis and design of a low-noise amplifier simulation program at 2.4 GHz (low noise amplifier 2.4 GHz) for radio frequency devices such as Bluetooth, Wi-Fi router, home RF. As is already known, as the amplifier is an electronic transmission-receiving device, we will try to keep the noise low, but also to have a sufficient profit at the same time. In addition, through calculations and with the design simulation program it will give a formation with the final form of the low noise amplifier at 2.4GHz (low noise amplifier 2.4 GHz). Finally, an evaluation of the final performance of the amplifier will be done.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Γιακουμή Άγγελο, λέκτορα καθηγητή του ΔΙ.ΠΑ.Ε. και επιβλέπον καθηγητή της πτυχιακής μας εργασίας, για την πολύτιμη συμβολή και τη συστηματική καθοδήγηση στη προσπάθειά μας αυτή. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την στήριξη που μας δείχνουν σε κάθε νέα μας προσπάθεια.

Κατάλογος περιεχομένων

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract.....	vii
Ευχαριστίες.....	viii
Περιεχόμενα.....	ix
Κατάλογος σχημάτων.....	xiv
Κατάλογος πινάκων.....	xv
Συντομογραφίες.....	xvi
Εισαγωγή.....	1
Κεφάλαιο 1ο: Αρχική ιδέα.....	3
1.1 Εισαγωγή.....	3
1.2 Βασικό μπλοκ διάγραμμα.....	3
1.3 Επίλογος.....	3
Κεφάλαιο 2ο: Παράμετροι σκέδασης-S παράμετροι.....	4
2.1 Εισαγωγή.....	4
2.2 Περιγραφή των παραμέτρων σκέδασης.....	4
2.3 Ανάλυση μεταδιδόμενων και ανακλώμενων κυμάτων.....	6
2.4 Επίλογος.....	8
Κεφάλαιο 3ο: Θόρυβος ενισχυτή.....	9
3.1 Εισαγωγή.....	9
3.2 Συντελεστής θορύβου.....	9
3.3 Εύρος ζώνης θορύβου.....	10
3.4 Παράμετροι θορύβου.....	10
3.5 Κέρδος ισχύος.....	11
3.6 Επίλογος.....	11

Κεφάλαιο 4ο: Επίλογή τρανζίστορ.....	12
4.1 Εισαγωγή.....	12
4.2 High electron mobility transistor.....	12
4.3 Επίλογος.....	13
Κεφάλαιο 5ο: Σχέδιο κυκλώματος.....	14
5.1 Εισαγωγή.....	14
5.2 Ανάλυση κυκλώματος.....	14
5.3 Επίλογος.....	16
Κεφάλαιο 6ο: Σταθερότητα.....	17
6.1 Εισαγωγή.....	17
6.2 Παράγοντας σταθερότητας.....	17
6.3 Επίλογος.....	19
Κεφάλαιο 7ο: Αριθμός θορύβου.....	20
7.1 Εισαγωγή.....	20
7.2 Σχεδιασμός για βέλτιστο αριθμό θορύβου.....	20
7.3 Επίλογος.....	21
Κεφάλαιο 8ο: Ενισχυτής δύο σταδίων.....	22
8.1 Εισαγωγή.....	22
8.2 Σχεδιασμός για ενισχυτή δύο σταδίων.....	22
8.3 Επίλογος.....	23
Κεφάλαιο 9ο: Ενισχυτής υψηλού κέρδους.....	24
9.1 Εισαγωγή.....	24
9.2 Έλεγχος σταθερότητας ενισχυτών υψηλού κέρδους δύο ή πολλών σταδίων.....	24
9.3 Επίλογος.....	24
Κεφάλαιο 10ο: Σχεδιασμός κυκλώματος με λογισμικό υπολογιστή..	25
10.1 Εισαγωγή.....	25
10.2 Λογισμικό CAD.....	25

10.3 Επίλογος.....	26
Κεφάλαιο 11ο: Παράμετροι σκέδασης στο ADS.....	27
11.1 Εισαγωγή.....	27
11.2 Προσομοίωση παραμέτρων σκέδασης.....	27
11.3 Επίλογος.....	28
Κεφάλαιο 12ο: Κύκλοι σταθερότητας θορύβου.....	29
12.1 Εισαγωγή.....	29
12.2 Προσομοίωση του τρανζίστορ.....	29
12.3 Επίλογος.....	32
Κεφάλαιο 13ο: Δεύτερο στάδιο του ενισχυτή.....	33
13.1 Εισαγωγή.....	33
13.2 Σχεδιασμός του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή.....	33
13.3 Επίλογος.....	33
Κεφάλαιο 14ο: Σχεδιασμός δικτύου.....	34
14.1 Εισαγωγή.....	34
14.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού δικτύου.....	34
14.3 Επίλογος.....	35
Κεφάλαιο 15ο: Δίκτυο εισόδου.....	36
15.1 Εισαγωγή.....	36
15.2 Σχεδιασμός δικτύου εισόδου.....	36
15.3 Επίλογος.....	40
Κεφάλαιο 16ο: Δίκτυο εξόδου.....	41
16.1 Εισαγωγή.....	41
16.2 Σχεδιασμός δικτύου εξόδου.....	41
16.3 Επίλογος.....	44
Κεφάλαιο 17ο: Έλεγχος πρώτου σταδίου ενισχυτή.....	45
17.1	
Εισαγωγή.....	45

17.2 Δοκιμή πρώτου σταδίου.....	45
17.3 Επίλογος.....	46
Κεφάλαιο 18ο: Δίκτυο εισόδου δεύτερου σταδίου ενισχυτή.....	47
18.1 Εισαγωγή.....	47
18.2 Σχεδιασμός δικτύου εισόδου δεύτερου σταδίου ενισχυτή.....	47
18.3 Επίλογος.....	49
Κεφάλαιο 19ο: Δίκτυο εξόδου του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή.....	50
19.1 Εισαγωγή.....	50
19.2 Σχεδιασμός δικτύου εξόδου του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή.....	50
19.3 Επίλογος.....	51
Κεφάλαιο 20ο: Έλεγχος δεύτερου σταδίου του ενισχυτή.....	52
20.1 Εισαγωγή.....	52
20.2 Δοκιμή δεύτερου σταδίου του ενισχυτή.....	52
20.3 Επίλογος.....	54
Κεφάλαιο 21ο: Έλεγχος ολοκληρωμένου σχήματος του ενισχυτή.....	55
21.1 Εισαγωγή.....	55
21.2 Δοκιμή του ολοκληρωμένου σχήματος του ενισχυτή.....	55
21.3 Επίλογος.....	57
Κεφάλαιο 22ο: Ολοκληρωμένο σχήμα ενισχυτή.....	58
22.1 Εισαγωγή.....	58
22.2 Παρατηρήσεις και αποτελέσματα του ολοκληρωμένου σχήματος του ενισχυτή.....	58
22.3 Επίλογος.....	60
Κεφάλαιο 23ο: Προτάσεις βελτίωσης.....	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	62
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΣΧΕΔΙΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....	64

Οδηγός χρήσης λογισμικού ADS.....	66
-----------------------------------	----

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1.1 Βασικό μπλοκ διάγραμμα του συστήματος.....	3
Σχήμα 2.1 S παράμετροι για δίκτυο δύο θηρών.....	5
Σχήμα 3.1 Σχήμα θορύβου.....	9
Σχήμα 4.1 Ένα In GaAs PHEMT.....	13
Σχήμα 5.1 Σχήμα θορύβου και μέγιστου διαθέσιμου κέρδους σε σχέση με τη συχνότητα.....	15
Σχήμα 5.2 Σχέδιο κυκλώματος κατά προσέγγιση.....	16
Σχήμα 6.1 ATF-36077 παράμετροι σκέδασης.....	18
Σχήμα 8.1 Σχέδιο ενισχυτή δύο σταδίων.....	23
Σχήμα 11.1 Προσομοίωση τρανζίστορ παίρνοντας πραγματικές τιμές.....	27
Σχήμα 11.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης/S παράμετροι.....	28
Σχήμα 12.1 Προσομοίωση κυκλώματος για το κέρδος και τους κύκλους σταθερότητας.....	29
Σχήμα 12.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	30
Σχήμα 12.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης-βελτιωμένη σταθερότητα.....	31
Σχήμα 15.1 Παράθυρο προσομοίωσης ADS, σχεδιασμός δικτύου αντιστοίχισης εισόδου(ιδανικοί παράγοντες).....	36
Σχήμα 15.2 S_{11} σχέδιο για το υπό δοκιμή δίκτυο.....	37
Σχήμα 15.3 Παράθυρο γραμμής αριθμομηχανής.....	38
Σχήμα 15.4 Σχεδιασμός δικτύου αντιστοίχισης εισόδου.....	39
Σχήμα 15.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης σχεδιασμού δικτύου αντιστοίχισης εισόδου.....	40
Σχήμα 16.1 Σχεδιασμός δικτύου εξόδου.....	41
Σχήμα 16.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης σχεδιασμού δικτύου εξόδου.....	42
Σχήμα 16.3 Σχεδιασμός δικτύου εξόδου, μετατροπή σε παραμέτρους microstrip.....	42

Σχήμα 16.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης για τη σχεδίαση δικτύου εξόδου (μη ιδανικοί παράγοντες).....	43
Σχήμα 17.1 Πλήρης σχεδιασμός του πρώτου σταδίου του ενισχυτή.....	45
Σχήμα 17.2 Αποτελέσματα του πλήρη σχεδιασμού του πρώτου σταδίου του ενισχυτή.....	46
Σχήμα 18.1 Σχέδιο δικτύου εισόδου για το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή.....	47
Σχήμα 18.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης του δικτύου εισόδου του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή.....	48
Σχήμα 19.1 Σχέδιο δικτύου εξόδου για το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή.....	50
Σχήμα 19.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης του δικτύου εξόδου του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή.....	51
Σχήμα 20.1 Πλήρης σχεδιασμός του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή.....	52
Σχήμα 20.2 Αποτελέσματα του πλήρη σχεδιασμού του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή.....	54
Σχήμα 21.1 Πλήρης σχεδιασμός του ενισχυτή.....	55
Σχήμα 21.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης πλήρη σχεδιασμού του ενισχυτή.....	56
Σχήμα 22.1 Πλήρης σχηματικό του ενισχυτή.....	59
Σχήμα 22.2 Αποτελέσματα πλήρης προσομοίωσης σχεδιασμού του ενισχυτή.....	60
Σχέδιο 1. Πλήρης σχεδιασμός ενισχυτή δύο σταδίων.....	64
Σχέδιο 2. Τροποποιήσεις του αρχικού κυκλώματος.....	65

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1 Παράμετροι σκέδασης.....	6
Πίνακας 5.1 Κατάλογος δεδομένων ATF 36077.....	15

Συντομογραφίες

GHz	Gigahertz
MHz	Megahertz
ADS	Advance Designing System
RF	Radio Frequency
LNA	Low Noise Amplifier
PHEMT	Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor
HEMT	High Electron Mobility Transistor
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
Ω	Ohm
DC	Direct Current
O/P	Output
I/P	Input
Vout	Voltage out
Vin	Voltage in
dB	Decibel
RFIC	Radio Frequency Integrated Circuit
MMIC	Monolithic Microwave Integrated Circuit
AT	Agilent Technologies
Nf	Noise figure
FET	Field Effect Transistor
CAD	Computer Aided Design

Εισαγωγή

Στόχος αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι να αποτελέσει ένα παράδειγμα κατασκευής ενός ενισχυτή χαμηλού θορύβου στα 2.4 GHz (low noise amplifier 2.4 GHz), από όπου θα μπορέσει κανείς να ανατρέξει και να αντλήσει πληροφορίες για το σχεδιασμό ενός ενισχυτή χαμηλού θορύβου 2.4GHz και για το σχεδιαστικό πρόγραμμα προσομοίωσης, καθώς και να αποκτήσει πολύτιμη εμπειρία σχετικά με τους ενισχυτές και ειδικότερα για τους ενισχυτές στενής ζώνης χαμηλού θορύβου.

Σκοπός μας είναι η υλοποίηση της εργασίας αυτής σε συγκεκριμένο χρόνο και να δοθεί ένα βέλτιστο σχέδιο για την εκτέλεση ενός ενισχυτή χαμηλού θορύβου στα 2.4 GHz (low noise amplifier 2.4 GHz), έτσι ώστε η μεθοδολογία που θα χρησιμοποιήσουμε να παρέχει μια αξιόπιστη μηχανική λύση. Επίσης, στοχεύουμε στην βελτίωση των ικανοτήτων μας πάνω σε ό,τι διδαχθήκαμε κατά τα χρόνια της φοίτησής μας στο τμήμα της ηλεκτρονικής, αξιοποιώντας τις γνώσεις αυτές σε ένα ειδικό θέμα όπως είναι αυτό του ενισχυτή χαμηλού θορύβου.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αποτελείται από το πρώτο μέρος το θεωρητικό πλαίσιο σε μορφή word με επισυναπτόμενα στιγμιότυπα οθόνης του σχεδιαστικού προγράμματος προσομοίωσης, καθώς και από άλλες πληροφορίες που απαιτούνται όπως είναι οι μαθηματικοί τύποι και τα φύλλα δεδομένων. Το βασικό θέμα της εργασίας είναι ο σχεδιασμός ενός ενισχυτή χαμηλού θορύβου στα 2.4 GHz (low noise amplifier 2.4 GHz). Στην εργασία αυτή θα προσπαθήσουμε να διατηρήσουμε το κέρδος σε επιθυμητή τιμή, καθώς και την παραμονή του θορύβου σε χαμηλό επίπεδο. Για τον σχεδιασμό του ενισχυτή θα χρησιμοποιηθεί σχεδιαστικό πρόγραμμα προσομοίωσης, αφού προηγηθούν οι μαθηματικοί υπολογισμοί.

Όσο αφορά τα μέρη της εργασίας με τη σειρά που θα ακολουθήσουν έχει ως εξής. Στο πρώτο μέρος της εργασίας, όπου αποτελείται από τα πρώτα κεφάλαια της εργασίας, θα παρέχουμε πληροφορίες σχετικά με τους ενισχυτές συμπεριλαμβανομένου και του σχεδιασμού του, καθώς και την ανάλυση των παραμέτρων σκέδασης S που έχουν καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία ενός ενισχυτή. Επιπλέον, στο δεύτερο μέρος της εργασίας επικεντρωνόμαστε στο σχεδιασμό του ενισχυτή με το λογισμικό ADS, ώστε να ανταποκρίνεται το κύκλωμα στις προδιαγραφές που έχουμε θέσει μέσω του σωστού υπολογισμού των παραμέτρων που απαιτούνται για την μέγιστη απόδοση του ενισχυτή. Επίσης, στο σημείο αυτό γίνεται ανάλυση και σχολιασμός των διαφόρων παραμέτρων του κυκλώματος. Κλείνοντας, φτάνοντας στο

τέλος της εργασίας, θα αναφερθούν ορισμένες προτάσεις βελτίωσης της παρούσης πτυχιακής εργασίας.

Κεφάλαιο 1ο: Αρχική ιδέα

1.1 Εισαγωγή

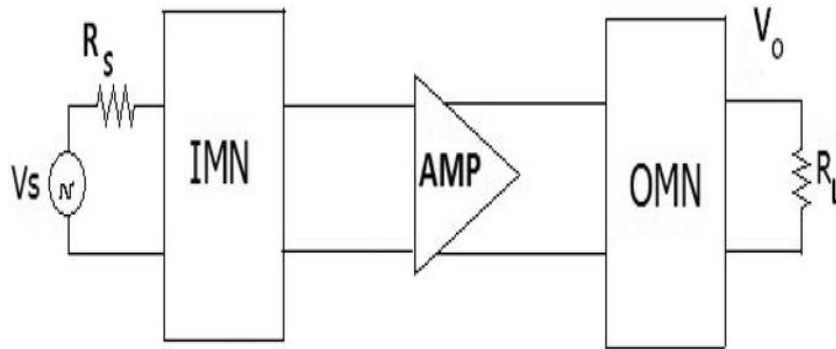
Σε αυτό το κεφάλαιο θα κάνουμε αναφορά στην αρχική ιδέα του κυκλώματος και του σχεδιασμού του.

1.2 Βασικό μπλοκ διάγραμμα

Το παρακάτω μπλοκ διάγραμμα (σχήμα 1.1) αποτελεί τη βασική ιδέα του σχεδιασμού του συστήματος του ενισχυτή χαμηλού θορύβου. Τα κουτιά εισόδου και εξόδου αντιστοιχούν στις αντιστάσεις εισόδου και εξόδου που είναι συνήθως 50Ω , ενώ το κουτί του ενισχυτή αντιστοιχεί στο τρανζίστορ συμπεριλαμβανομένου και άλλα κυκλώματα.

1.3 Επίλογος

Αυτή ήταν η βασική ιδέα για την αρχή της παρούσας πτυχιακής εργασίας με ένα απλοποιημένο σχέδιο αντιστάσεων και του ενισχυτή το οποίο θα αναπτύξουμε και θα αναλύσουμε στα παρακάτω κεφάλαια.



Σχήμα 1.1 Βασικό μπλόκ διάγραμμα του συστήματος

Κεφάλαιο 2ο: Παράμετροι σκέδασης – S παράμετροι

2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλύσουμε τις παραμέτρους σκέδασης και τα οδεύοντα και ανακλώμενα κύματα που έχουνε άμεση συνάφεια με τις συγκεκριμένες παραμέτρους.

2.2 Περιγραφή των παραμέτρων σκέδασης

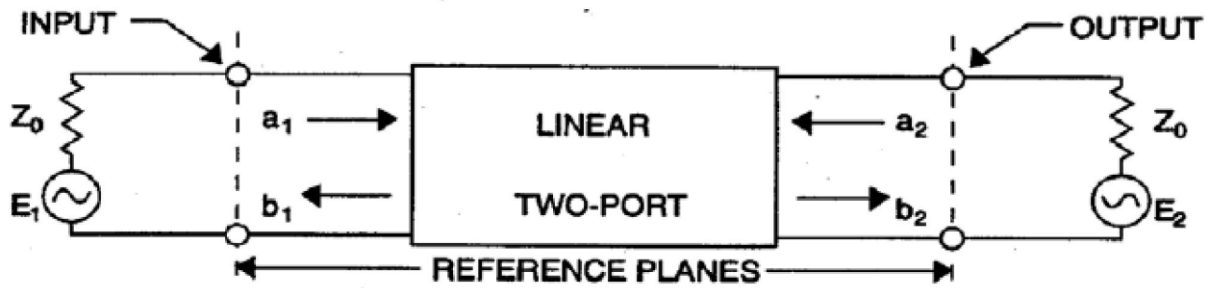
Οι παράμετροι σκέδασης ή παράμετροι-S είναι μία άκρως χρήσιμη βοήθεια για τον σχεδιασμό ενισχυτών ραδιοσυχνότητας (RF) χαμηλής ισχύος. Η ένταξή τους το 1950 οδήγησε σε μία απλή, συστηματική και ακριβή μέθοδο σχεδιασμού ενισχυτών. Ο λόγος για την δημοτικότητα των παραμέτρων σκέδασης υπήρξε η διαθεσιμότητά τους λόγω της δημιουργίας εξειδικευμένου εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για πραγματοποίηση μετρήσεων παραμέτρων σκέδασης και λόγω του μεγάλου αριθμού άρθρων που έχουν γραφτεί τα οποία περιγράφουν την χρήση τους σε πληθώρα διάφορων πρακτικών καταστάσεων.

Σήμερα όλοι οι ενισχυτές χαμηλής ισχύος χαρακτηρίζονται από τις παραμέτρους σκέδασης, για διάφορες σταθερές και σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Οι παράμετροι σκέδασης παρέχουν όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για τον σχεδιασμό ενισχυτών σήματος, εκτός από τον θόρυβο. Η εύρεση των αντιστάσεων, το κέρδος, ο λόγος του στάσιμου κύματος της τάσεως VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) στην είσοδο και στην έξοδο μπορούν να εκφραστούν με μαθηματικές εξισώσεις. Είναι μέσα που χαρακτηρίζουν ένα δίκτυο n-θυρών χρησιμοποιώντας την έννοια των περιοδικών κυμάτων.

Το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 2.1) δείχνει πώς οι παράμετροι σκέδασης επιχειρούν να περιγράψουν ένα δίκτυο δύο θυρών. Μία μικρή αναφορά των παραμέτρων σκέδασης είναι απαραίτητη σε αυτό το σημείο καθώς είναι η βάση του σχεδιασμού αυτού του έργου.

Πιο συγκεκριμένα, οι S παράμετροι θα μας βοηθήσουν και θα μας είναι πολύ χρήσιμοι για τους υπολογισμούς και για το λογισμικό ADS (Advanced Designing System). Το ADS λογισμικό θα χρησιμοποιηθεί για την προσομοίωση και βελτιστοποίηση του σχεδίου αφού οι υπολογισμοί θα πραγματοποιηθούν με τις παραμέτρους σκέδασης.

Το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 2.1) μας δείχνει πως οι s παράμετροι επιχειρούν να περιγράψουν ένα δίκτυο δυο θυρών.



Σχήμα 2.1 S παράμετροι για δίκτυο δύο θυρών

Όπως αναφέραμε νωρίτερα, είναι πολύ δύσκολο να "παραχθούν" ανοιχτά κυκλώματα και βραχυκυκλώματα σε υψηλές και ευρείες συχνότητες, εξαιτίας των παρασιτικών επιδράσεων. Οι διατάξεις εμφανίζουν αστάθεια και οι απαιτήσεις πόλωσης προσθέτουν προβλήματα, όταν χρησιμοποιούμε ανοιχτά κυκλώματα και βραχυκυκλώματα. Η χρήση αντιστάσεων των 50Ω ή των 75Ω συχνά λύνουν τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα. Η επίδραση των οδηγών διασύνδεσης μεταξύ των οργάνων και της διάταξης μέτρησης γίνεται σημαντική καθώς αυξάνεται η συχνότητα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, δημιουργήθηκαν οι παράμετροι σκέδασης. Βασίζονται σε οδεύοντα κύματα τάσης, με μία αντίσταση τέτοια, ώστε όταν υψώνεται στο τετράγωνο να δίνει ισχύ. Συνδέουν τα μεταδιδόμενα και τα ανακλώμενα κύματα ενός δικτύου. Χρησιμοποιώντας ομοαξονικά καλώδια ίσης αντίστασης με αυτήν του αναλυτή δικτύων (τυπικά των 50Ω ή των 75Ω), οι επιδράσεις των οδηγών διασύνδεσης μπορούν να συμπεριληφθούν και για μετρήσεις υψηλής ακρίβειας, ή διόρθωση των συστηματικών λαθών όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Όταν μετράμε στη θύρα 1, ένα απευθείας κύμα εφαρμόζεται σε αυτήν τη θύρα και η έξοδος τερματίζεται σε αντίσταση Z_0 . Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανακλώμενο κύμα από τη Z_0 στη θύρα 2. Η είσοδος και τα ανακλώμενα κύματα μπορούν να θεωρηθούν σαν οδεύοντα κύματα τάσης μεταδιδόμενα και ανακλώμενα από μία θύρα με αντίσταση Z_0 τέτοια ώστε όταν υψωθεί στο τετράγωνο το κύμα είναι ίσο με την ισχύ που μεταδίδεται από τη γραμμή[1].

2.3 Ανάλυση μεταδιδόμενων και ανακλώμενων κυμάτων

Αυτά τα κύματα είναι ορισμένα ως εξής:

αη: μεταδιδόμενα κύματα στη θύρα η

βη: ανακλώμενα κύματα από τη θύρα η για ένα δύο θυρών δίκτυο τα μεταδιδόμενα και τα ανακλώμενα κύματα ορίζονται ως εξής[2]:

Μεταδιδόμενο κύμα στη θύρα 1:

$$a_1 = \frac{v_{i1}}{\sqrt{Z_{01}}} \quad (2.1)$$

Ανακλώμενο κύμα από τη θύρα 1:

$$b_1 = \frac{v_{r1}}{\sqrt{Z_{01}}} \quad (2.2)$$

Μεταδιδόμενο κύμα στη θύρα 2:

$$a_2 = \frac{v_{i2}}{\sqrt{Z_{02}}} \quad (2.3)$$

Ανακλώμενο κύμα από τη θύρα 2:

$$b_2 = \frac{v_{r2}}{\sqrt{Z_{02}}} \quad (2.4)$$

Οι παράμετροι σκέδασης μπορούν, δηλαδή, να γραφτούν σε μορφή πινάκων, ως εξής:

Πίνακας 2.1. Παραμετροί σκέδασης

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}$$

δηλαδή:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2 \quad (2.5)$$

$$b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2 \quad (2.6)$$

Ο συντελεστής ανάκλασης εισόδου, όταν η έξοδος είναι Z_{02} είναι:

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} | a_2 = 0 \quad (2.7)$$

Ο συντελεστής μετάδοσης από τη θύρα 2 στη θύρα 1, όταν η έξοδος είναι τερματισμένη σε Z02 είναι:

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} |a_2 = 0 \quad (2.8)$$

Ο συντελεστής ανάκλασης εξόδου, όταν η είσοδος είναι τερματισμένη σε Z01 είναι:

$$S_{22} = \frac{b_2}{a_2} |a_1 = 0 \quad (2.9)$$

Ο συντελεστής μεταδόσης από τη θύρα 1 στη θύρα 2, όταν η είσοδος είναι τερματισμένη σε Z01 είναι:

$$S_{12} = \frac{b_1}{a_2} |a_1 = 0 \quad (2.10)$$

Για να πάρουμε πληροφορίες για το κύκλωμα από τις s – παραμέτρους, είναι απαραίτητο να τις υπολογίσουμε σε σχέση με το λόγο Vout / Vin.

$$S_{21} = \frac{b_2}{a_1} = \frac{v_{r2}}{\sqrt{Z_{o2}}} \times \frac{\sqrt{Z_{o1}}}{v_{i1}} \quad (2.11)$$

Ισχύει ότι:

$$\frac{V_{in}}{\sqrt{Z_{o1}}} = a_1 + b_1 \quad (2.12)$$

$$\frac{V_{out}}{\sqrt{Z_{o2}}} = b_2 \quad (2.13)$$

Οπότε:

$$\frac{\sqrt{Z_{o1}}}{\sqrt{Z_{o2}}} \times \frac{v_{Out}}{v_{in}} = \left(\frac{b_2}{a_1 + b_1} \right) \quad (2.14)$$

$$\frac{\sqrt{Z_{o1}}}{\sqrt{Z_{o2}}} \times (a_1 + b_1) \times \frac{v_{Out}}{v_{in}} = (b_2) \quad (2.15)$$

διαιρώντας με το α:

$$\frac{\sqrt{Z_{o1}}}{\sqrt{Z_{o2}}} \times \left(\frac{a_1 + b_1}{a_1} \right) \times \frac{v_{Out}}{v_{in}} = \left(\frac{b_2}{a_1} \right) = S_{21} \quad (2.16)$$

$$S_{21} = \frac{\sqrt{Z_{o1}}}{\sqrt{Z_{o2}}} \times \frac{v_{Out}}{v_{in}} = (1 + s_{11}) \quad (2.17)$$

πρέπει να σημειωθεί ότι:

$$\frac{\sqrt{Z_{o1}}}{\sqrt{Z_{o2}}} = 1 \quad (2.18)$$

καθώς οι αντιστάσεις της πηγής και του φορτίου είναι ίσες, έχουμε:

$$S_{21} = \frac{V_{out}}{V_{in}} (1 + S_{11}) \quad (2.19)$$

Αν η S_{11} ήταν μηδέν (δηλαδή αν $Z_{in} = Z_{o1}$) τότε $S_{21} = V_{out} / V_{in}$. Η S_{21} θα υπολογιζόταν αντιστρέφοντας το δίκτυο, τερματίζοντας το σε Z_0 και υπολογίζοντας την S_{21} όπως προηγουμένως[2][3].

Οι S_{11} και S_{22} σε ένα σύστημα 50Ω είναι οι συντελεστές εισόδου και εξόδου ανάκλασης τάσης[3][4][5], οι οποίοι σχετίζονται με την είσοδο και έξοδο VSWR με τον παρακάτω τύπο:

$$VSWR = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (2.20)$$

Όπου $|\Gamma|$ είναι το μέγεθος του συντελεστή ανάκλασης τάσης

2.4 Επίλογος

Κλείνοντας το κεφάλαιο αυτό είδαμε τη χρησιμότητα και το πόσο σημαντικοί είναι οι παράμετροι σκέδασης τόσο για τη σχεδίαση του κυκλώματος και για τη βοήθεια που μας παρέχουν στους μαθηματικούς υπολογισμούς, όσο και για τη βοήθεια που μας δίνουν ώστε να καταλάβουμε και να αναλύσουμε καλύτερα τους ενισχυτές.

Κεφάλαιο 3ο: Θόρυβος ενισχυτή

3.1 Εισαγωγή

Αρχικά θα αναλύσουμε το συντελεστή θορύβου και έπειτα θα μιλήσουμε για το εύρος ζώνης του, για τις παραμέτρους του και τέλος για το κέρδος ισχύος.

3.2 Συντελεστής θορύβου-Αριθμός θορύβου

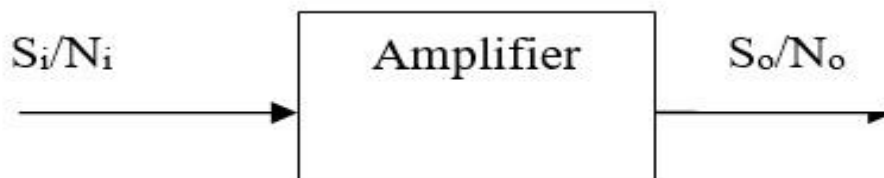
Ο συντελεστής θορύβου και ο αριθμός θορύβου είναι μία μέτρηση του κατά πόσο η αναλογία σήματος-θορύβου υποβαθμίζεται από τον ενισχυτή. Η υποβάθμιση αυτή είναι αναπόφευκτη καθώς ο ενισχυτής δεν θα ενισχύσει μόνο το σήμα εισόδου αλλά και τον θόρυβο εισόδου το ίδιο, και θα προσθέσει ακόμη περισσότερο θόρυβο που παράγει ο ίδιος.

- Οι δύο όροι συχνά εναλλάσσονται, αλλά συνίσταται προσοχή ώστε να μην μπερδεύονται.
- Γενικώς, ο συντελεστής θορύβου (F) χρησιμοποιείται για αναφορά στην κανονική αναλογία σήματος εισόδου και εξόδου-θορύβου και ο αριθμός θορύβου χρησιμοποιείται για την έκφρασή του σε dB.

Για το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 3.1) ισχύουν τα εξής:

$$N_{OUT} = G \times N_{IN} + N_{ADDED} \quad (3.1)$$

$$Noise\ factor = F = \frac{(S/N)_{IN}}{(S/N)_{OUT}} \quad (3.2)$$



Σχήμα 3.1 Σχήμα θορύβου

3.3 Εύρος ζώνης θορύβου

Το εύρος ζώνης θορύβου του ενισχυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε συνδυασμό με το συντελεστή θορύβου, ειδικά σε δέκτες επικοινωνίας, που λαμβάνεται ασθενές σήμα και χρειάζεται μεγάλο κέρδος. Αυτό συμβαίνει διότι η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου είναι συνεχής με την συχνότητα και έτσι η απόλυτη ισχύς του θορύβου είναι αναλογική με το εύρος ζώνης και το κέρδος[6].

3.4 Παράμετροι θορύβου

Απαιτούνται τρεις βασικές παράμετροι θορύβου ώστε να γίνει απόλυτη περιγραφή του τρανζίστορ. Αυτές είναι οι παρακάτω:

- NF_{min} : Ο ελάχιστος πιθανός αριθμός θορύβου που μπορεί να ληφθεί από το τρανζίστορ
- R_n : Ισοδύναμη αντίσταση θορύβου του τρανζίστορ
- Γ_{opt} : Βέλτιστος συντελεστής ανάκλασης

Μερικές φορές αναφέρονται τέσσερις παράμετροι, διότι η παράμετρος Γ_{opt} είναι περίπλοκη ποσότητα και συχνά την αναφέρουν χρησιμοποιώντας το μέγεθος και τη γωνία. Επίσης η ποσότητα συχνά κανονικοποιείται με την ειδική χαρακτηριστική γραμμή αντίστασης διαιρώντας την ποσότητα με Z_0 (συνήθως το Z_0 θα είναι 50Ω). Όταν συμβεί αυτό η αντίσταση του θορύβου πάντα εκφράζεται με το σύμβολο “ r ”. Οπότε: $r = \frac{R_n}{Z_0}$ (3.3)

Όταν όλες οι παραπάνω παράμετροι είναι γνωστές μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη εξίσωση για να βρεθεί ο αριθμός θορύβου του τρανζίστορ κάτω από ορισμένες καταστάσεις.

$$NF = NF_{min} + 4r_n \left\{ \frac{|\Gamma_S - \Gamma_{OPT}|^2}{(1 - |\Gamma_S|^2)X(1 + |\Gamma_{OPT}|^2)} \right\} \quad (3.4)$$

Μπορεί επομένως να φανεί ότι η τιμή θορύβου εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την αντίσταση της πηγής που βλέπει το τρανζίστορ Γ_S . [3].

3.5 Κέρδος ισχύος

Το κέρδος ισχύος G_1 ορίζεται ως η ισχύς που παραδίδεται στο φορτίο διαιρούμενο από την ισχύ διαθέσιμη από την πηγή. Η παρακάτω εξίσωση χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί το κέρδος του ενισχυτή.

$$G_1 = \frac{|S_{21}|^2 \times (1 - |\Gamma_S|^2) \times (1 - |\Gamma_L|^2)}{|(1 - S_{11}\Gamma_S) \times (1 - S_{22}\Gamma_L) - S_{12}S_{21}\Gamma_S\Gamma_L|^2} \quad (3.5)$$

Όπου Γ_S και Γ_L είναι οι μεταβλητές της πηγής και του φορτίου αντίστοιχα[5].

3.6 Επίλογος

Τέλος, ο συντελεστής θορύβου είδαμε ότι υποβαθμίζεται από τον ενισχυτή αλλά και ότι το εύρος ζώνης είναι αναλογικό και επηρεάζεται από την απόλυτη ισχύ του θορύβου και από το κέρδος, καθώς και τις τρεις παραμέτρους του θορύβου που αναλύουν το τρανζίστορ και τον μαθηματικό τύπο του κέρδους ισχύος.

Κεφάλαιο 4ο: Επιλογή τρανζίστορ

4.1 Εισαγωγή

Καθώς ένα από τα βασικότερα μέρη του ενισχυτή είναι το τρανζίστορ, θα μιλήσουμε στο κεφάλαιο αυτό για το συγκεκριμένο εξάρτημα, με σκοπό να βοηθήσουμε κάποιον ο οποίος θέλει να δημιουργήσει ένα παρόμοιο ενισχυτή σε hardware μορφή, καθώς και εμάς τους ίδιους για το σχεδιασμό σε software μορφή του ενισχυτή αυτού και την αγορά διαφόρων ειδών τρανζίστορ ή πακέτα τρανζίστορ.

4.2 High electron mobility transistor

Τα τρανζίστορ βρίσκουν διάφορες εφαρμογές στο χώρο των ηλεκτρικών και των ηλεκτρονικών σχεδιασμών, έτσι για την κάθε περίπτωση χρειάζεται και η κατάλληλη επιλογή τρανζίστορ. Τα τρανζίστορ μπορούν να χρησιμοποιηθούν:

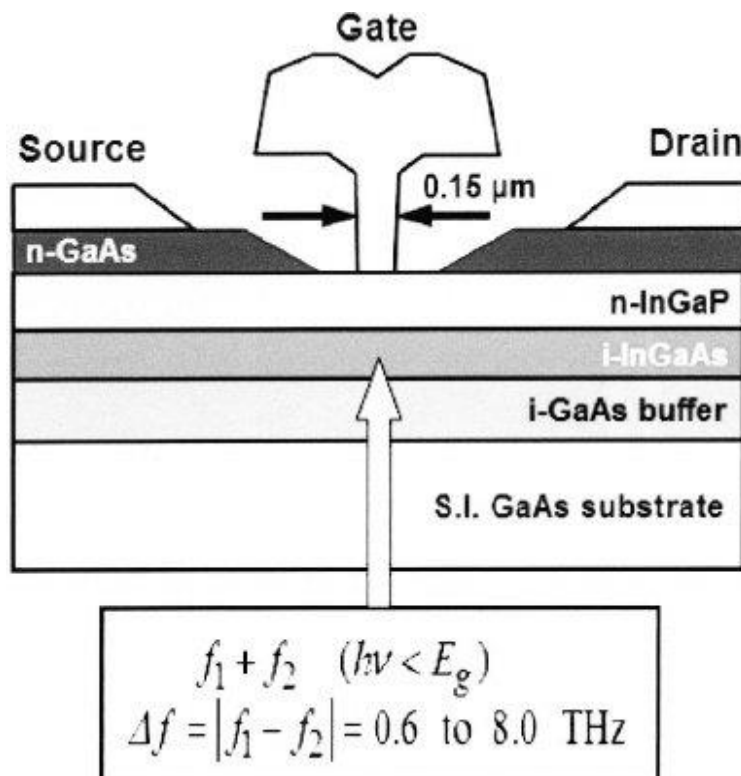
- σε ένα τσιπ (RFIC ή MMIC)
- σε ένα άδειο τσιπ
- ως συσκευασμένη συσκευή.

Η είσοδος και η έξοδος συνδέονται χωρίς κάποια παρέμβαση αλληλοσυνδέσεων και έτσι μπορούν να σχεδιαστούν περίπλοκα κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων. Τα παράσιτα υποβαθμίζουν τις δυνατότητες των υψηλών συχνοτήτων και κάνουν αδύνατο το σχεδιασμό περίπλοκων κυκλωμάτων χωρίς προβλήματα σταθερότητας. Η γείωση των ακροδεκτών (πηγή/πομπός κ.λ.π.) θα έχουν σοβαρή επίδραση στο κέρδος και τη σταθερότητα. Τα μήκη των ακροδεκτών εισόδου-εξόδου κάνουν δύσκολο να σχεδιαστεί ένας ενισχυτής ευρείας ζώνης. Το τρανζίστορ που θα επιλέξουμε για το συγκεκριμένο έργο είναι ένα πακέτο Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor (PHEMT). Το HEMT σημαίνει High Electron Mobility Transistor. Το HEMT είναι MESFET που αποτελείται από διασταύρωση συνήθως δυο υλικών τα οποία είναι το GaAs και το AlGaAs. Το αποτέλεσμα αυτής της μίξης είναι να δημιουργηθεί ένα πολύ λεπτό στρώμα δίνοντας στο κανάλι πολύ υψηλή κινητικότητα ηλεκτρονίων. Αυτό το επίπεδο μερικές φορές ονομάζεται δισδιάστατο αερίου ηλεκτρονίων. Όπως με όλους τους άλλους τύπους FET, μια τάση που εφαρμόζεται στην πύλη αλλάζει την αγωγιμότητα αυτού του στρώματος. Κανονικά, τα δύο διαφορετικά υλικά που χρησιμοποιούνται για μια ετεροσύνδεση πρέπει να έχουν σταθερή απόσταση μεταξύ των ατόμων. Εάν δεν υπάρχει αυτή η απόσταση είναι ένα είδος «παγίδας», και μειώνουν σημαντικά την απόδοση της συσκευής. Ένα HEMT όπου παραβιάζεται αυτός ο κανόνας

ονομάζεται PHEMT ή ψευδομορφικό HEMT. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας ένα εξαιρετικά λεπτό στρώμα, τόσο λεπτό που το κάνει να ταιριάζει με το άλλο υλικό ακριβώς. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την κατασκευή τρανζίστορ με μεγαλύτερο εύρος ζώνης. Από όσα γνωρίζουν οι συγγραφείς, τα PHEMT και οι σχετικές συσκευές είναι τα γρηγορότερα διαθέσιμα τρανζίστορ. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ενισχυτών που λειτουργούν σε πάνω από 200 GHz[7][8][9].

4.3 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό μιλήσαμε για τη λειτουργία του τρανζίστορ, για την εφαρμογή τους και συγκεκριμένα αναλύσαμε την κατηγορία των τρανζίστορ που θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε ως επιλογή που είναι ένα PHEMT .



Σχήμα 4.1 Ένα InGaAs PHEMT

Κεφάλαιο 5ο: Σχεδιασμός κυκλώματος

5.1 Εισαγωγή

Στα περισσότερα σχέδια ενισχυτών RF, δίνεται πολύ λίγη βάση στον σχεδιασμό του δικτύου για το κάθε τρανζίστορ. Η σωστή επιλογή του σημείου ενός τρανζίστορ επηρεάζει τα χαρακτηριστικά του, όπως το κέρδος, το θόρυβο, την αποτελεσματικότητα.

5.2 Ανάλυση κυκλώματος και των προδιαγραφών

Παραδείγματος χάριν, αν ο ενισχυτής απαιτείται να λειτουργεί αξιόπιστα και να διατηρεί συγκεκριμένες προδιαγραφές (κέρδος, θόρυβο, κλπ.) σε εύρος θερμοκρασιών, το D.C. δίκτυο πρέπει να υπολογιστεί προσεκτικά.

Ο σκοπός ενός καλού DC κυκλώματος με προδιαγραφές είναι:

- Να επιλεγεί το σωστό σημείο ηρεμίας
- Να κρατηθεί σταθερό κάτω από διαφορετικές παραμέτρους του τρανζίστορ σχετικά με την θερμοκρασία.

Όπως περιγράφεται στην ενότητα παραπάνω το τρανζίστορ που θα χρησιμοποιηθεί στο σχέδιο είναι το « Agilent Technologies ATF 36077 Ultra Low Noise HEMT (High Electron Mobility Transistor) ». Κοιτώντας προσεκτικά τον κατάλογο δεδομένων που παρέχει ο κατασκευαστής του τρανζίστορ, μπορούμε να διαλέξουμε τις σωστές παραμέτρους για το τρανζίστορ αυτό ώστε να σχεδιάσουμε το κύκλωμα. Ο LNA (Low Noise Amplifier) είναι απαραίτητο να δουλεύει στα 2.4GHz έχοντας εύρος ζώνης 80MHz (παρόμοιο με τις συσκευές Bluetooth). Ο παρακάτω πίνακας από τον κατάλογο δεδομένων του τρανζίστορ, δείχνει τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του ATF 36077. Από τον παρακάτω πίνακα(παρατηρείται εύκολα ότι τα 3GHz είναι η πλησιέστερη τιμή στην χειρότερη περίπτωση για την εφαρμογή, που πληροί την απαίτηση να υπάρχει αριθμός θορύβου μικρότερος από 0.5dB (~0.3dB). Για να διευκρινιστεί αυτό παρέχονται τα παρακάτω διαγράμματα (σχήμα5.1), από τον κατάλογο δεδομένων του κατασκευαστή[10].

Πίνακας 5.1 Κατάλογος δεδομένων ATF 36077

ATF-36077 Electrical Specifications,

$T_C = 25^\circ\text{C}$, $Z_0 = 50 \Omega$, $V_{ds} = 1.5 \text{ V}$, $I_{ds} = 10 \text{ mA}$, (unless otherwise noted).

Symbol	Parameters and Test Conditions	Units	Min.	Typ.	Max.
NF	Noise Figure ⁽¹⁾ $f = 12.0 \text{ GHz}$	dB		0.5	0.6
G_A	Gain at NF ⁽¹⁾ $f = 12.0 \text{ GHz}$	dB	11.0	12.0	
g_m	Transconductance $V_{DS} = 1.5 \text{ V}$, $V_{GS} = 0 \text{ V}$	mS	50	55	
I_{dss}	Saturated Drain Current $V_{DS} = 1.5 \text{ V}$, $V_{GS} = 0 \text{ V}$	mA	15	25	45
V_p 10%	Pinch-off Voltage $V_{DS} = 1.5 \text{ V}$, $I_{DS} = 10\%$ of I_{dss}	V	-1.0	-0.35	-0.15

Note:

1. Measured in a fixed tuned environment with Γ source = 0.54 at 156°; Γ load = 0.48 at 167°.

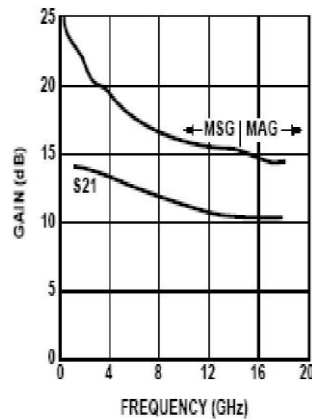


Figure 2. Maximum Available Gain, Maximum Stable Gain and Insertion Power Gain vs. Frequency. $V_{DS} = 1.5 \text{ V}$, $I_D = 10 \text{ mA}$.

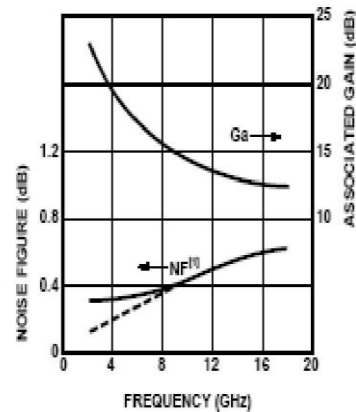


Figure 1. ATF-36077 Optimum Noise Figure and Associated Gain vs. Frequency for $V_{DS} = 1.5 \text{ V}$, $I_D = 10 \text{ mA}$.

Σχήμα 5.1 Σχήμα θορύβου και μέγιστου διαθέσιμου κέρδους σε σχέση με τη συχνότητα

Είναι λοιπόν προφανές από τα παραπάνω ότι το τρανζίστορ με τις σωστές προδιαγραφές μπορεί να έχει κέρδος 14dB και θόρυβο 0.3dB στα 3GHz. Έτσι μπορεί να χαρακτηριστεί κατάλληλο για την συγκεκριμένη εφαρμογή[11].

Το σχέδιο (σχήμα 5.2) του κυκλώματος παρουσιάζεται παρακάτω:

Επιλογή του κατάλληλου σημείου λειτουργίας του τρανζίστορ:

Quiescent Drain Current = $I_D = 10\text{mA}$

Drain Voltage = $V_D = 10\text{V}$

Voltage supply = $V_{CC} = 20V$

Γνωρίζοντας τα V_{CC} , V_D και I_D να υπολογιστεί το :

$$R_D = \frac{V_{CC} - V_D}{I_D} = \frac{20 - 10}{10 \cdot 10^{-3}} = 1000 \Omega = 1K\Omega \quad (5.1)$$

Γνωρίζοντας το I_D από το σχήμα 5.1 και το I_{DSS} , V_P από το σχήμα 5.1 να υπολογιστεί το:

$$V_{GS} = V_P * \left(1 - \sqrt{\frac{I_P}{I_{DSS}}}\right) \Rightarrow V_{GS} = (-0,35) * \left(1 - \sqrt{\frac{10 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}}}\right) \Rightarrow V_{GS} = -0,129V \quad (5.2)$$

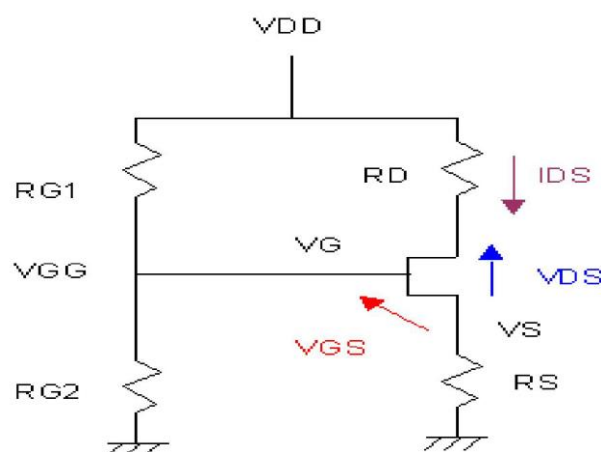
Γνωρίζοντας το I_G , $V_{GS} = V_S$, και το I_D να υπολογιστεί το:

$$R_S = \frac{V_S}{I_D} = \frac{V_{GS}}{I_D} = \frac{-129}{10 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow R_S = 12.9\Omega \quad (5.3)$$

Αφού το $I_G = 0$, τότε το R_G μπορεί κατά προσέγγιση να είναι $1M\Omega$ [10]

5.3 Επίλογος

Κλείνοντας, είδαμε τη μεγάλη σημασία των προδιαγραφών για τα τρανζίστορ και συγκεκριμένα για το τρανζίστορ ATF 36077 ULTRA NOISE HEMT (High electron mobility transistor), ώστε να σχεδιάσουμε το κύκλωμα, καθώς και με μαθηματικούς υπολογισμούς του I_D , V_D , V_{CC} , R_D βρήκαμε το κατάλληλο σημείο λειτουργίας το τρανζίστορ.



Σχήμα 5.2 Σχέδιο κυκλώματος κατά προσέγγιση

Κεφάλαιο 6ο: Σταθερότητα

6.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το σημείο πρέπει η συσκευή να δοκιμαστεί ώστε να φανεί αν είναι σταθερή στη συγκεκριμένη συχνότητα ή όχι. Σε αυτό το κεφάλαιο λοιπόν θα εξετάσουμε τη σταθερότητα.

6.2 Παράγοντας σταθερότητας

Αυτό θα γίνει χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους σκέδασης για να ελεγχθεί η σταθερότητα της συσκευής καθορίζοντας έναν όρο που ονομάζεται συντελεστής σταθερότητας Rollet **K**. Η αξία αυτού του συντελεστή θα κρίνει την αποδοτικότητα της συσκευής. Αν το «K» υπολογιστεί ώστε να είναι λιγότερο από την αξία αυτής της ενδιάμεσης ποσότητας η συσκευή θα είναι άνευ όρων σταθερή στη συγκεκριμένη συχνότητα για οποιονδήποτε συνδυασμό εμπέδησης πηγής και φορτίου. Από την άλλη πλευρά αν το «K» υπολογιστεί ώστε να είναι λιγότερο από την αξία αυτής της ενδιάμεσης ποσότητας η συσκευή είναι ενδεχομένως ασταθής και πολύ πιθανό να ταλαντώνεται για ορισμένους συνδυασμούς αντίστασης πηγής και φορτίου. Σε αυτήν την περίπτωση θα χρειαστεί ένα πιο εξελιγμένο σχέδιο. Επιλέγοντας τις αξίες των παραμέτρων σκέδασης που είναι πιο κοντά στις χειρότερες συνθήκες σχεδιασμού, που είναι η συχνότητα 3GHz, οι παρακάτω υπολογισμοί έγιναν για να προσδιοριστεί η σταθερότητα του δικτύου.

Τιμές παραμέτρων S:

$$S_{11} = 0,94 < -49 \quad (6.1)$$

$$S_{12} = 0.043 < 54 \quad (6.2)$$

$$S_{21} = 4.745 < 132 \quad (6.3)$$

$$S_{22} = 0.57 < -41 \quad (6.4)$$

ATF-36077 Typical Scattering Parameters,
Common Source, $Z_0 = 50 \Omega$, $V_{DS} = 1.5 \text{ V}$, $I_D = 10 \text{ mA}$

Freq. GHz	S_{11}		dB	S_{21}		dB	S_{12}		S_{22}	
	Mag.	Ang.		Mag.	Ang.		Mag.	Ang.	Mag.	Ang.
1.0	0.99	-17	14.00	5.010	163	-36.08	0.016	78	0.60	-14
2.0	0.97	-33	13.81	4.904	147	-30.33	0.030	66	0.59	-28
3.0	0.94	-49	13.53	4.745	132	-27.25	0.043	54	0.57	-41
4.0	0.90	-65	13.17	4.556	116	-25.32	0.054	43	0.55	-54
5.0	0.86	-79	12.78	4.357	102	-24.04	0.063	33	0.53	-66
6.0	0.82	-93	12.39	4.162	88	-23.17	0.069	24	0.50	-78
7.0	0.78	-107	12.00	3.981	75	-22.58	0.074	16	0.48	-89
8.0	0.75	-120	11.64	3.820	62	-22.17	0.078	8	0.46	-99
9.0	0.72	-133	11.32	3.682	49	-21.90	0.080	1	0.44	-109
10.0	0.69	-146	11.04	3.566	37	-21.71	0.082	-6	0.42	-119
11.0	0.66	-159	10.81	3.473	25	-21.57	0.083	-13	0.40	-129
12.0	0.63	-172	10.63	3.401	13	-21.44	0.085	-19	0.38	-139
13.0	0.61	-175	10.50	3.349	1	-21.32	0.086	-25	0.37	-149
14.0	0.60	-161	10.41	3.315	-12	-21.19	0.087	-32	0.35	-160
15.0	0.58	-147	10.36	3.296	-24	-21.04	0.089	-39	0.33	-171
16.0	0.57	-131	10.34	3.289	-37	-20.87	0.091	-47	0.31	-177
17.0	0.56	-114	10.34	3.289	-50	-20.69	0.092	-55	0.29	-164
18.0	0.57	97	10.35	3.291	-64	-20.53	0.094	-65	0.26	-148

Σχήμα 6.1. ATF-36077 παράμετροι σκέδασης

Για να γίνουν ευκολότεροι οι υπολογισμοί, πρέπει πρώτα να υπολογιστεί η ενδιάμεση ποσότητα D^S :

$$D_S = S_{11}^* S_{22} - S_{21}^* S_{12} = (0.94 \angle -49) (0.57 \angle -41) - (4.745 \angle 132) (0.043 \angle 54)$$

$$\Rightarrow D_S = 0,554 \angle -69$$

(6.5)

Ο συντελεστής σταθερότητας Rollet δίνεται με την παρακάτω σχέση:

$$K = \frac{1 + |D_S|^2 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2}{2^* |S_{21}|^* |S_{12}|} = \frac{1 + (0.554)^2 - (0.94)^2 - (0.57)^2}{2^* (4.75)^* - (0.043)} \Rightarrow K = 0.24 \rightarrow K < 1$$

(6.6)

Ο συντελεστής σταθερότητας K υπολογίζεται λοιπόν μικρότερος από την αξία αυτής της ενδιάμεσης ποσότητας και όπως περιγράφεται παραπάνω η συσκευή θα ταλαντώνεται με ορισμένους συνδυασμούς αντίστασης πηγής και φορτίου. Για αυτόν τον λόγο οι συνδυασμοί αντίστασης πηγής και φορτίου πρέπει να επιλέγονται πολύ προσεκτικά. Μία από τις καλύτερες μεθόδους για να καθοριστεί ο συνδυασμός που θα προκαλέσει αστάθεια είναι ο σχεδιασμός κύκλων σταθερότητας ο χάρτης Σμιθ.

Ένας κύκλος σταθερότητας είναι απλώς ένας κύκλος στον χάρτη Σμιθ ο οποίος αναπαριστά το όριο ανάμεσα στους συνδυασμούς αντίστασης της πηγής και του φορτίου που δημιουργούν αστάθεια και σε αυτούς που δεν δημιουργούν αστάθεια. Στην απολύτως σταθερή περιοχή λοιπόν, είναι δυνατόν να φτιαχτεί ένας τέλειος συνδυασμός εισόδου και εξόδου, κάνοντας διορθώσεις στα αντίστοιχα δίκτυα ώστε να επιτραπεί η επίδραση της ανάδρασης[5].

Για να υπολογιστούν οι κύκλοι σταθερότητας χρειάζεται μία σειρά υπολογισμών, που περιγράφονται παρακάτω:

- Υπολογίστε $D_S = 0.554 < -69$
- Υπολογίστε C_1 (* Δηλώνει το σύνθετο συζυγές)

$$C_1 = S_{11} - D_S \times S_{22}^* = (0.94 < -49) - (0.554 < -69) \times (0.57 < 41) \Rightarrow C_1 = 0.665 < -60 \quad (6.7)$$

- Υπολογίστε
- $$C_2 = S_{22} - D_S \times S_{11}^* = (0.57 < -41) - (0.554 < -69) \times (0.94 < 49) \Rightarrow C_2 = 0.202 < 73 \quad (6.8)$$

- Η κεντρική θέση του κύκλου σταθερότητας εισόδου θα είναι:

$$r_{S1} = \frac{C_1^*}{|S_{11}|^2 - |D_S|^2} = \frac{0.665 < 60}{|0.94|^2 - |0.554|^2} \Rightarrow r_{S1} = 1.134 < 60 \quad (6.9)$$

- Η ακτίνα του κύκλου σταθερότητας εισόδου δίνεται στη συνέχεια με τον ακόλουθο τύπο:

$$p_{S1} = \left| \frac{S_{12} \times S_{21}}{|S_{11}|^2 - |D_S|^2} \right| = \frac{(0.043) \times (4.745)}{(0.94)^2 - (0.554)^2} \Rightarrow p_{S1} = 0.354 \sim 0.4 \quad (6.10)$$

- Ομοίως, η κεντρική θέση του κύκλου σταθερότητας εξόδου υπολογίζεται παρακάτω :

$$r_{S2} = \frac{C_2^*}{|S_{22}|^2 - |D_S|^2} = \frac{0.202 < 73}{|0.57|^2 - |0.554|^2} \Rightarrow r_{S2} = 6.064 < 73 \quad (6.11)$$

- Όπως παραπάνω, δίνεται στη συνέχεια η ακτίνα του κύκλου σταθερότητας εξόδου:

$$p_{S2} = \left| \frac{S_{12} \times S_{21}}{|S_{22}|^2 - |D_S|^2} \right| = \frac{(4.745) \times (0.043)}{0.029} \Rightarrow p_{S2} = 7.036 \sim 7 \quad (6.12)$$

6.3 Επίλογος

Κλείνοντας, υπολογίσαμε με μαθηματικούς τύπους ότι ο συντελεστής σταθερότητας \mathbf{K} είναι μικρότερος από την αξία της ενδιάμεσης ποσότητας με αποτέλεσμα να ταλαντεύεται η συσκευή και επομένως με τη βοήθεια του γραφήματος θα καθορίσουμε τους διάφορους συνδυασμούς φορτίου-πηγής.

Κεφάλαιο 7ο: Αριθμός θορύβου

7.1 Εισαγωγή

Καθώς το βασικό κομμάτι της εργασίας στοχεύει στη δημιουργία ενός ενισχυτή χαμηλού θορύβου, στο σημείο αυτό θα μιλήσουμε για το πώς μπορούμε να επιτύχουμε κάτι τέτοιο.

7.2 Σχεδιασμός για βέλτιστο αριθμό θορύβου

Ο αριθμός θορύβου ενός δικτύου δίνει ένα μέτρο της ποσότητας θορύβου που προστίθεται σε ένα σήμα που μεταδίδεται μέσω δικτύου. Για να επιτυγχανθεί ο χαμηλός αριθμός θορύβου απαιτείται, όπως περιγράφεται στην παραπάνω ενότητα της εργασίας ο ενισχυτής θα κατασκευαστεί σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο θα δοθεί μεγάλη έμφαση καθώς ο ρόλος του θορύβου είναι πολύ σημαντικός. Περαιτέρω, το πρώτο στάδιο θα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να προσφέρει το περισσότερο δυνατό κέρδος. Στο δεύτερο στάδιο θα ασχοληθούμε με την αύξηση του κέρδους της συσκευής. Ο σχεδιασμός ενισχυτών χαμηλού θορύβου είναι θέμα καθορισμού, μέσω πειραματισμού ή μέσω του καταλόγου δεδομένων, (εάν προσδιορίζεται) της αντίστασης της πηγής και του σημείου πόλωσης τα οποία θα παράγουν τον ελάχιστο αριθμό θορύβου για την συσκευή. Αφού διαπιστωθεί η πραγματική αντίσταση της πηγής μοιάζει με τη βέλτιστη τιμή. Ιδανικά θα είχαμε $\Gamma_S = \Gamma_{OPT}$. Αφού βρούμε την βέλτιστη αντίσταση πηγής για το τρανζίστορ, το επόμενο βήμα είναι να βρούμε το βέλτιστο φορτίο ανάκλασης που χρειάζεται ώστε να τερματιστεί σωστά η εξαγωγή του τρανζίστορ. Η μεταβλητή δίνεται παρακάτω με τον συγκεκριμένο τύπο:

$$\Gamma_L = \left[S_{22} + \frac{S_{12} \times S_{21} \times \Gamma_S}{1 - S_{11} \times \Gamma_S} \right] \quad (7.1)$$

Όπου Γ_S είναι η μεταβλητή ανάκλασης της πηγής για τον ελάχιστο αριθμό θορύβου και το * δηλώνει το σύνθετο σύζευγμα.

Το κέρδος ισχύος σε αυτήν την περίπτωση χαρακτηρίζεται ως η μέγιστη σταθερή δύναμη και δίνεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$MSG = \left| \frac{S_{21}}{S_{12}} \right| \quad (7.2)$$

Και είναι ειδική περίπτωση μέγιστης έκφρασης κέρδους. Αυτή είναι η έκφραση που αρμόζει στην περίπτωση. Αυτό μπορεί επίσης να φανεί από τα διαγράμματα του καταλόγου δεδομένων του κατασκευαστή της παραπάνω εικόνας (σχήμα 5.1). Κάτω από την συχνότητα 14GHz όπου ο ενισχυτής είναι πιθανώς ασταθής ορίζεται το MSG (Maximum

Stable Gain). Για την απεριόριστη σταθερά περίπτωση, πάνω από 14GHz ορίζεται το MAG (Maximum Available Gain)[12].

Ο συντελεστής θορύβου μίας αλυσίδας ενισχυτών ή ενός δέκτη μπορεί να υπολογιστεί με τον τύπο του Friis. Αυτός ο τύπος δείχνει ότι ο γενικός αριθμός θορύβου του πρώτου ενισχυτικού σταδίου είναι το πιο σημαντικό διότι οι συνεισφορές θορύβου στα ακόλουθα στάδια μειώνονται με το κέρδος των προηγούμενων σταδίων. Το μέτρο θορύβου (M), ενός ενισχυτή δίνει τον συντελεστή θορύβου ο οποίος θα προέκυπτε από μία ατελείωτη αλληλουχία πανομοιότυπων ενισχυτών και μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$M = \frac{F - 1}{1 - 1/G} \quad (7.3)$$

Επομένως ο συντελεστής θορύβου θα είναι:

$$F = 1 + M \quad (7.4)$$

Αυτό είναι λοιπόν το κατώτατο όριο του συνολικού συντελεστή θορύβου. Γενικώς, το πρώτο στάδιο ενισχυτή θα έπρεπε να σχεδιάζεται για βέλτιστο μέτρο θορύβου, αντί για βέλτιστο αριθμό θορύβου (δηλαδή έναν Ενισχυτή Χαμηλού Θορύβου ή /EXΘ), διότι το κέρδος πρέπει να κρατιέται αρκετά ψηλά ώστε να περιοριστούν οι συνεισφορές θορύβου από το ακόλουθα στάδια. Σε έναν πολλαπλών σταδίων ενισχυτή το δεύτερο και τρίτο στάδιο μπορούν να σχεδιαστούν για υψηλότερο κέρδος, με τον αριθμό θορύβου τους να γίνεται όλο και πιο ασήμαντος. Αν το κέρδος ενός μόνο σταδίου είναι αρκετά χαμηλό (λιγότερο από 10dB), το οποίο μπορεί να είναι η περίπτωση με τους ενισχυτές μικροκυμάτων, τότε όλα τα στάδια μπορεί να σχεδιαστούν για το βέλτιστο μέτρο θορύβου. Το πρώτο βήμα στον σχεδιασμό ενισχυτών χαμηλού θορύβου είναι να υπολογιστεί ο αριθμός σταδίων που χρειάζονται και του αριθμού θορύβου και κέρδους που χρειάζεται για κάθε συγκεκριμένο στάδιο[12].

7.3 Επίλογος

Συνοψίζοντας το κεφάλαιο αυτό, είδαμε ότι ο βέλτιστος αριθμός θορύβου έχει άμεση συνάφεια με την αντίσταση της πηγής του τρανζίστορ και ότι για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να κατασκευαστεί ο ενισχυτής σε δύο στάδια ή παραπάνω ανάλογα με τους υπολογισμούς μας. Στους υπολογισμούς μας αυτούς θα μας βοηθήσει η φόρμουλα Friis, την οποία αναλύσαμε παραπάνω.

Κεφάλαιο 8ο: Ενισχυτής δύο σταδίων

8.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα μιλήσουμε για ενισχυτή μικροκυμάτων δύο σταδίων.

8.2 Ενισχυτής δύο σταδίων

Η διαμόρφωση ενός ενισχυτή μικροκυμάτων δύο σταδίων φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 8.1). Το σχέδιο του ενισχυτή δύο σταδίων συνήθως περιλαμβάνει την βελτιστοποίηση μίας από τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Συνολικό υψηλό όφελος
- Συνολικός αριθμός θορύβου
- Συνολική υψηλή ισχύ

Σε ένα σχέδιο ενισχυτή δύο σταδίων η σταθερότητα του κάθε σταδίου ξεχωριστά, όπως και η συνολική σταθερότητα, πρέπει να ελεγχθούν.

Σε έναν ενισχυτή χαμηλού θορύβου όπως σε αυτήν την περίπτωση χρειάζεται οι συντελεστές να επιλεγθούν ακολούθως:

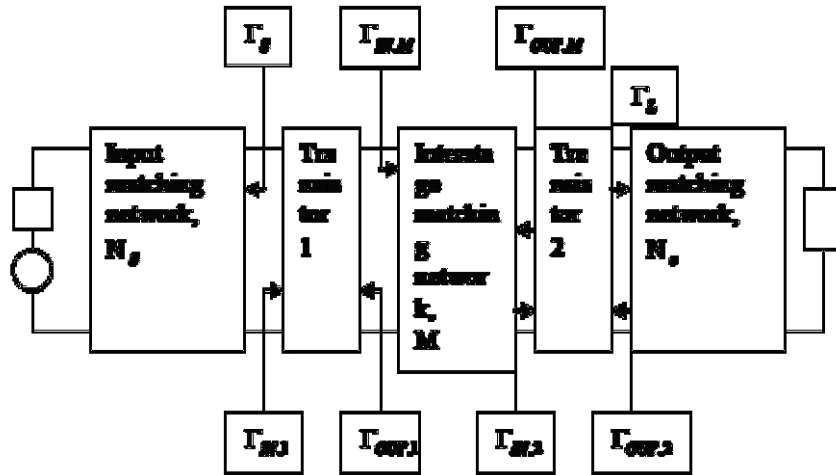
$$\Gamma_S = \Gamma_{0,1} \quad (8.1)$$

$$\Gamma_{IN,M} = (\Gamma_{OUT,1})^* \quad (8.2)$$

$$\Gamma_{OUT,M} = \Gamma_{0,2} \quad (8.3)$$

$$\Gamma_L = (\Gamma_{OUT,2})^* \quad (8.4)$$

Όπου $\Gamma_{0,1}$ και $\Gamma_{0,2}$ είναι ο βέλτιστος συντελεστής αντανάκλασης πηγής θορύβου για τα στάδια 1 και 2 αντίστοιχα. Ο συνολικός αριθμός θορύβου ενός ενισχυτή δύο σταδίων εξαρτάται από τους αριθμούς θορύβου του πρώτου και του δεύτερου σταδίου αντίστοιχα και του διαθέσιμου κέρδους από το πρώτο στάδιο. Το τρανζίστορ του πρώτου σταδίου είναι συνήθως επιλεγμένο ώστε να έχει χαμηλό αριθμό θορύβου, ενώ το δεύτερο υψηλότερο. Παρόλο που, μερικές ανταλλαγές μεταξύ αριθμού θορύβου και κέρδους είναι δυνατές, συνήθως χρησιμοποιείται η βέλτιστη αντιστοιχία θορύβου ανάμεσα στα $\Gamma_{0,1}$ και $\Gamma_{0,2}$. [12]



Σχήμα 8.1 Σχέδιο ενισχυτή δύο σταδίων

8.3 Επίλογος

Εν κατακλείδι, το κεφάλαιο αυτό, αναφερθήκαμε στις προϋποθέσεις βελτιστοποίησης του σχεδίου του ενισχυτή αυτού, καθώς και στον έλεγχο σταθερότητας που πρέπει να γίνει στα δύο στάδια, αλλά και στο θόρυβο σε σχέση με τα τρανζίστορ των δύο σταδίων.

Κεφάλαιο 9ο: Ενισχυτής υψηλού κέρδους

9.1 Εισαγωγή

Στο σημείο αυτό θα αναλύσουμε τη σταθερότητα και το κέρδος των ενισχυτών υψηλού κέρδους.

9.2 Έλεγχος σταθερότητας ενισχυτών υψηλού κέρδους δύο ή πολλών σταδίων

Αν το κέρδος του κυκλώματος ανά στάδιο είναι χαμηλό, πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν ένα ενισχυτής δύο ή πολλαπλών σταδίων. Η γενική διαμόρφωση είναι πανομοιότυπη με αυτή από το παραπάνω σχεδιάγραμμα (σχήμα 8.1). Άλλα σχέδια πολλών σταδίων που πρέπει να ληφθούν υπόψιν είναι τα διαδοχικά ισορροπημένα στάδια, τα διαδοχικά στάδια ανατροφοδότησης, ή οι κατανεμημένοι ενισχυτές. Η σταθερότητα των ενισχυτών δυο θυρών με δύο στάδια πρέπει να εξετάζεται ξεχωριστά. Αφού δύο ενεργές συσκευές είναι παρούσες, ο συντελεστής σταθερότητας του ενισχυτή δύο σταδίων (ή πολλών σταδίων) δεν εγγυείται συνολική σταθερότητα. Εάν ο συντελεστής σταθερότητας δύο σταδίων K είναι μεγαλύτερος από την ένωση, δεν υπάρχει παθητικό δίκτυο συνδεδεμένο με αντίστοιχα δίκτυα είτε εισόδου είτε εξόδου, που μπορούν να κάνουν τον ενισχυτή να ταλαντώνεται. Σε χαμηλές συχνότητες που η σταθερότητα του τρανζίστορ είναι μικρότερη από την ένωση, ο τερματισμός που παρέχεται από το δίκτυο πρέπει να ελεγχθεί για τη σταθερότητα και των δύο τρανζίστορ. Καθώς στελέχη πόλωσης χρειάζονται και για τα δύο τρανζίστορ, αυτά τα στελέχη είναι συνήθως η εγγύηση σταθερότητας για το δίκτυο.

9.3 Επίλογος

Ολοκληρώνοντας, βλέπουμε ότι η σταθερότητα για ενισχυτές πολλών σταδίων δεν εγγυάται γι' αυτό και πρέπει να ελέγχεται ξεχωριστά σε κάθε στάδιο. Επιπλέον, καταλήγουμε στο γεγονός ότι μόνο η σωστή πόλωση των τρανζίστορ αποτελεί εγγύηση για τη σταθερότητα των δικτύων.

Κεφάλαιο 10ο: Σχεδιασμός κυκλώματος με λογισμικό υπολογιστή

10.1 Εισαγωγή

Η κλασική διαδικασία για το σχεδιασμό κυκλωμάτων μικροκυμάτων έχει γίνει όλο και πιο δύσκολη στη χρήση λόγω των ίδιων μεθόδων που χρησιμοποιούνται. Αντιθέτως, οι τεχνικές σχεδιασμού με τη βοήθεια λογισμικών (CAD) χρησιμοποιούνται για να ξεπεραστούν τα προβλήματα που δημιουργούνται από τις κλασικές διαδικασίες.

10.2 Λογισμικό CAD

Έτσι λοιπόν υπάρχουν κάποια ζητήματα όπως τα παρακάτω:

- Η περιπλοκότητα των μοντέρνων συστημάτων απαιτεί πιο ακριβή και συγκεκριμένο σχεδιασμό των κυκλωμάτων και υποσυστημάτων με αποτέλεσμα η ανοχή του κυκλώματος να γίνεται όλο και πιο μεγάλη.
- Μία μεγάλη ποικιλία ενεργών και παθητικών συντελεστών είναι τώρα διαθέσιμη για την επίτευξη μιας συγκεκριμένης λειτουργίας κυκλώματος. Η επιλογή της σωστής συσκευής ή δομής γίνεται δύσκολη και χρονοβόρα όταν χρησιμοποιείται η εμπειρική μέθοδος.
- Είναι πολύ δύσκολο να ενταχθούν οποιεσδήποτε αλλαγές στα κυκλώματα που είναι δημιουργημένα από τεχνολογία MMIC.
- Τα κυκλώματα με πλακέτα διασύνδεσης χωρίς κολλήσεις, ειδικά σε MMIC, είναι διαβόητα ανακριβή στην πρόβλεψη της απόδοσης του τελικού σχεδίου.

Οι τεχνικές CAD είναι μέθοδοι αντιμετώπισης προβλημάτων ανάπτυξης υπερσύγχρονων κυκλωμάτων μικροκυμάτων. Ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή μπορεί να ερμηνευθεί ως διαδικασία σχεδιασμού, όπου ο υπολογιστής χρησιμοποιείται ως εργαλείο. Αυτό το τμήμα της αναφοράς συνδυάζεται με το λογισμικό ADS το οποίο αποτελεί την βάση του έργου, στον σχεδιασμό καθώς και στον έλεγχο των υπολογισμών που έγιναν χωρίς την υποστήριξη υπολογιστή σε προηγούμενα τμήματα. Το ADS θα χρησιμοποιηθεί για να βρεθούν οι ακριβείς τιμές των παραμέτρων σκέδασης, να σχεδιαστούν οι κύκλοι συνεχούς θορύβου και οι κύκλο σταθερότητας ως μία σύγκριση σε αυτές που αποκτήθηκαν χρησιμοποιώντας τις μεθόδους υπολογισμών νωρίτερα[13].

10.3 Επίλογος

Ξεκινώντας το δεύτερο μέρος της εργασίας που είναι ο σχεδιασμός και η προσομοίωση του κυκλώματος με τη βοήθεια λογισμικού υπολογιστή, στο κεφάλαιο αυτό μιλήσαμε για τα λογισμικά προγράμματα σχεδιασμού και για το ADS το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε στη παρούσα εργασία.

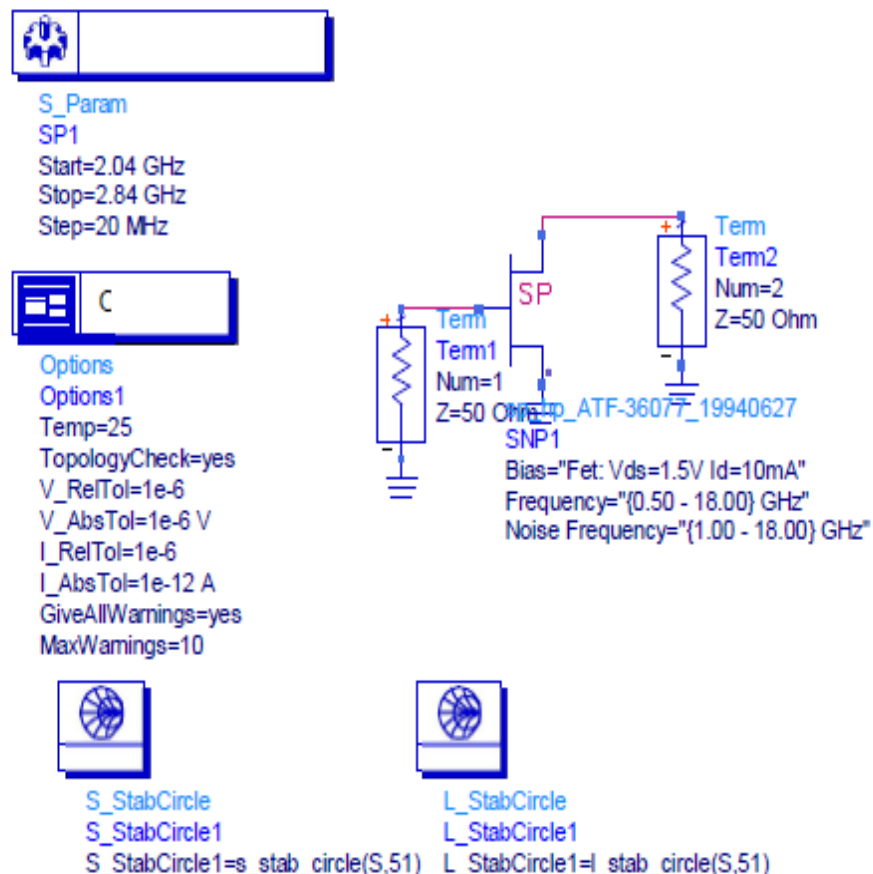
Κεφάλαιο 11ο: Παράμετροι σκέδασης στο ADS

11.1 Εισαγωγή

Στο σημείο αυτό της εργασίας θα αναφερθούμε στις παραμέτρους σκέδασης του κυκλώματος σε σχέση με το πρόγραμμα σχεδιασμού ADS.

11.2 Προσομοίωση παραμέτρων σκέδασης

Ο κατάλογος δεδομένων του κατασκευαστή δίνει στο τρανζίστορ παραμέτρους σκέδασης για μια σχετικά ευρεία γκάμα συχνοτήτων όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Παρόλο που για να υλοποιηθεί με ακρίβεια το σχέδιο χρειάζονται καλύτεροι υπολογισμοί των παραμέτρων σκέδασης, αυτοί μπορούν να προσδιοριστούν με ακρίβεια χρησιμοποιώντας το ADS. Το τρανζίστορ προσομοιώνεται χρησιμοποιώντας το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 11.1).



Σχήμα 11.1 Προσομοίωση τρανζίστορ πέρνοντας πραγματικές τιμές των παραμέτρων σκέδασης

freq	S(1,1)	S(2,1)	S(1,2)	S(2,2)
2.440GHz	0.957 / -40.040	4.834 / 140.400	0.036 / 60.720	0.581 / -33.720

Σχήμα 11.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης/S παράμετροι

Το «ATF36077 Low Noise Pseudomorphic HEMT» επιλέχθηκε αρχικά από την βιβλιοθήκη. Τα TERM1 και TERM2 στο παραπάνω σχέδιο (σχήμα 11.1) αντιπροσωπεύουν τον τερματισμό εισόδου και εξόδου, που είναι περίπου 50Ω το καθένα. Μετά την προσομοίωση του παραπάνω κυκλώματος αποκτήθηκαν οι ακόλουθες τιμές για τις παραμέτρους σκέδασης για το τρανζίστορ έχοντας συχνότητα 2.44GHz και εύρος ζώνης 80MHz.

11.3 Επίλογος

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό για να αποκτηθούν οι πραγματικές τιμές των παραμέτρων σκέδασης στην συγκεκριμένη συχνότητα σχεδιασμού, αποκτήθηκαν τα παραπάνω(σχήμα 11.2). Αυτές οι τιμές περιγράφουν με ακρίβεια την λειτουργία του τρανζίστορ στην συγκεκριμένη συχνότητα. Παρόλο που θα υπάρχει εναλλαγή συχνοτήτων στο συγκεκριμένο εύρος ζώνης των 80MHz, η κεντρική συχνότητα των 2.44GHz είναι αυτή του κύριου ενδιαφέροντος. Αυτές οι τιμές των παραμέτρων σκέδασης θα χρησιμοποιηθούν καθόλη τη διάρκεια της διαδικασίας του σχεδιασμού.

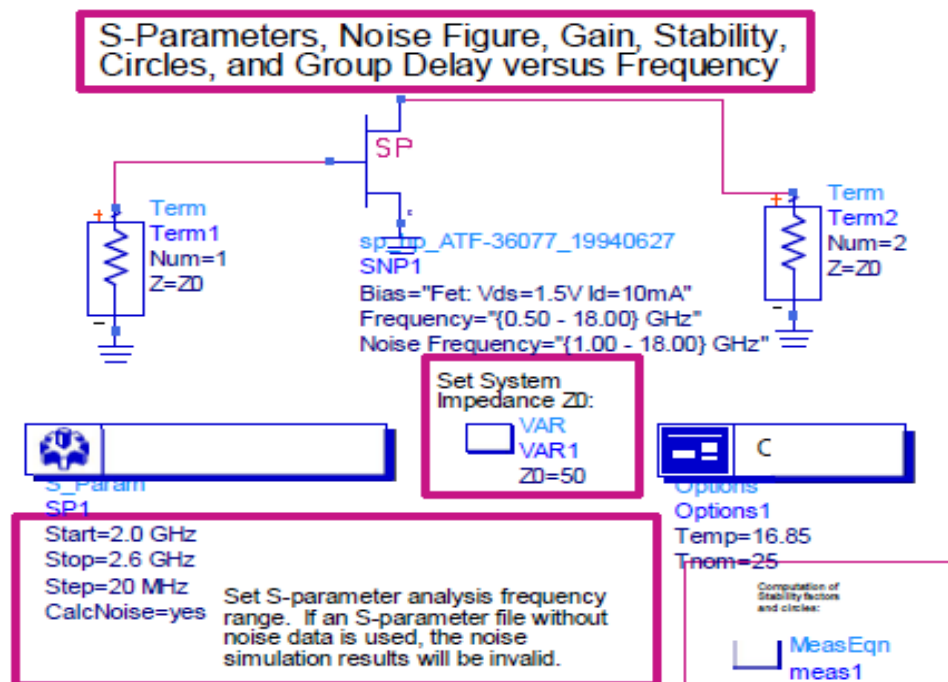
Κεφάλαιο 12ο: Κύκλοι σταθερότητας θορύβου

12.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα το λογισμικό ADS θα χρησιμοποιηθεί για να σχεδιαστούν οι κύκλοι σταθερότητας και κέρδους του δικτύου. Το τρανζίστορ προσομοιώθηκε στο συγκεκριμένο σημείο μόνο του χρησιμοποιώντας το παρακάτω κύκλωμα (σχήμα 12.1).

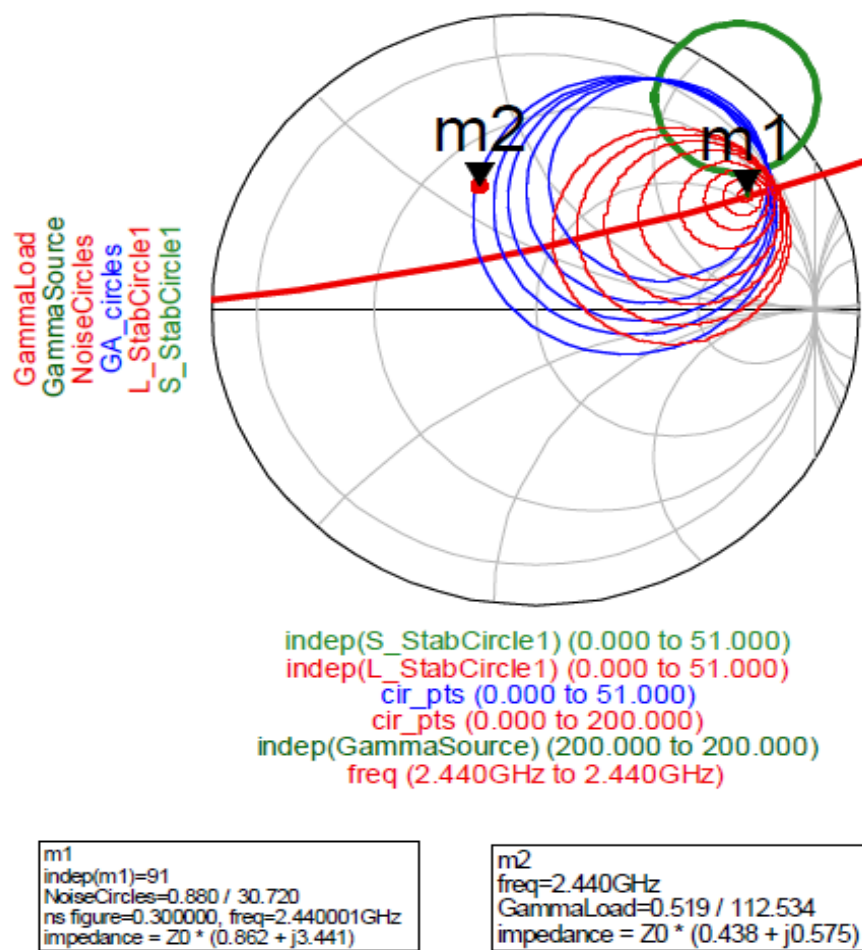
12.2 Προσομοίωση του τρανζίστορ

Το τρανζίστορ τοποθετήθηκε ανάμεσα σε δύο αντιστάσεις, έχοντας την ονομαστική τιμή των 50Ω και τις απαιτούμενες παραμέτρους ώστε να ξεκινήσει η προσομοίωση. Αφού πατήθηκε το κουμπί της προσομοίωσης αποκτήθηκαν τα ακόλουθα αποτελέσματα. Αυτό αναφέρεται από το λογισμικό σχεδιασμού ADS ως λειτουργία «Εξυπνη Προσομοίωση».



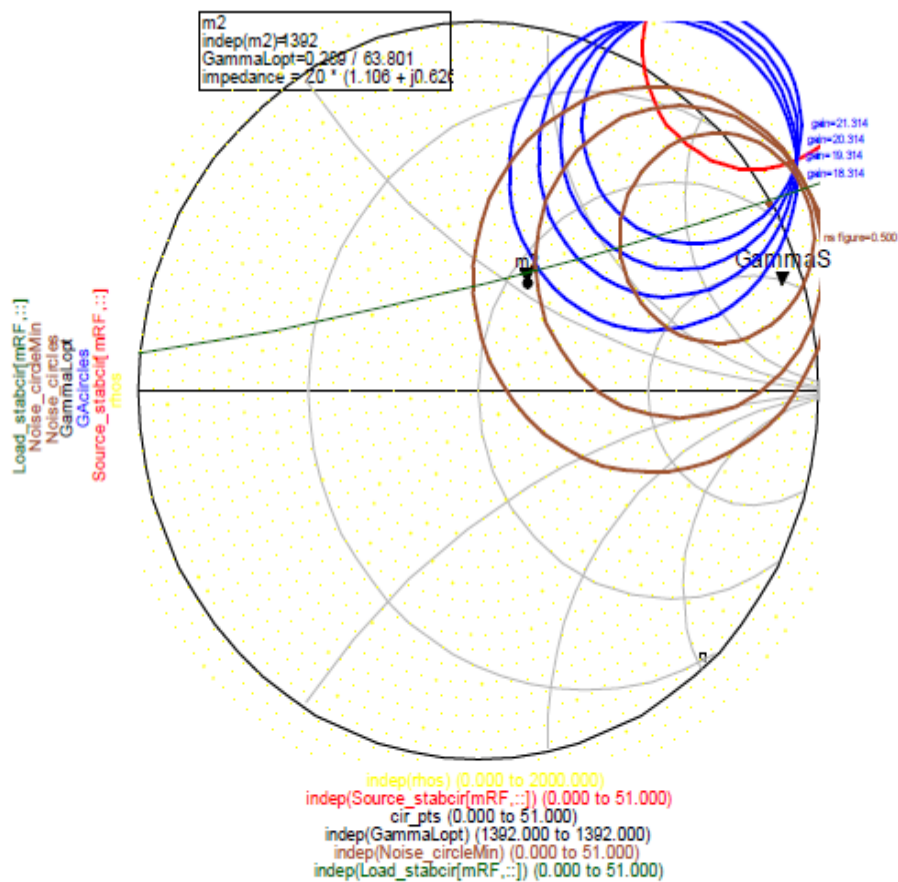
Σχήμα 12.1 Προσομοίωση κυκλώματος για το κέρδος και τους κύκλους σταθερότητας

Τα αντίστοιχα διαγράμματα απεικονίζονται παρακάτω (σχήμα 12.2). Το σχέδιο με τον βέλτιστο αριθμό θορύβου θεωρητικά απαιτούσε την τιμή του βέλτιστου συντελεστή αντανάκλασης για να είναι ίση με τον συντελεστή αντανάκλασης της πηγής. Αυτό φυσικά όπως φαίνεται στο διάγραμμα αναγκάζει το κύκλωμα να βρίσκεται στην ασταθή περιοχή, το οποίο θα προκαλέσει στο σύστημα να ταλαντεύεται. Αυτό δημιουργεί την ανάγκη για έναν νέο «βέλτιστο» συντελεστή αντανάκλασης πηγής, ο οποίος θα λύσει το πρόβλημα της σταθερότητας. Το λογισμικό ADS μπορεί να δώσει τη λύση αμέσως. Η τιμή του συντελεστή αντανάκλασης του φορτίου μπορεί μετά να υπολογιστεί εύκολα καθώς εξαρτάται πλήρως από την επιλογή του συντελεστή αντανάκλασης της πηγής.



Σχήμα 12.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Το σημάδι **m1** στον παραπάνω χάρτη ανταποκρίνεται στον συντελεστή αντανάκλασης της πηγής και το **m2** στον συντελεστή αντανάκλασης του φορτίου. Οι ανταποκρινόμενες τιμές είναι γραμμμένες στα κουτιά κάτω από τον χάρτη Σμιθ στο γράφημα. Ο πράσινος κύκλος αντιπροσωπεύει τον κύκλο Γ_S . Σε αυτήν την παραπάνω περίπτωση $\Gamma_S = \Gamma_{OPT}$ και αυτό ανταποκρίνεται στην ελάχιστη στάθμη θορύβου των 0.3dB αλλά ο συντελεστής αντανάκλασης του φορτίου βρίσκεται στην ασταθή περιοχή οπότε ένας νέος συντελεστής πηγής απαιτείται για το σχέδιο.



Σχήμα 12.3 Αποτελέσματα προσομοίωσης-βελτιωμένη σταθερότητα

Στον παραπάνω χάρτη οι καφέ χρωματισμένες γραμμές αντιπροσωπεύουν του κύκλους θορύβου, οι μπλε τους κύκλους συνεχούς κέρδους, οι πράσινες και κόκκινες του κύκλους σταθερότητας φορτίου και πηγής αντίστοιχα.

Το σημάδι **m1** τώρα αντιπροσωπεύει την νέα τιμή του Γ_S που δεν θα αναγκάσει το κύκλωμα να ταλαντεύεται. Σε αυτήν την περίπτωση όπως μπορεί να παρατηρηθεί από το αντίστοιχο μπλοκ για το σημάδι **m1**, επιλέγοντας αυτήν την συγκεκριμένη τιμή για Γ_S το κύκλωμα σιγουρεύει μια σταθερή λειτουργία, αλλά οι συνέπειες για την τιμή του αριθμού του θορύβου είναι προφανείς καθώς η νέα τιμή είναι 0.42dB. Περαιτέρω κοιτώντας το κέρδος εξόδου του σταδίου του ενισχυτή, δίνει μία τιμή περίπου 17dB (16.8dB όπως διαβάζεται κατευθείαν από το διάγραμμα), το οποίο είναι ακατάλληλο ώστε να ανταποκριθεί στις συγκεκριμένες προδιαγραφές. Επομένως χρειάζεται σχεδιασμός ενισχυτή δύο σταδίων. Όμως ο συντελεστής της αντανάκλασης του φορτίου Γ_L βρίσκεται σε σταθερή περιοχή όπως φαίνεται στο σχήμα 11.2 παραπάνω. Οι ακόλουθες αποδιαμορφωμένες τιμές για τους συντελεστές αντανάκλασης της πηγής και του φορτίου θα δώσουν τις απαιτούμενες αντιστοιχίες αντίστασης που χρειάζονται για την εφαρμογή.

$$\Gamma_S = 140.779 + j237.110 \quad (12.1)$$

$$\Gamma_L = Z_0 \times (1.106 + j0.626) = 55.3 + j31.3 \quad (12.2)$$

Όπου Z_0 είναι η αντίσταση τερματισμού ίση με 50Ω. Οι παραπάνω αντιστάσεις θα χρησιμοποιηθούν για να ταιριάζουν με το πρώτο στάδιο του ενισχυτή. Για το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή, απαιτείται διαφορετική φιλοσοφία σχεδιασμού καθώς ο χαμηλός αριθμός θορύβου δεν είναι η βασική παράμετρος πια, καθώς δεν συμβάλει σημαντικά στον συνολικό αριθμό θορύβου. Αυτό περιεγράφηκε σε προηγούμενο τμήμα της εργασίας. Αντιθέτως, το μέγιστο κέρδος που μπορεί να επιτυγχανθεί από αυτό το έξτρα στάδιο έτσι ώστε να προσφέρει στο συνολικό διαθέσιμο κέρδος για την συσκευή είναι ο κύριος στόχος σε αυτό το σημείο.

12.3 Επίλογος

Φτάνοντας στο τέλος του παραπάνω κεφαλαίου και κάνοντας την προσομοίωση του τρανζίστορ πήραμε κάποια αποτελέσματα τα οποία βελτιώσαμε και παίρνοντας τα νέα καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι πρέπει να δημιουργηθεί και δεύτερο στάδιο ενισχυτή το οποίο θα αποσκοπεί στο μέγιστο κέρδος του κυκλώματος.

Κεφάλαιο 13ο: Δεύτερο στάδιο του ενισχυτή

13.1 Εισαγωγή

Για να επιτυγχανθεί το υψηλότερο συνολικό κέρδος όπως απαιτεί ο προσδιορισμός του σχεδίου πρέπει να υπάρξει μία «συσχέτιση» ανάμεσα στον θόρυβο και το κέρδος. Έτσι, ακολουθώντας την ίδια διαδικασία της έξυπνης προσομοίωσης σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή.

13.2 Σχεδιασμός του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή

Καθώς αυτό το μέρος του σχεδιασμού αναφέρεται στον δεύτερο στάδιο του ενισχυτή που θα προστεθεί στο κύκλωμα για λόγους που έχουν ήδη συζητηθεί στο προηγούμενο τμήμα, η ποσότητα του θορύβου που θα προστεθεί στην συσκευή δεν είναι το κύριο ενδιαφέρον. Ένα καινούργιο λειτουργικό σημείο του τρανζίστορ πρέπει τώρα να επιλεγεί, για να επιτευχθεί αυτού του είδους η «συσχέτιση». Για να επιλεγεί αυτό το λειτουργικό σημείο ξανά οι κύκλοι θορύβου, κέρδους και σταθερότητας πρέπει να σχεδιαστούν όπως νωρίτερα. Χρησιμοποιώντας ξανά την λειτουργία έξυπνη προσομοίωση και χρησιμοποιώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία όπως παραπάνω οι επιλεγμένες αντιστοιχίες εισόδου και εξόδου ήταν:

$$\Gamma_S = 78.329 + j12.378 \quad (13.1)$$

$$\Gamma_L = Z_0 * (1.536 + j1.606) = 78.15 + j80.3 \quad (13.2)$$

Τα παραπάνω κάνουν το τρανζίστορ σε αυτό το δεύτερο στάδιο να έχει κέρδος των 17dB και αριθμό θορύβου των 0.7dB. Η τιμή αριθμού θορύβου είναι πολύ μικρή για να επηρεάσει τον συνολικό αριθμό θορύβου του δικτύου. Αυτό είναι λοιπόν το λειτουργικό σημείο που απαιτείται για το δεύτερο τρανζίστορ. Σύμφωνα με τους υπολογισμούς σε προηγούμενο στάδιο, οι τιμές για το συνολικό κέρδος και τον αριθμό θορύβου θα είναι 34dB και 0.4dB αντίστοιχα. Τα αποτελέσματα αποκτήθηκαν χρησιμοποιώντας υπολογισμούς χωρίς υπολογιστή και πρέπει να συγκριθούν με αυτά που θα παραχθούν από την προσομοίωση αργότερα.

13.3 Επίλογος

Κλείνοντας το κεφάλαιο και χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία όπως στο πρώτο στάδιο, βρήκαμε το κατάλληλο σημείο λειτουργίας για το δεύτερο ενισχυτή και έτσι θα συνεχίσουμε την εργασία μας με τη μεθοδολογία του σχεδιασμού.

Κεφάλαιο 14ο: Σχεδιασμός δικτύου

14.1 Εισαγωγή

Το λογισμικό ADS θα χρησιμοποιηθεί ώστε να σχεδιαστούν τα αντίστοιχα δίκτυα εισόδου και εξόδου για το τρανζίστορ και όλο το σχέδιο. Οι υπολογισμοί που έγιναν στο αρχικό στάδιο της εργασίας θα χρησιμοποιηθούν ως καθοδήγηση για να γίνουν πιο απλά τα πράγματα σε αυτό το αρχικό στάδιο του σχεδίου.

14.2 Μεθοδολογία σχεδιασμού δικτύου

Συνήθως όλα τα σχέδια RF χρησιμοποιούν αντιστάσεις 50Ω. Ο λόγος για αυτό είναι ότι ο πιο εμπορικός εξοπλισμός που είναι διαθέσιμος χρησιμοποιεί αντιστάσεις 50Ω επίσης. Για παράδειγμα έτσι ώστε να δοκιμαστεί κάποιου είδους RF εξοπλισμός θα χρειαστεί να συνδεθεί με αναλυτή φάσματος. Οι περισσότεροι αναλυτές φάσματος στην αγορά σήμερα χρησιμοποιούν αντιστάσεις στάνταρ τιμών όπως 50-80-100Ω. Έτσι υπάρχει η αναγκαιότητα για αυτή την τιμή αντιστάσεων εισόδου και εξόδου.

Ο σχεδιασμός θα ξεκινήσει χρησιμοποιώντας το διάγραμμα Σμιθ για την απόκτηση πληροφοριών για το αν η εισαγωγή και η εξαγωγή ταιριάζουν με το τρανζίστορ. Έπειτα η διαμόρφωση αυτών των δικτύων αποκτάται χρησιμοποιώντας αυτού του είδους την μέθοδο (π.χ. εάν τα δίκτυα θα είναι ένας πυκνωτής διακλάδωσης, επαγωγική σειρά κτλ.). Μετά οι διαμορφώσεις του δικτύου σχεδιάζονται με το ADS, βελτιστοποιούνται και προσομοιώνονται έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί ότι η επιλογή των συνιστωσών ήταν η σωστή.

Παρακάτω βρίσκεται ένα διάγραμμα του αντίστοιχου δικτύου εισαγωγής όπως χρησιμοποιήθηκε για προσομοίωση. Η διαδικασία σχεδιασμού για όλο το έργο χρησιμοποιώντας το λογισμικό είναι η εξής:

- Επιλογή κατάλληλων συνιστωσών και τοποθέτηση σε σχηματικό παράθυρο χρησιμοποιώντας την ακριβή εντολή (πυκνωτής διακλάδωσης, επαγωγική σειρά κτλ.).
- Χρήση πρώτων ιδανικών συνιστωσών για το σχέδιο (π.χ. ιδανικές γραμμές μετάδοσης, πηνία κτλ.). Αυτά μπορούν να επιλεγούν από την παλέτα ιδανικών συνιστωσών στην αριστερή πλευρά του σχηματικού παραθύρου.
- Ορισμός των απαιτούμενων επιλογών/στόχων και όλων των αναγκαίων παραμέτρων ώστε να γίνει η προσομοίωση.
- Διεξαγωγή προσομοίωσης.

- Σχεδιασμός αποτελεσμάτων (S_{11} για τα αντίστοιχα δίκτυα εισόδου και εξόδου μόνο και NF, S_{21} ή το όφελος της συσκευής, S_{11} , S_{22} και παράγοντας σταθερότητας κ για το δίκτυο).
- Έλεγχος αποτελεσμάτων.
- Ολοκλήρωση για τυχόν αναγκαίες αλλαγές στην προσομοίωση για την απόκτηση των απαιτούμενων αποτελεσμάτων.
- Χρήση της λειτουργίας βελτιστοποίησης για επίτευξη της επιθυμητής επίδοσης.
- Μόλις η επιθυμητή επίδοση αποκτηθεί, αλλαγή των ιδανικών συνιστωσών με αληθινές από την παλέτα του κύριου σχηματικού παραθύρου.
- Επιβεβαίωση ότι οι καινούργιες στρογγυλές συνιστώσες και οι γραμμές microstrip έχουν τις ίδιες διαστάσεις με τις αρχικές.
- Οι διαστάσεις των γραμμών microstrip θα εκφράζονται ως προς το ηλεκτρικό μήκος. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστούν οι αληθινές διαστάσεις των γραμμών microstrip, χρησιμοποιώντας μία λειτουργία του λογισμικού ADS που είναι γνωστή ως «lineCalc». (Λεπτομέρειες θα δοθούν αργότερα)
- Ενημέρωση των τιμών που δόθηκαν για τις φυσικές διαστάσεις.
- Διεξαγωγή της προσομοίωσης ξανά.
- Έλεγχος αποτελεσμάτων που εμφανίζονται.

Η παραπάνω διαδικασία σε μορφή λίστας περιγράφει την γενική ιδέα πίσω από το σενάριο σχεδιασμού χρησιμοποιώντας το λογισμικό ADS. Μία πιο λεπτομερής ανάλυση θα δοθεί καθόλη τη διάρκεια του σχεδιασμού.

14.3 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό είδαμε κάποια πράγματα σχετικά με τη μεθοδολογία του σχεδιασμού του δικτύου σύμφωνα με το διάγραμμα Σμίθ και τους μαθηματικούς υπολογισμούς που κάναμε σε παραπάνω κεφάλαια και τη διαδικασία της γενικής ιδέας του σχεδιασμού του λογισμικού ADS συνοψισμένη.

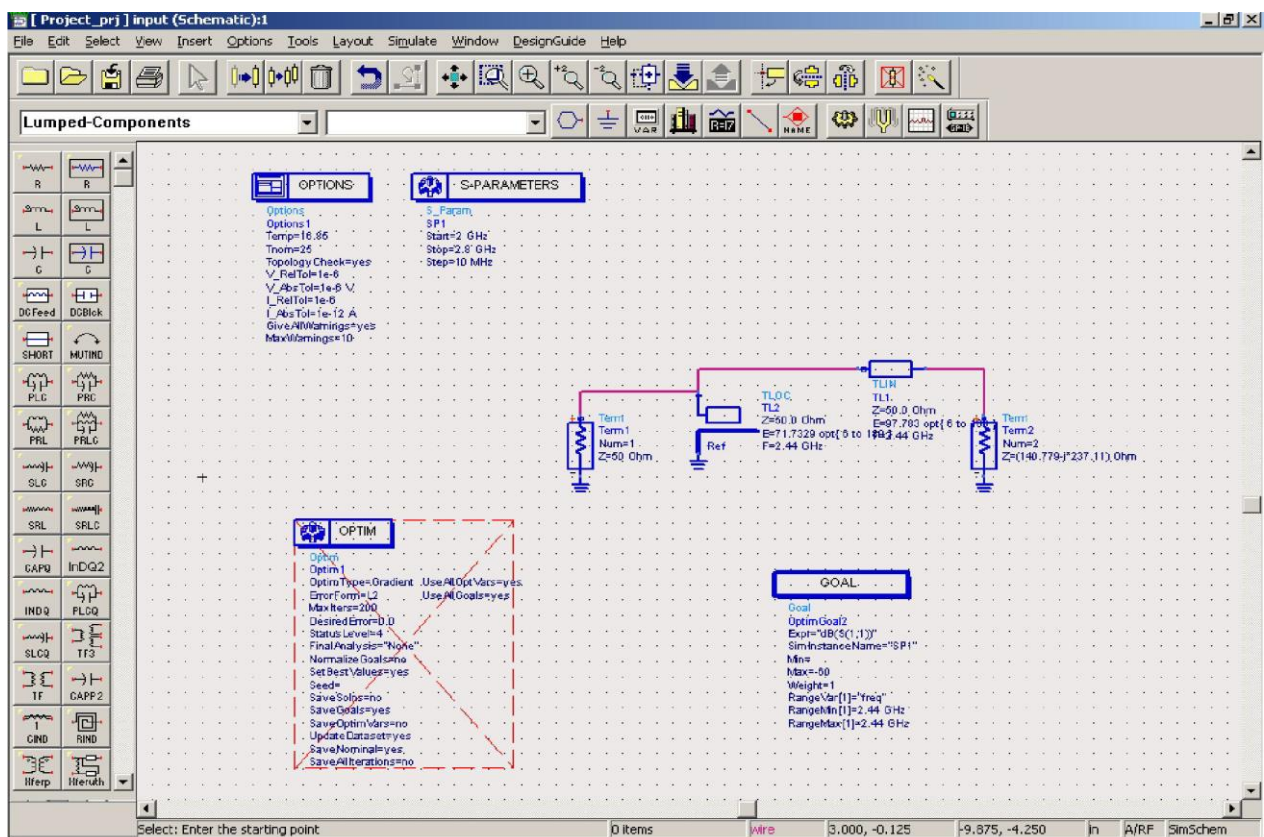
Κεφάλαιο 15ο: Δίκτυο εισόδου

15.1 Εισαγωγή

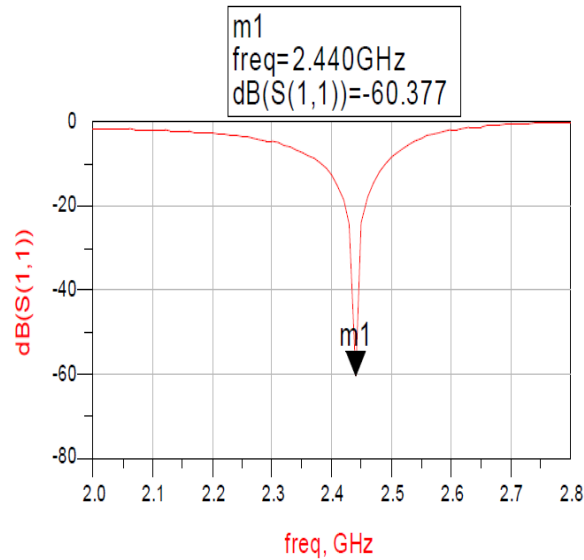
Χρησιμοποιώντας την τεχνική που περιγράψαμε παραπάνω, η προσέγγιση του σχεδιασμού για όλο το δίκτυο θα εκτελεστεί σε βήματα ελέγχοντας, αξιολογώντας και σχολιάζοντας κάθε φορά τα αποτελέσματα που αποκτώνται.

15.2 Σχεδιασμός δικτύου εισόδου

Η παρακάτω εικόνα (σχήμα 15.1) δείχνει το παράθυρο του λογισμικού ADS όπως χρησιμοποιήθηκε για να πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Οι παράμετροι της προσομοίωσης και οι παλέτες βελτιστοποίησης περιλαμβάνονται επίσης. Η πύλη του τρανζίστορ (όπου πρέπει να αντιστοιχιστεί με την αντίσταση εισόδου) στο παρακάτω σχέδιο (σχήμα 15.1) προσομοιώθηκε ώστε να είναι η έξοδος της σύνθετης αντίστασης του $140.779 + j237.110 \Omega$.



Σχήμα 15.1 Παράθυρο προσομοίωσης ADS, σχεδιασμός δικτύου αντιστοίχισης εισόδου (ιδανικοί παράγοντες)

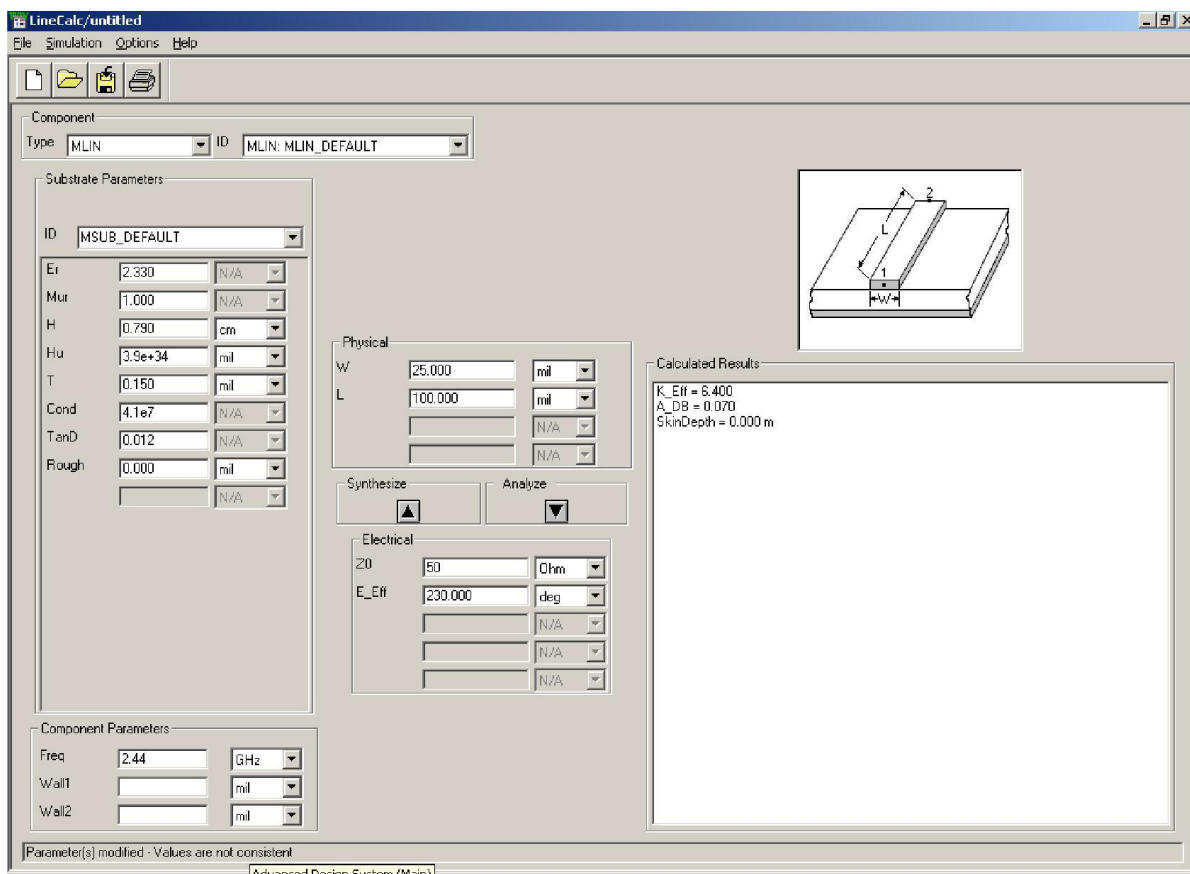


Σχήμα 15.2 S_{11} σχέδιο για το υπό δοκιμή δίκτυο

Μετά το τέλος της προσομοίωσης μπορούν να σχεδιαστούν τα αποτελέσματα. Κύριο ενδιαφέρον σε αυτό το δίκτυο εισαγωγής και εξαγωγής είναι οι τιμές των παραμέτρων σκέδασης του S_{11} , ο συντελεστής αντανάκλασης εισαγωγής ο οποίος αποτελεί μέτρο αντιστοιχίας για το δίκτυο. Η τιμή του S_{11} δίνει ένα μέτρο για το πόσο καλή αντιστοιχία μπορεί να επιτευχθεί. Όσο μικρότερη είναι η τιμή του S_{11} τόσο καλύτερη αντιστοιχία μπορεί να επιτευχθεί. Περαιτέρω το S_{11} ιδανικά θα μπορούσε να έχει μία γρήγορη πτώση πάνω από το εύρος ζώνης, πράγμα για το οποίο θα μιλήσουμε και θα αναλύσουμε σε παρακάτω κεφάλαια.

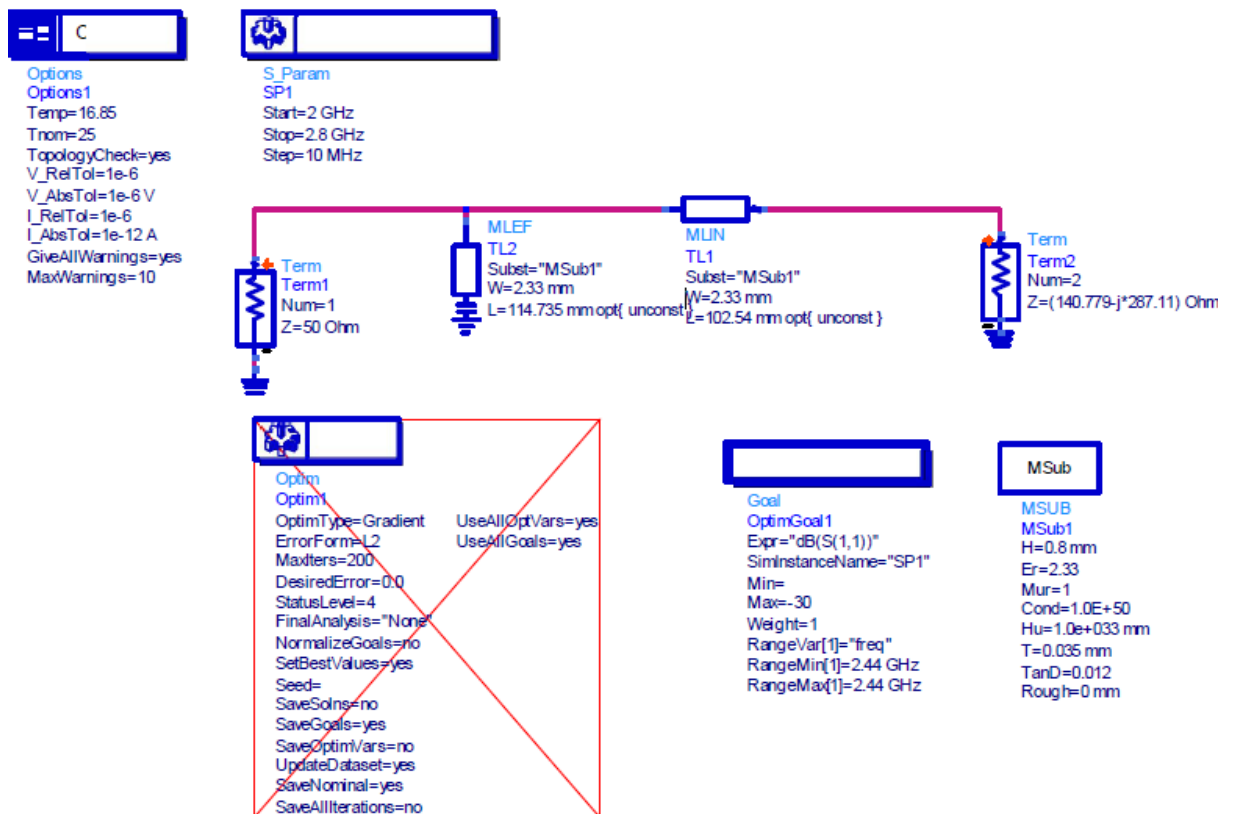
Όπως φαίνεται στο παραπάνω (σχήμα 15.2) διάγραμμα η τιμή του S_{11} στην κεντρική συχνότητα του 2.44GHz, που φαίνεται από τον παρακάτω δείκτη ότι έχει τιμή -60.377dB το οποίο δηλώνει ότι μπορεί να επιτευχθεί μία πολύ καλή αντιστοιχία. Αυτό φυσικά είναι η ιδανική περίπτωση αλλά μπορεί να γίνει μία καλή εκτίμηση της τελικής προσομοίωσης με την χρήση γραμμών microstrip. Τυπικές τιμές για το S_{11} ώστε να επιτευχθεί μία καλή αντιστοιχία θα ήταν λιγότερα από 10dB.

Το επόμενο βήμα θα είναι η μετατροπή όλων αυτών των ιδανικών παραγόντων σε πραγματική γραμμή, με τις σωστές φυσικές διαστάσεις. Τα ακριβή μήκη των γραμμών microstrip υπολογίστηκαν με την μεθοδολογία σχεδιασμού όπως περιεγράφηκε παραπάνω. Αρχικά το ηλεκτρικό μήκος θ υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την λειτουργία βελτιστοποίησης του λογισμικού. Τότε η τιμή του ηλεκτρικού μήκους χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να βρεθούν οι πραγματικές, φυσικές διαστάσεις των γραμμών. Για να γίνει αυτό ξανά χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό και πιο συγκεκριμένα ένα από τα εργαλεία που παρέχονται από το λογισμικό που ονομάζεται «lineCalc», ή αριθμομηχανή γραμμών. Το διάγραμμα (σχήμα 15.3) που ακολουθεί δείχνει ένα σχηματικό του παράθυρο αυτού.

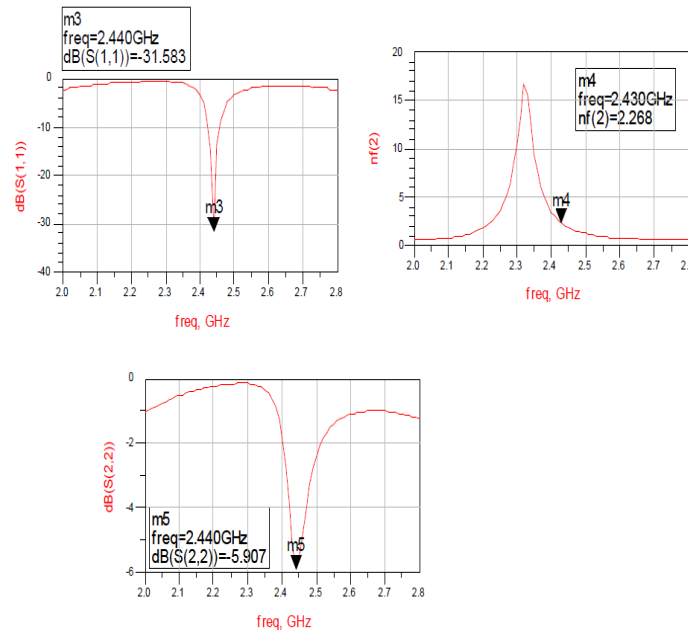


Σχήμα 15.3 Παράθυρο γραμμής αριθμομηχανής

Στο σχηματικό παράθυρο του «lineCalc» φαίνονται διάφορες παράμετροι. Στην πάνω αριστερή πλευρά βρίσκονται τα χαρακτηριστικά υποστρώματος, όπως η Σχετική Διαπερατότητα του διηλεκτρικού που χρησιμοποιείται (ϵ_r), το πάχος (T), η διηλεκτρική απώλεια (TanD) κλπ. Αφού συμπληρωθεί ο πίνακας παραμέτρων των εξαρτημάτων κάτω από αυτό και το «E_Eff» ή ηλεκτρικό μήκος (υπολογισμένο σε βαθμούς) ο υπολογισμός είναι έτοιμος να γίνει. Πατώντας το κουμπί «synthesize» ξεκινάει η διαδικασία και τα αποτελέσματα φαίνονται στην στήλη «Physical». Το πλάτος «W» όπως φαίνεται στην φωτογραφία (σχήμα 15.3) στο πλάι αντιπροσωπεύει την χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση της γραμμής, που πρέπει να έχει τιμή περίπου 50Ω και πρέπει να είναι σταθερή σε όλους τους υπολογισμούς που θα γίνουν για όλες τις γραμμικές διαστάσεις. Το μήκος της γραμμής παίρνει διάφορες τιμές για να ταιριάζει σωστά με την ενότητα. Η τοπολογία που προέρχεται από αυτό φαίνεται παρακάτω (σχήμα 15.4).



Σχήμα 15.4 Σχεδιασμός δικτύου αντιστοίχισης εισόδου



Σχήμα 15.5 Αποτελέσματα προσομοίωσης σχεδιασμού δικτύου αντιστοίχισης εισόδου

Όλοι οι ιδανικοί παράγοντες έχουν αντικατασταθεί και το δίκτυο πρέπει τώρα να προσομοιωθεί ξανά για να ελεγχθούν ξανά τα αποτελέσματα. Μετά την εξαγωγή της προσομοίωσης αποκτήθηκαν τα παραπάνω αποτελέσματα (σχήμα 15.5).

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί από τα διαγράμματα τα αποτελέσματα μπορούν να χαρακτηριστούν ικανοποιητικά. Οι λόγοι για αυτό είναι η στενή και απότομη ανταπόκριση στο καθορισμένο εύρος ζώνης. Όπως ήταν αναμενόμενο οι ατέλειες των παραγόντων και οι υποστρωματικές απώλειες οδηγούν σε αύξηση της τιμής του S_{11} . Όμως η τιμή είναι αρκετά χαμηλή για να επιτυγχανθεί καλή αντιστοιχία. Αυτό επίσης επαληθεύει τον αρχικό σχεδιασμό χρησιμοποιώντας τη μέθοδο χωρίς υπολογιστή (Διάγραμμα Σμιθ). Έτσι τώρα είναι «ασφαλές» να προχωρήσουμε στον σχεδιασμό του δικτύου εξόδου[14].

15.3 Επίλογος

Στο σημείο αυτό της εργασίας, αναλύσαμε τη διαδικασία βήμα προς βήμα της προσομοίωσης για το σχεδιασμό του δικτύου εισόδου αρχικά με ιδανικούς παράγοντες και έπειτα προσομοιώνοντας με πραγματικές συνθήκες ώστε να πάρουμε τα αποτελέσματα. Επίσης, είδαμε το σημαντικό ρόλο της παραμέτρου σκέδασης S_{11} και τέλος πήραμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των πραγματικών συνθηκών τα οποία ήτανε ικανοποιητικά.

Κεφάλαιο 16ο: Δίκτυο εξόδου

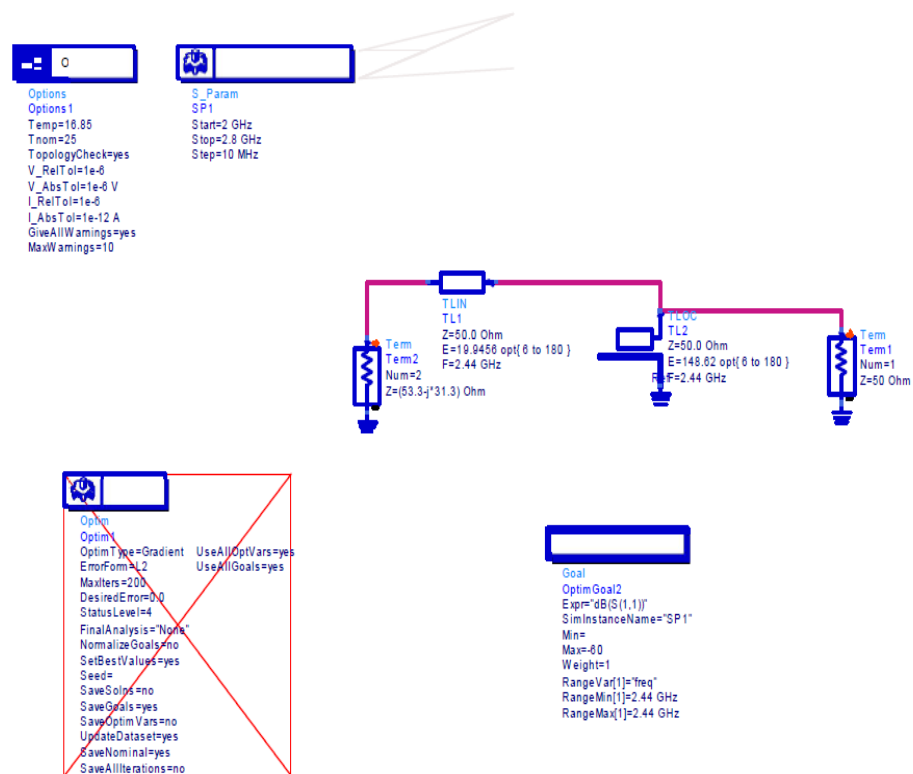
16.1 Εισαγωγή

Θέμα του παρόντος κεφαλαίου θα είναι ο σχεδιασμός του δικτύου εξόδου ακολουθώντας την ίδια διαδικασία όπως στο δίκτυο εισόδου.

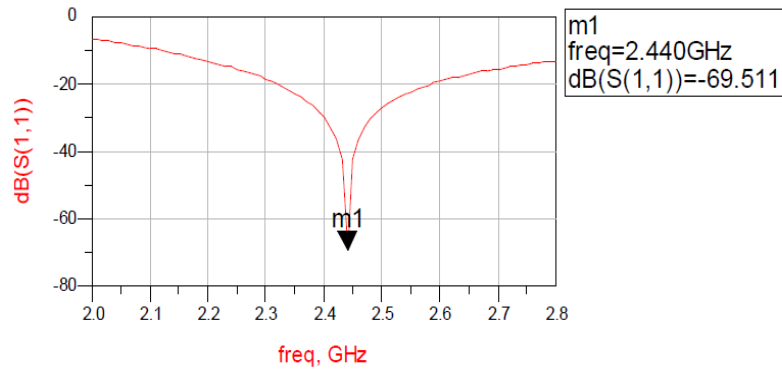
16.2 Σχεδιασμός δικτύου εξόδου

Χρησιμοποιώντας το Διάγραμμα Σμιθ για την συσκευή του τρανζίστορ μπορεί εύκολα να παρατηρηθεί ότι το δίκτυο αντιστοιχίας εξόδου πρέπει να είναι ακριβώς όπως το παρακάτω (σχήμα 16.1). Ξανά, ο αρχικός σχεδιασμός θα γίνει με ιδανικούς παράγοντες.

Μετά την προσομοίωση του παραπάνω όπως περιεγράφηκε στην παραπάνω ενότητα, σχεδιάστηκαν τα ακόλουθα αποτελέσματα (σχήμα 16.2).

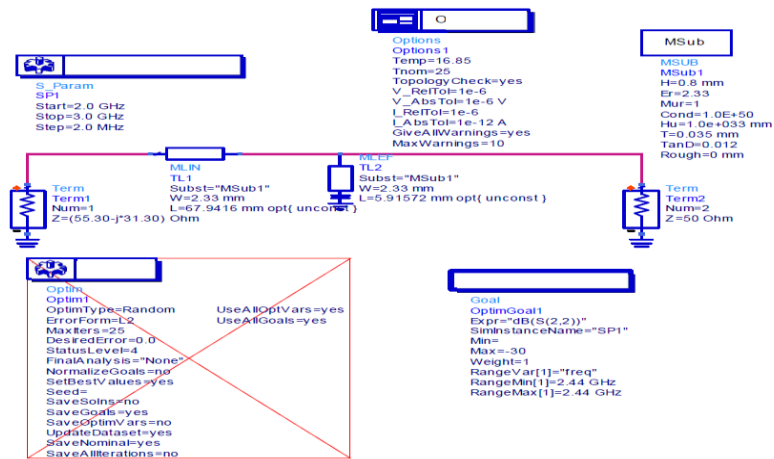


Σχήμα 16.1 Σχεδιασμός δικτύου εξόδου



Σχήμα 16.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης σχεδιασμού δικτύου εξόδου

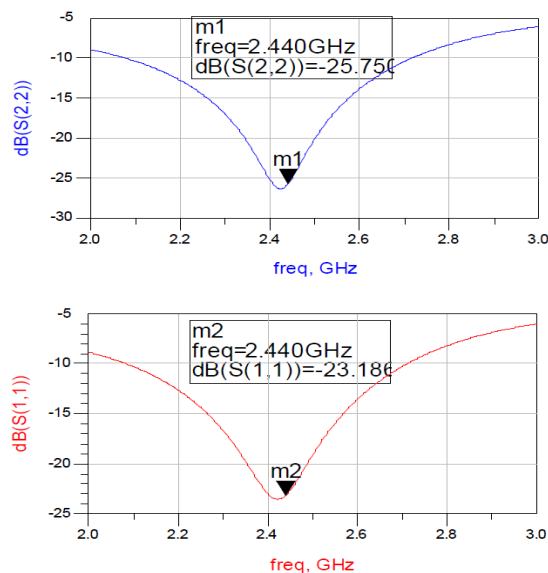
Ξανά τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά έχοντας μία καλή, απότομη ανταπόκριση στο S_{11} που έχει μέγιστη τιμή -69.511dB στα 2.44GHz , δείχνοντας μια καλή συνολική αντιστοιχία. Το σχέδιο μπορεί να προχωρήσει στο επόμενο στάδιο, στην μετατροπή των ιδανικών γραμμών σε φυσικές διαστάσεις. Μετά την ακόλουθη διαδικασία που περιγράφεται στον σχεδιασμό δικτύου αντιστοιχίας εισαγωγής το δίκτυο που παράγεται ως αποτέλεσμα μοιάζει ακριβώς με αυτό που φαίνεται παρακάτω (σχήμα 16.3).



Σχήμα 16.3 Σχεδιασμός δικτύου εξόδου, μετατροπή σε παραμέτρους microstrip

Η είσοδος φαίνεται παραπάνω στην αριστερή πλευρά ως με την σύνθετη αντίσταση εξαγωγής του τρανζίστορ. Προσομοιώνοντας την παραπάνω διαμόρφωση μπορεί να ελεγχθεί αν το σχέδιο (σχήμα 16.3) είναι κατάλληλο να καταφέρει ικανοποιητική αντιστοιχία.

Κάποια σύντομα σχόλια για τα αποτελέσματα (σχήμα 16.4) θα είναι αυτά στην τιμή του S_{11} και του S_{12} . Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση η τιμή του S_{11} είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή που λαμβάνεται όταν χρησιμοποιούνται οι ιδανικοί παράγοντες. Εδώ μία μικρή ατέλεια μπορεί να υπογραμμιστεί. Η κορυφή στο διάγραμμα S_{11} δεν εισάγεται στην επιθυμητή συχνότητα των 2.44GHz. Παρόλα αυτά η τιμή που αποκτάται υπόσχεται μια σχετικά καλή αντιστοιχία. Ο σχεδιασμός του S_{22} σε αυτήν την περίπτωση το επιβεβαιώνει (το S_{22} πρέπει να είναι λιγότερο από 10dB, όσο χαμηλότερο τόσο καλύτερα όπως και με το S_{11}). Έτσι το σχέδιο μπορεί να προχωρήσει στο επόμενο μέρος, τον έλεγχο του ολοκληρωμένου πρώτου σταδίου του ενισχυτή.[14][15]



Σχήμα 16.4. Αποτελέσματα προσομοίωσης για το σχεδιασμό δικτύου εξόδου(μη ιδανικοί παράγοντες)

16.3 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό ακολουθήσαμε την ίδια διαδικασία όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο με τη διαφορά ότι αυτή τη φορά κάναμε την προσομοίωση και πήραμε τα αποτελέσματα για το δίκτυο εξόδου. Τα αποτελέσματα που πήραμε και στο δίκτυο εξόδου είναι ικανοποιητικά με αποτέλεσμα να προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα που είναι ο έλεγχος του πρώτου σταδίου του ενισχυτή.

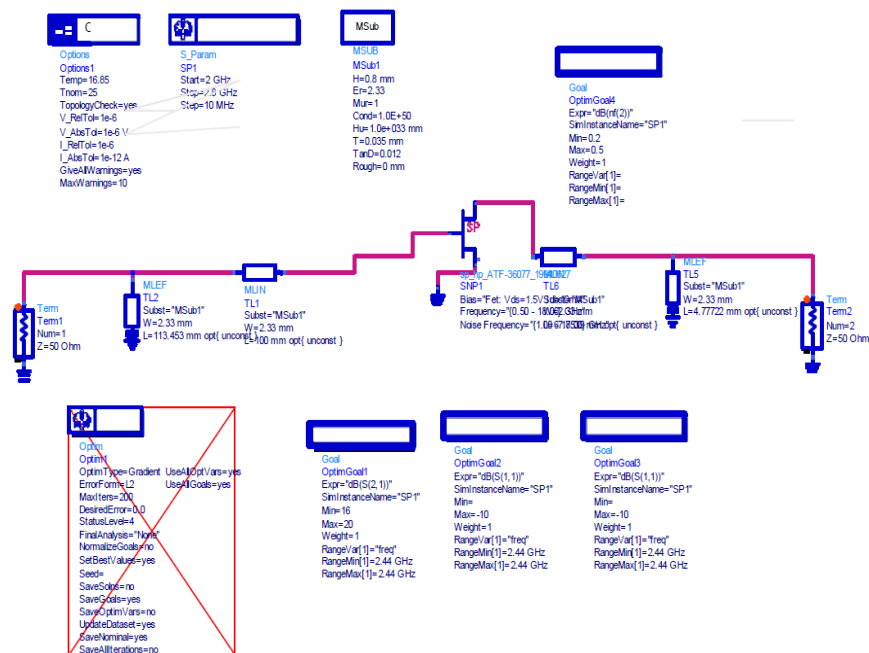
Κεφάλαιο 17ο: Έλεγχος πρώτου σταδίου ενισχυτή

17.1 Εισαγωγή

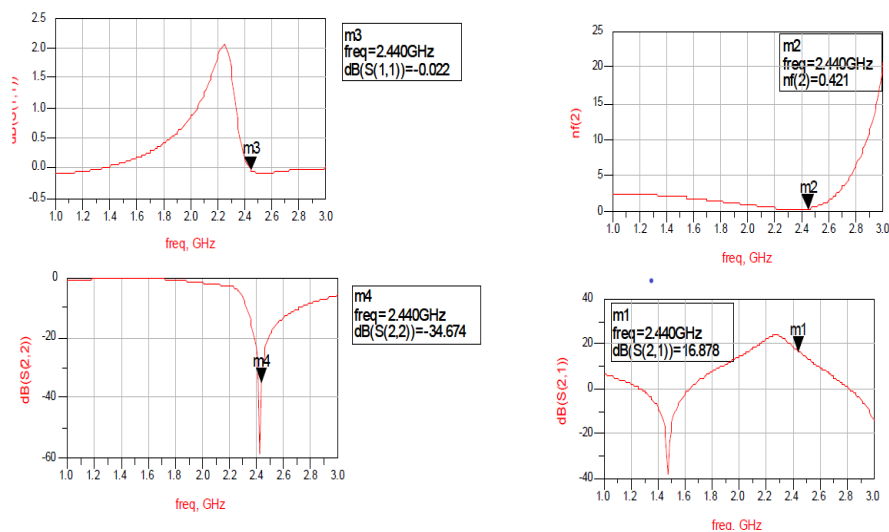
Σε αυτό το μέρος της εργασίας θα ελεγχθεί το πρώτο στάδιο του ενισχυτή. Τα δίκτυα εισόδου και εξόδου θα ενωθούν με την ανταποκρινόμενη εισαγωγή και εξαγωγή του ενισχυτή. Το δίκτυο τότε θα προσομοιωθεί όπως προηγουμένως. Το ακόλουθο κύκλωμα (σχήμα 17.1) δείχνει την συγκεκριμένη διαμόρφωση.

17.2 Δοκιμή πρώτου σταδίου

Όπως φαίνεται παραπάνω (σχήμα 17.1) ο ενισχυτής είναι τοποθετημένος ανάμεσα σε δύο γραμμές microstrip που θα παρέχουν την αντιστοιχία εισαγωγής και εξαγωγής. Οι αντιστάσεις εισαγωγής και εξαγωγής είναι και οι δύο 50Ω. Η προσομοίωση της παραπάνω τοπολογίας παράγει τα ακόλουθα αποτελέσματα (σχήμα 17.2).



Σχήμα 17.1 Πλήρης σχεδιασμός του πρώτου σταδίου του ενισχυτή



Σχήμα 17.2 Αποτελέσματα του πλήρη σχεδιασμού του πρώτου σταδίου του ενισχυτή

Τα αποτελέσματα (σχήμα 17.2) σε αυτό το σημείο σχεδιάστηκαν σε μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων απλώς για να φανεί πως οι διάφορες παράμετροι συμπεριφέρονται ανάλογα με τη συχνότητα. Το κύριο ενδιαφέρον είναι στη συνολική στάθμη θορύβου που επιτεύχθηκε ο οποίος έχει ονομαστική τιμή περίπου 0.421dB στα 2.44GHz. Αυτό είναι το κύριο μέλημα το πρώτου σταδίου. Αν η στάθμη θορύβου στο πρώτο στάδιο είναι κοντά στον απαιτούμενο, το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή μπορεί να αυξήσει το κέρδος σημαντικά χωρίς να επηρεάσει την συνολική στάθμη θορύβου. Παρόλο που η τιμή που επιτεύχθηκε δεν είναι καθόλου κακή, καθώς η τιμή που επιτεύχθηκε είναι 16.878dB, η μόνη μικρή ανησυχία εδώ είναι η τιμή του S_{11} που ακόμα είναι χαμηλή αλλά μπορεί να διορθωθεί όταν θα συνδεθεί το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή. Τα αποτελέσματα ήταν επίσης πολύ κοντά σε αυτά που αποκτήθηκαν όταν επιλέχθηκε το σημείο λειτουργίας του τρανζίστορ. Σε αυτό το στάδιο η στάθμη θορύβου υπολογίστηκε στα 0.4dB, μια πολύ καλή προσέγγιση. Έτσι γινόμαστε πιο αισιόδοξοι για ένα συνολικά καλό σχέδιο χαμηλού θορύβου.

17.3 Επίλογος

Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης του πρώτου σταδίου του ενισχυτή, κάναμε τον απαραίτητο έλεγχο με δοκιμή και πήραμε αποτελέσματα σχετικά με το πρώτο στάδιο, τα οποία είναι ενθαρρυντικά σχετικά με την στάθμη του θορύβου που μας ενδιέφερε περισσότερο στο συγκεκριμένο στάδιο.

Κεφάλαιο 18ο: Δίκτυο εισόδου δεύτερου σταδίου ενισχυτή

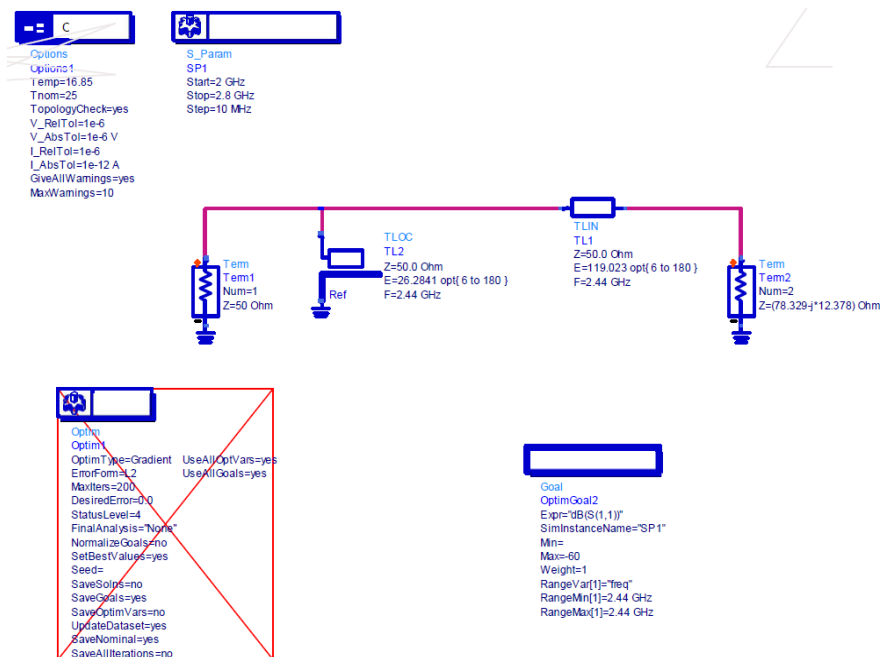
18.1 Εισαγωγή

Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα για τον δεύτερο ενισχυτή θα χρειαστεί διαφορετική φιλοσοφία σχεδιασμού. Το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή θα κατασκευαστεί κυρίως για να αυξήσει το συνολικό κέρδος ολόκληρου του δικτύου, αντί να πετύχει μια καλή στάθμη θορύβου, αφού δεν επηρεάζει σημαντικά την συνολική στάθμη θορύβου ολόκληρου του ενισχυτή.

18.2 Σχεδιασμός δικτύου εισόδου δεύτερου σταδίου ενισχυτή

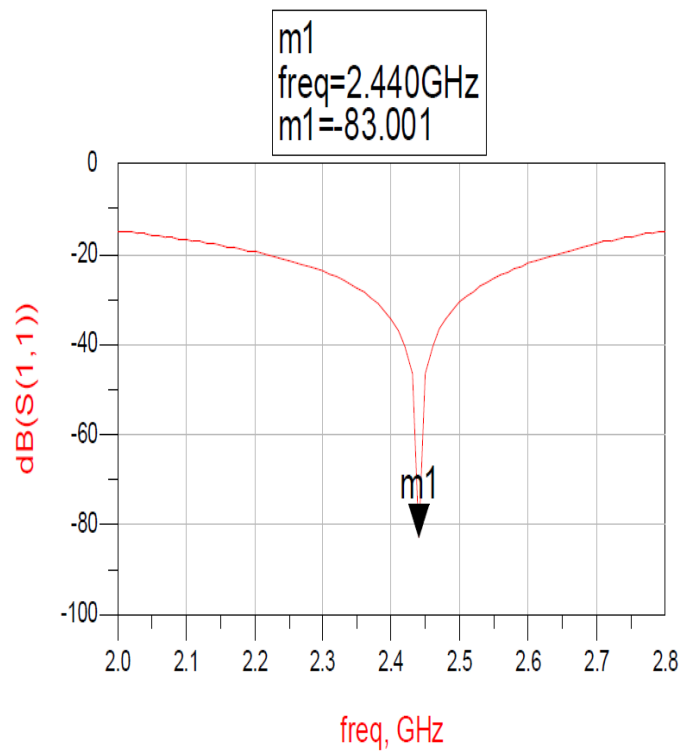
Η διαδικασία σχεδιασμού που θα ακολουθηθεί είναι ακριβώς όπως στα παραπάνω στάδια. Αρχικά χρησιμοποιώντας το Διάγραμμα Σμιθ θα καθοριστεί η διαμόρφωση του αντίστοιχου δικτύου, θα σχεδιαστεί χρησιμοποιώντας ιδανικούς παράγοντες και μετά θα αντικατασταθούν με γραμμές microstrip που θα υπολογιστούν όπως παραπάνω.

Αφού καθοριστεί η διαμόρφωση του δικτύου, το δίκτυο εισαγωγής για το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή θα έπρεπε να έχει την παρακάτω μορφή (σχήμα 18.1).



Σχήμα 18.1 Σχέδιο δικτύου εισόδου για το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή

Ένα σημαντικό σημείο για παρατήρηση είναι όπως και νωρίτερα οι τιμές των αντιστάσεων του παραπάνω δικτύου. Η αντίσταση εισόδου έχει ονομαστική τιμή 50Ω . Η αντίσταση εξόδου έχει την τιμή της αντίστασης της σύνθετης πύλης $\Gamma_S = 78.329 + j12.378$. Προσομοιώνοντας το παραπάνω δίκτυο, αποκτήθηκαν τα ακόλουθα αποτελέσματα (σχήμα 18.2).



Σχήμα 18.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης του δικτύου εισόδου του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή

Τα αποτελέσματα (σχήμα 18.2) είναι αρκετά ικανοποιητικά ώστε να προχωρήσουμε στην επόμενη φάση του σχεδιασμού. Η μετατροπή σε microstrip και ο έλεγχος δεν θα συμπεριληφθούν σε αυτό το μέρος του σχεδιασμού. Το συνολικό δίκτυο του ενισχυτή θα ελεγχθεί συμπεριλαμβανομένων των μηκών των γραμμών microstrip. Αν τα αποτελέσματα σε αυτό το στάδιο είναι αποδεκτά, ο σχεδιασμός θα συνεχιστεί κανονικά. Όπως φαίνεται στα προηγούμενα μέρη της παρουσίασης τα αποτελέσματα που χρησιμοποιούν τους ιδανικούς παράγοντες θα έχουν διαφορές σε σχέση με τα αποτελέσματα που χρησιμοποιούν τους μη-ιδανικούς παράγοντες, αλλά μπορούν να γίνουν μερικές γενικές παρατηρήσεις για την μη-ιδανική συμπεριφορά των παραγόντων.[14][15]

18.3 Επίλογος

Τελειώνοντας και το στάδιο προσομοίωσης του δικτύου εισόδου του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή, παίρνουμε επιθυμητά αποτελέσματα τα οποία μας επιτρέπουν να συνεχίσουμε παρακάτω στη σχεδίαση του δικτύου εξόδου του δεύτερου σταδίου.

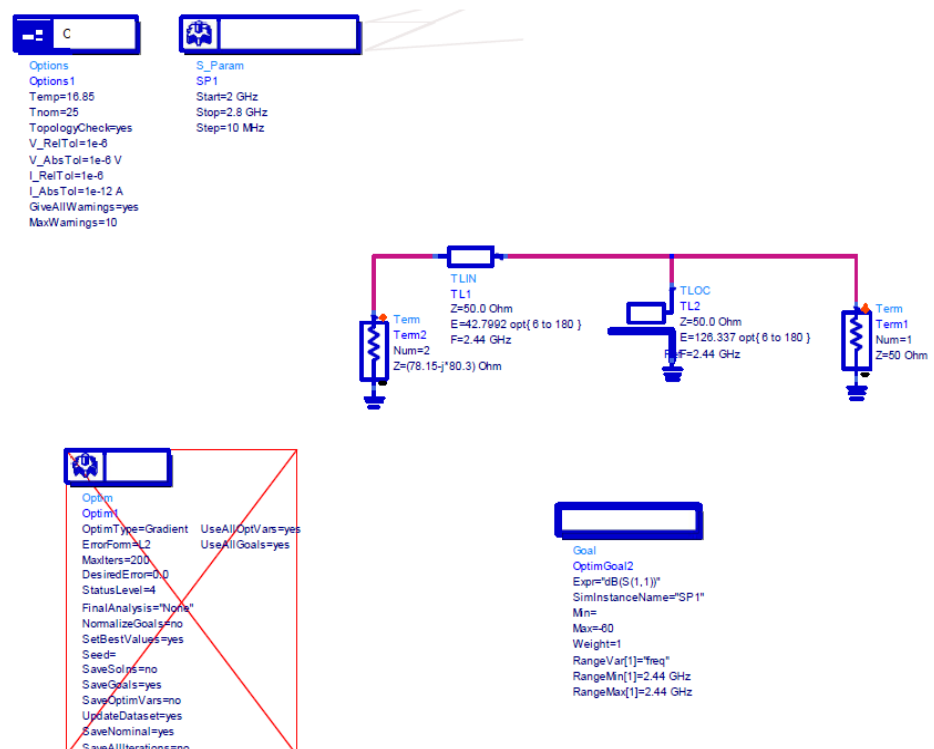
Κεφάλαιο 19ο: Δίκτυο εξόδου δεύτερου σταδίου ενισχυτή

19.1 Εισαγωγή

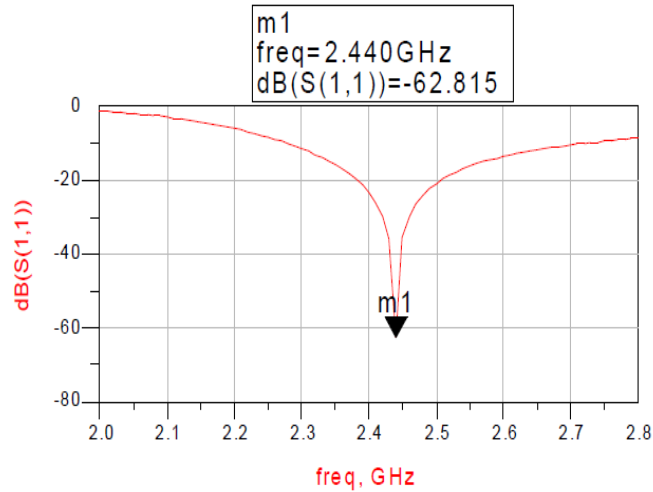
Στο σημείο αυτό του έργου θα συνεχίσουμε με το δίκτυο εξόδου του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή σχεδιάζοντας και προσομοιώνοντας με το ADS.

19.2 Σχεδιασμός του δικτύου εξόδου του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή

Το παρακάτω διάγραμμα (σχήμα 19.1) δείχνει ακριβώς την διαμόρφωση αυτού του δικτύου εξόδου, ακολουθώντας όπως και προηγούμενος την ίδια μεθοδολογία με το δίκτυο εισόδου. Ο σχεδιασμός και ο έλεγχος θα γίνουν όπως περιεγράφηκε νωρίτερα. Έτσι προσομοιώνοντας την παραπάνω διαμόρφωση, αποκτήθηκαν τα αποτελέσματα του ακόλουθου διαγράμματος (σχήμα 19.2).



Σχήμα 19.1 Σχέδιο δικτύου εξόδου για το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή



Σχήμα 19.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης του δικτύου εξόδου του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή

Το παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 19.2), όπως περιεγράφηκε αρκετές φορές πριν, δείχνει ότι το δίκτυο μπορεί να παρέχει πολύ καλή αντιστοιχία για το δεύτερο στάδιο του ενισχυτή.[14][15]

19.3 Επίλογος

Τέλος, ένα ενδιαφέρον σημείο για παρατήρηση είναι η τιμή της αντίστασης της εισόδου. Αν συγκριθεί αυτή η τιμή με αυτήν του δικτύου αντιστοιχίας εξόδου του πρώτου σταδίου ενισχυτή θα υπάρξει μεγάλη διαφορά. Αυτό οφείλεται στην επιλογή διαφορετικού σημείου λειτουργίας για το τρανζίστορ.

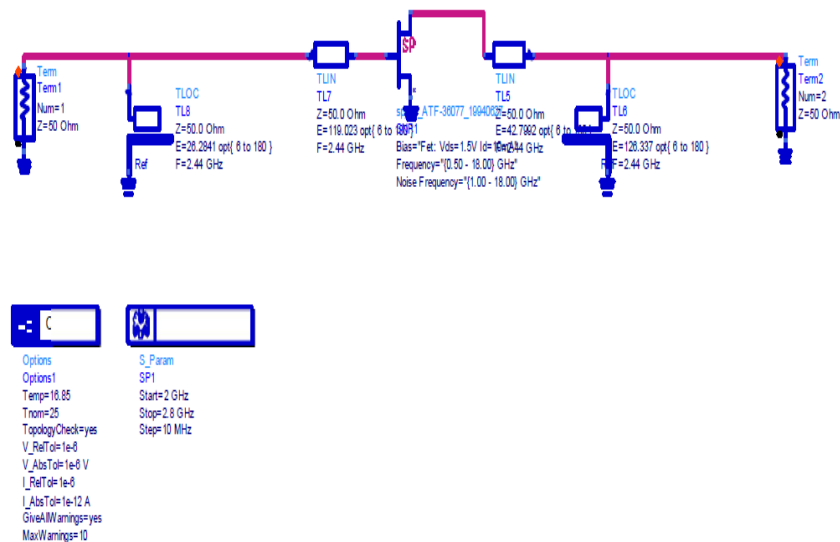
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 20ο: Έλεγχος δεύτερου σταδίου ενισχυτή

20.1 Εισαγωγή

Όπως έγινε στο πρώτο στάδιο, η προσομοίωση του ολοκληρωμένου ενισχυτή δεύτερου σταδίου πρέπει να γίνει και τώρα ώστε να διαπιστωθεί αν είναι κατάλληλο να χρησιμοποιηθεί ή όχι. Ξανά το κύκλωμα προσομοιώθηκε χρησιμοποιώντας ιδανικούς παράγοντες.

20.2 Δοκιμή δεύτερου σταδίου ενισχυτή

Το κύκλωμα αποτελείται από τον ATF 36077 ενισχυτή και τα ελεγμένα παραπάνω δίκτυα αντιστοιχίας εισόδου και εξόδου. Η ολοκληρωμένη μορφοποίηση φαίνεται στην επόμενη σελίδα και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης ακολουθούν στο παρακάτω κύκλωμα (σχήμα 20.1).

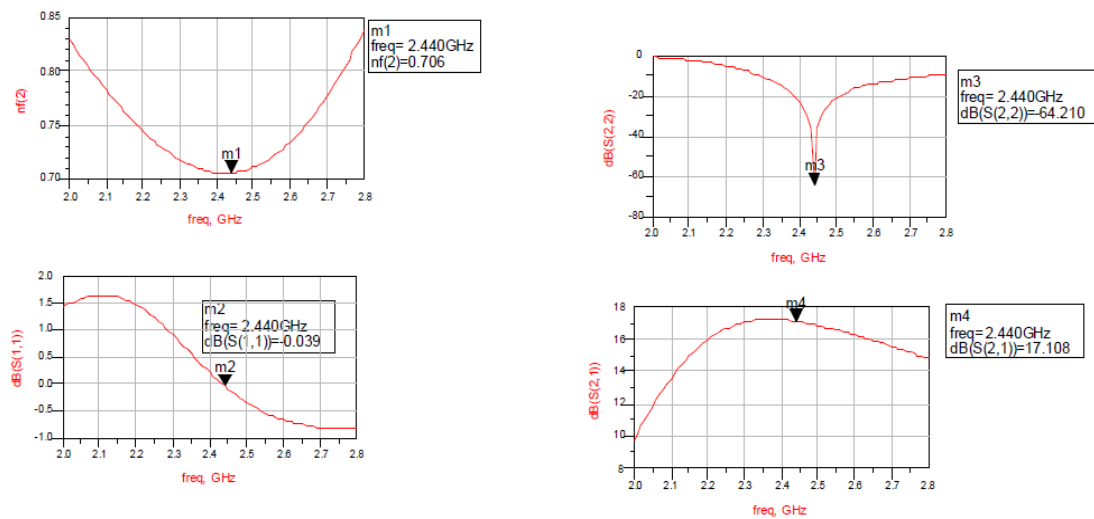


Σχήμα 20.1 Πλήρης σχεδιασμός του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή

Όπως φαίνεται παραπάνω στο κύκλωμα (σχήμα 20.1), οι σύνθετες αντιστάσεις εισόδου και εξόδου είναι 50Ω που είναι το ίδιο με το πρώτο στάδιο του ενισχυτή. Αυτό υπογραμμίζει ακόμη μία φορά ότι το κύκλωμα θα είναι αντιστοιχο στα 50Ω . Μετά την ολοκλήρωση της προσομοίωσης και την βελτιστοποίηση του παραπάνω δικτύου αποκτήθηκαν τα ακόλουθα αποτελέσματα (σχήμα 20.2).

Σε αυτό το στάδιο το κύριο ενδιαφέρον στρέφεται στο κέρδος και η αντιστοιχία που επιτεύχθηκε από αυτό το στάδιο. Αυτά αντιπροσωπεύονται από το S_{11} και το S_{21} αντίστοιχα. Οι αντίστοιχες τιμές για αυτά στην επιθυμητή συχνότητα 2.44GHz είναι -0.039dB για το S_{11} και 17.108dB για το S_{21} . Έτσι μία καλή τιμή για το κέρδος του δεύτερου σταδίου επιτυγχάνεται. Μόνο μία μικρή ανησυχία υπάρχει σε αυτό το σημείο με την τιμή του S_{11} . Όπως φαίνεται στο αντίστοιχο γράφημα παρακάτω, είναι αναμενόμενο για το S_{11} να έχει μία απότομη πτώση, έχοντας κορυφωθεί στα 2.44GHz όπως φαίνεται στις προηγούμενες περιπτώσεις. Προσομοιώνοντας και βελτιστοποιώντας το παραπάνω δίκτυο η ανταπόκριση της παραμέτρου S_{11} δεν άλλαξε πολύ. Ως αποτέλεσμα η καλύτερη ανταπόκριση που αποκτήθηκε είναι αυτή που παρουσιάζεται εδώ και θα κρατηθεί έτσι ώστε να συνεχιστεί το σχέδιο. Σε αντίθεση, η S_{22} δείχνει μία απότομη μείωση στο κέντρο της συχνότητας, έχοντας μία πολύ καλή ανταπόκριση και μια αρκετά χαμηλή τιμή στο εύρος ζώνης. Ο αριθμός θορύβου $\text{nf}(2)$ κρατιέται στο ελάχιστο έχοντας τιμή 0.706dB περίπου στη συχνότητα σχεδιασμού έχοντας μικρές διακυμάνσεις στο εύρος ζώνης. Αν ο υπολογισμός για τον αριθμό θορύβου και για το κέρδος πραγματοποιηθεί αποκτούνται οι παρακάτω τιμές.

- **Συνολικός αριθμός θορύβου:** 0.44dB
- **Συνολικό όφελος:** 33.9dB



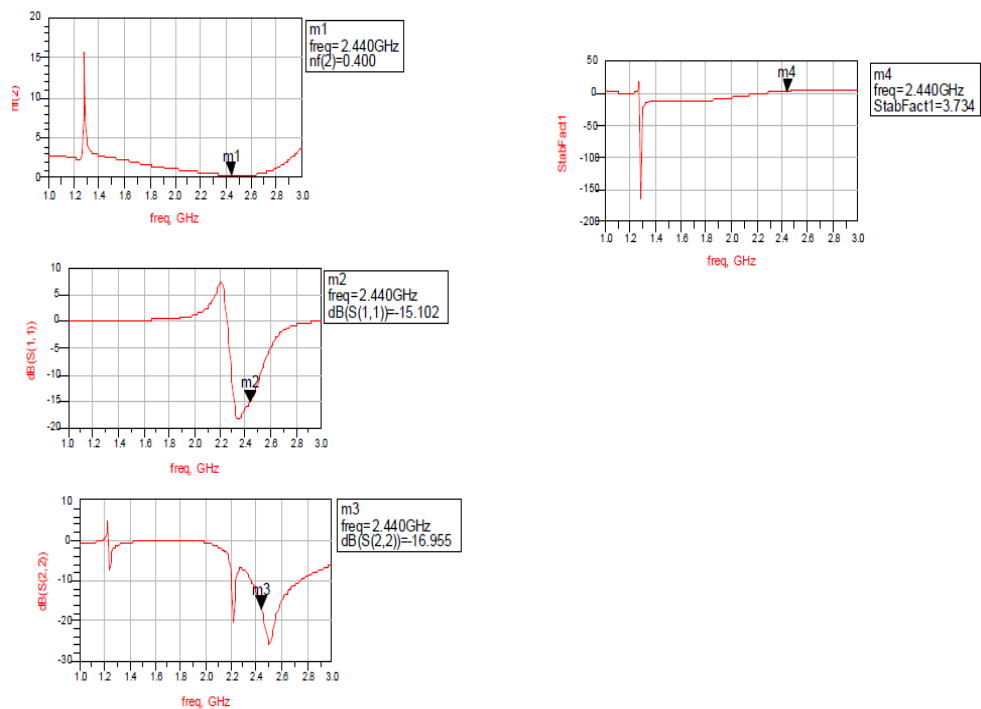
Σχήμα 20.2 Αποτελέσματα του πλήρη σχεδιασμού του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή

20.3 Επίλογος

Φτάνοντας στο τέλος και του δεύτερου σταδίου του ενισχυτή, κάναμε τις κατάλληλες δοκιμές, ώστε να πάρουμε καποιες τιμές για να δούμε αν μπορούμε μετα το δεύτερο στάδιο να συνεχίσουμε στην συνολικά ολοκληρωμένη δοκιμή του ενισχυτή. Συγκεκριμένα οι τιμές που μας ενδιέφεραν ήταν αυτές του κέρδους για τις οποίες τα αποτελέσματα συνολικά ήταν τα επιθυμητά στη συχνότητα 2.44GHz.

Στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 21.1) βρίσκεται η συνολική δοκιμή του κυκλώματος του ενισχυτή. Ο όρος συνολική αναφέρεται μόνο στην αλληλουχία των δύο σταδίων ενισχυτών που σχεδιάστηκαν και δοκιμάστηκαν χωρίτερα.

Όπως φαίνεται στο παραπάνω διάγραμμα (σχήμα 21.1) οι ενισχυτές τοποθετούνται σε αλληλουχία μεταξύ τους με αντιστάσεις 50Ω. Αυτό ενεργεί ως διασύνδεση για να ταιριάζουν τα δύο τρανζίστορ. Ακολουθώντας τη συνηθισμένη διαδικασία όπως παραπάνω, η προσομοίωση παράγει το ακόλουθο σετ διαγραμμάτων (σχήμα 21.2), που παρουσιάζονται παρακάτω.



Σχήμα 21.2 Αποτελέσματα προσομοίωσης πλήρη σχεδιασμού του ενισχυτή

Όπως ο ενισχυτής πρέπει σε κάθε περίπτωση να μην ταλαντεύεται, μία σημαντική παράμετρος είναι ο παράγοντας σταθερότητας k που πρέπει να ελεγχθεί σε αυτό το σημείο. Αυτό επιδεικνύεται στην δεξιά πλευρά του διαγράμματος (σχήμα 21.2) παραπάνω με όνομα **Stab Fact1**. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα (σχήμα 21.2) η τιμή του παράγοντα σταθερότητας είναι 3.734(>1). Έχει σχεδιαστεί, λοιπόν, μία καλά σταθεροποιημένη συσκευή. Η τιμή του παράγοντα σταθερότητας παραμένει αρκετά πάνω από ένα (1), αντιμετωπίζοντας μικρές διακυμάνσεις στο απαιτούμενο εύρος ζώνης.

Όσον αφορά τον συνολικό αριθμό θορύβου του δικτύου, ξανά όπως φαίνεται παραπάνω στον σχεδιασμό nf(2), διατηρείται στο ελάχιστο επίπεδο. Έχοντας μια σχετικά σταθερή μεταβλητή με συχνότητα επιτυγχάνεται μία μέτρια ονομαστική τιμή των 0.4dB. Έτσι ένας ενισχυτής χαμηλού θορύβου έχει κατασκευαστεί. Τα μέτρα για την αντιστοίχιση εισόδου και εξόδου μπορούν να θεωρηθούν ικανοποιητικά σε αυτό το στάδιο. Αυτή η τιμή είναι παρόμοια σε σχέση με αυτήν που υπολογίστηκε σε προηγούμενο μέρος της παρουσίασης. Παρόλο που δεν είναι τόσο ιδανικά όσο τα αναμενόμενα τα S11 και S22 μένουν αρκετά χαμηλότερα από τα -10dB που προαναφέρθηκε ως καλή τιμή) το οποίο δηλώνει μία αρκετά καλή αντιστοίχιση.

21.3 Επίλογος

Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε από τη δοκιμή του ολοκληρωμένου σχεδίου του ενισχυτή είναι ικανοποιητικά με τον παράγοντα σταθερότητας " k " να έχει αρκετά μεγαλύτερη τιμή από 1 και τον αριθμό θορύβου να παραμένει σε χαμηλές τιμές. Το κέρδος της συσκευής δεν περιλαμβάνεται σε αυτό το στάδιο, αλλά θα συμπεριληφθεί στο επόμενο μέρος

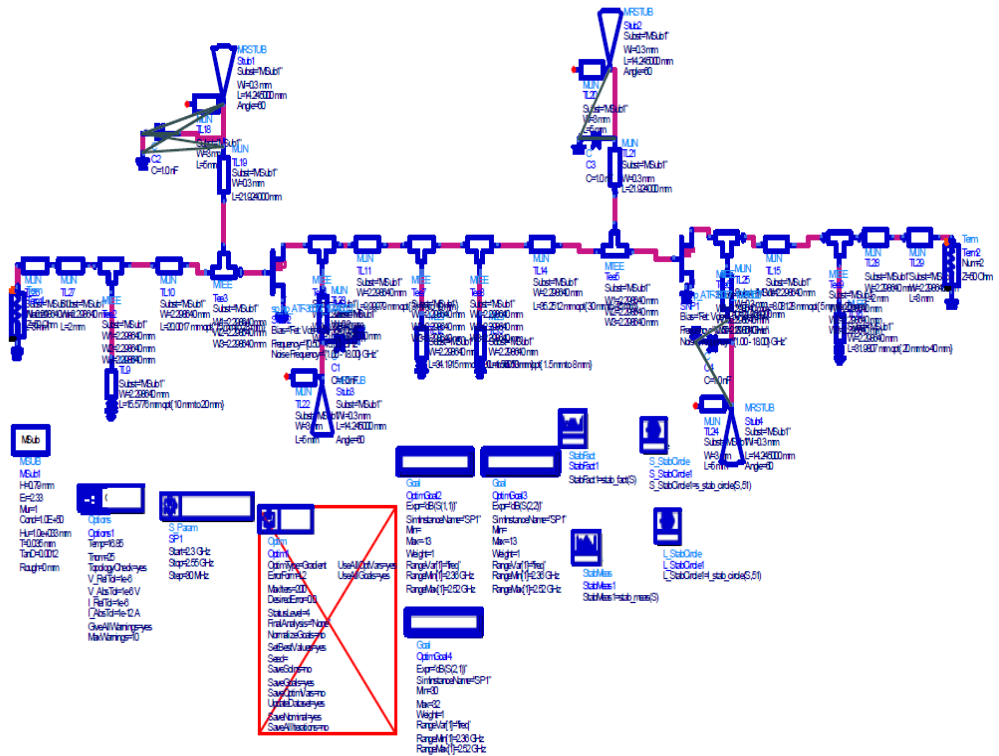
Κεφάλαιο 22ο: Το ολοκληρωμένο σχήμα του ενισχυτή

22.1 Εισαγωγή

Αυτό το μέρος της εργασίας πραγματεύεται το τροποποιημένο κύκλωμα που θα χρησιμοποιηθεί ως τελικό σχέδιο για τον ενισχυτή χαμηλού θορύβου.

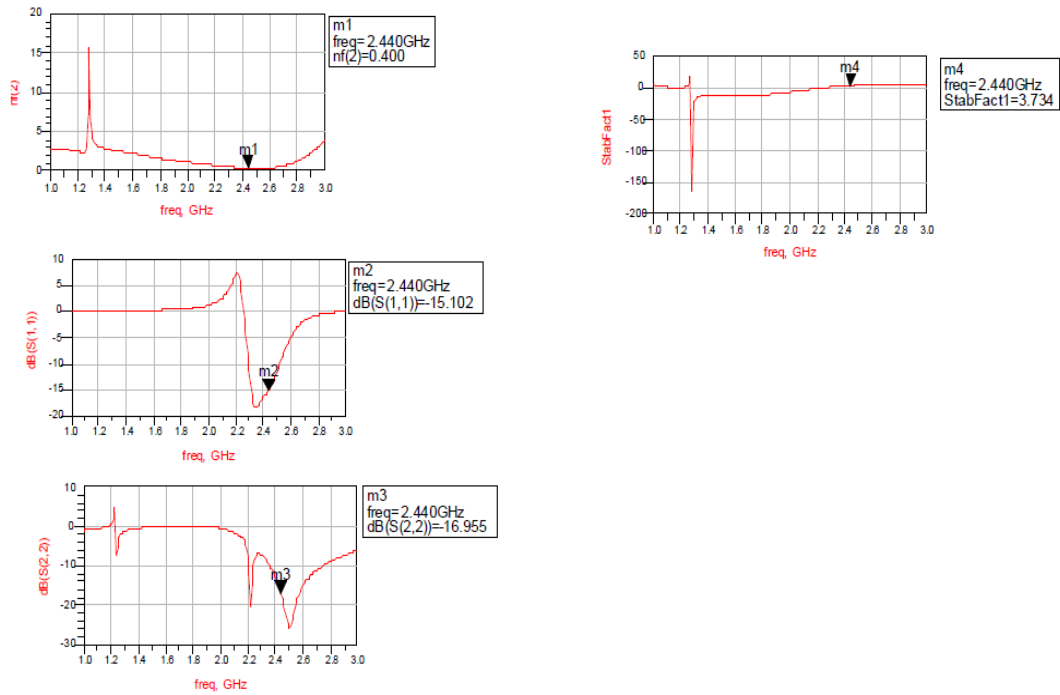
22.2 Παρατηρήσεις και αποτελέσματα του ολοκληρωμένου κυκλώματος

Κοιτώντας προσεκτικά το κύκλωμα (σχήμα 22.1) κάποιος μπορεί να παρατηρήσει τις αλλαγές που έχουν γίνει σε σύγκριση με το κύκλωμα που εξετάστηκε νωρίτερα. Ένα μεγαλύτερο και πιο λεπτομερές σχήμα ενισχυτή παρουσιάζεται στο παράρτημα της έκθεσης. Η πρώτη διαφορά που μπορεί να παρατηρηθεί (συγκρίνοντας πάντα με το ολοκληρωμένο κύκλωμα ενισχυτή νωρίτερα) είναι ότι όλες οι ιδανικές παράμετροι γραμμών microstrip που έχουν μετατραπεί σε φυσικές διαστάσεις χρησιμοποιώντας την μεθοδολογία που περιγράφεται νωρίτερα σε ένα σημείο του σχεδίου. Περαιτέρω έχουν τοποθετηθεί πολλές διασταυρώσεις MTEE. Αυτές είναι απλώς γραμμές microstrip που έχουν τρεις φυσικές διαστάσεις και χρησιμοποιούνται για να συνδεθούν δύο ή παραπάνω συνιστώσες. Οι ακριβείς διαστάσεις αυτών των γραμμών υπολογίστηκαν και βελτιστοποιήθηκαν, χρησιμοποιώντας την λειτουργία βελτιστοποίησης που παρέχεται από το λογισμικό, έτσι ώστε να ανταποκρίνονται στις ανάγκες του σχεδίου. Τα έξτρα τμήματα που τοποθετήθηκαν κάθετα πάνω στην είσοδο και στην έξοδο του τρανζίστορ έχουν επίσης προστεθεί στο δίκτυο. Για να είναι βέβαιη η σωστή λειτουργία του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκαν τα φίλτρα RF. Οι ανοικτές πύλες του κυκλώματος θα χρησιμοποιηθούν για την πηγή ρεύματος του κυκλώματος.



Σχήμα 22.1 Πλήρης σχηματικό του ενισχυτή

Η προσομοίωση της συσκευής οδηγεί στα αποτελέσματα του παρακάτω διαγράμματος (σχήμα 22.2). Όπως φαίνεται καθαρά από το διάγραμμα(σχήμα 22.1) το σχέδιο μπορεί να θεωρηθεί επιτυχές. Το πρώτο πράγμα που πρέπει να ελεγχθεί είναι η σταθερότητα του δικτύου. Έχοντας τιμή 5.160 στα 2.44GHz ο παράγοντας σταθερότητας K υποδηλώνει ένα πιο σταθερό σχέδιο. Αφού ξεπεραστεί το πρόβλημα της σταθερότητας όλα τα άλλα μπορούν να βελτιωθούν μέσα σε κάποια όρια. Όσον αφορά το κέρδος μπορεί να αποκτηθεί ένα πολύ καλό αποτέλεσμα για τον ενισχυτή υποδηλώνοντας ένα συνολικό κέρδος κοντά στα 32dB έχοντας μία μικρή διακύμανση σε ολόκληρο το εύρος της συχνότητας. Ως ενισχυτής χαμηλού θορύβου, ο αριθμός θορύβου του σχεδίου κρατήθηκε στα 0.44dB όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα (σχήμα 22.2) , οπότε ο προσδιορισμός τηρείται. Όσον αφορά τις αντίστοιχες τιμές εισόδου και εξόδου κρατήθηκαν και οι δύο κάτω από -10 dB έχοντας τιμή -12.805dB και -15.246 αντίστοιχα. Αυτά μας παραπέμπει στο γεγονός ότι ο ενισχυτής μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθεί ως μέρος ενός μεγαλύτερου δικτύου (πχ. Δέκτη).



Σχήμα 22.2 Αποτελέσματα πλήρης προσομοίωσης σχεδιασμού του ενισχυτή

Επίλογος 22.3

Έτσι λοιπόν φτάσαμε στο τέλος της προσομοίωσης του σχεδίου του ενισχυτή χαμηλού θορύβου με το λογισμικό παίρνοντας επιθυμητά αποτελέσματα για τη σταθερότητα για τον αριθμό θορύβου και για το κέρδος του ενισχυτή.

Κεφάλαιο 23ο: Προτάσεις βελτίωσης

Όπως όλοι γνωρίζουμε σε όλες τις εργασίες υπάρχει πάντα η δυνατότητα βελτίωσης ώστε να έχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Μία βελτίωση του παρόντος έργου θα ήταν να δουλέψουμε σε μεγαλύτερο εύρος ζώνης, διατηρώντας παράλληλα τη στάθμη του κέδους και τη στάθμη του θορύβου σε επιθυμητά επίπεδα. Τέλος, θα ήταν αρκετά χρήσιμο σε κάποιον ο οποίος θέλει να κατασκευάσει έναν ενισχυτή χαμηλού θορύβου να προσπαθήσει να τον κατασκευάσει σε όσο το δυνατόν μικρότερη διάσταση με τα καταλληλότερα υλικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

- [1] Guillermo Gonzalez, “Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design“, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc., 1984
- [2] Guillermo Gonzalez, “Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design“, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, Inc., 1997
- [5] D.M. Pozar Microwave engineering, John Wiley & sons, 2009
- [6] S. Voinigescu, High Frequency Integrated Circuits, Cambridge University Press 2013
- [9] Π. Παπαβραμίδου & Δ. Παπακώστας, Ηλεκτρονικές εξερευνήσεις, Εκδόσεις Τζιολα, 2009
- [10] Chris Bowick, “RF Circuit Design“, Indianapolis, Newens Publications, 1982
- [12] E. da Silva, “High Frequency and Microwave Engineering“, First Edition, Butterworth Heinemann, 2001
- [14] Terry Edwards, “Foundations of Microstrip Circuit Design“, Second Edition, John Wiley and sons, 1992, ISBN 0-471-93062-8
- [15] Terry Edwards, “Foundations of Microstrip Circuit Design“, Second Edition, John Wiley and sons, 1992

Application Note

[3] "S-Parameter Design", Application Note #154, Hewlett-Packard Co., Palo Alto, A, April, 1972

[8] Roy Hejhall, "Small Signal Design Using Two-Port Parameters" Application Note #215A, Motorola Semiconductor Sector, Phoenix, AZ

Data Sheet

[11] Data sheet for ATF36077, Agilent technologies semiconductor product

Internet Site

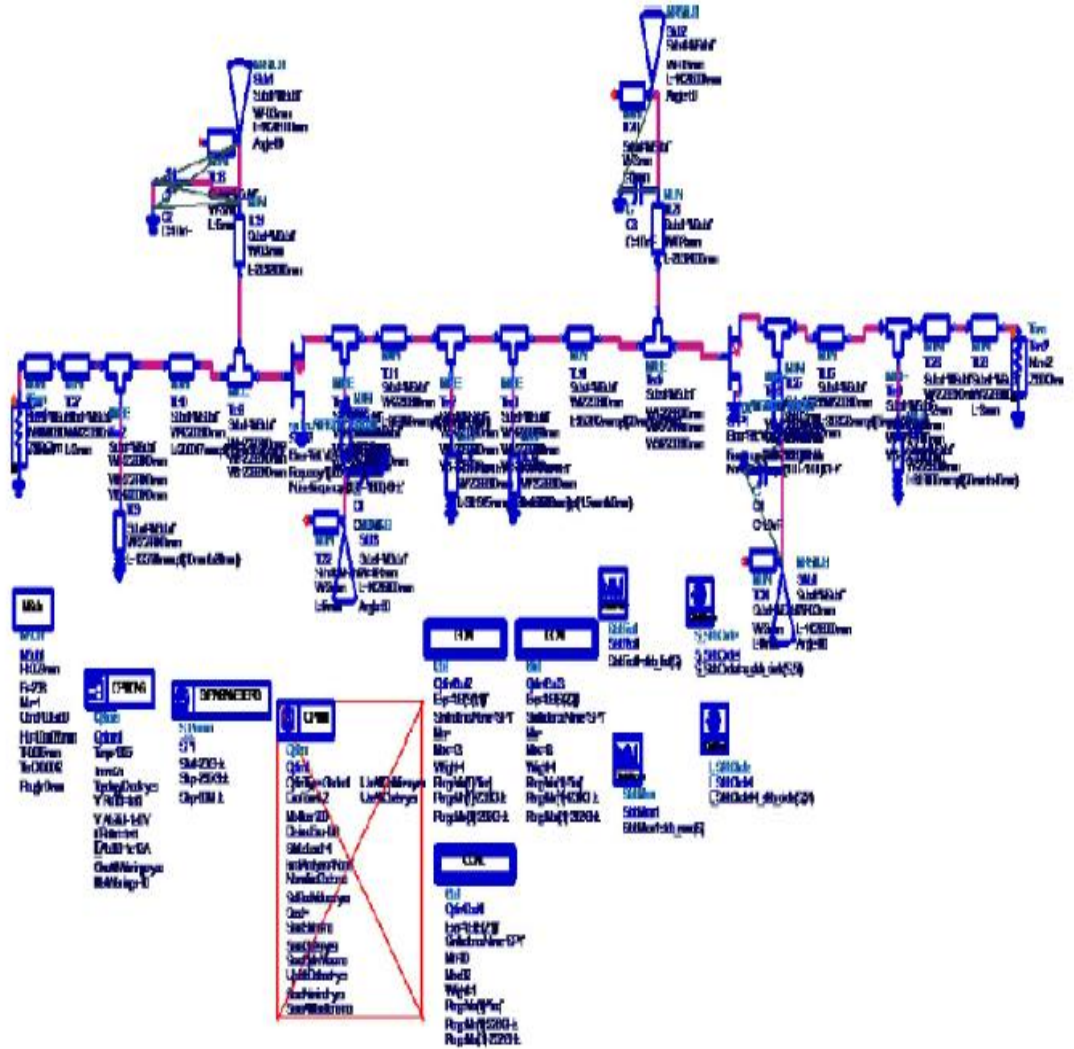
Journal Articles

[4] Jon B. Hagen, "Radio Frequency Electronics", New York NY: Cambridge University Press, 1996

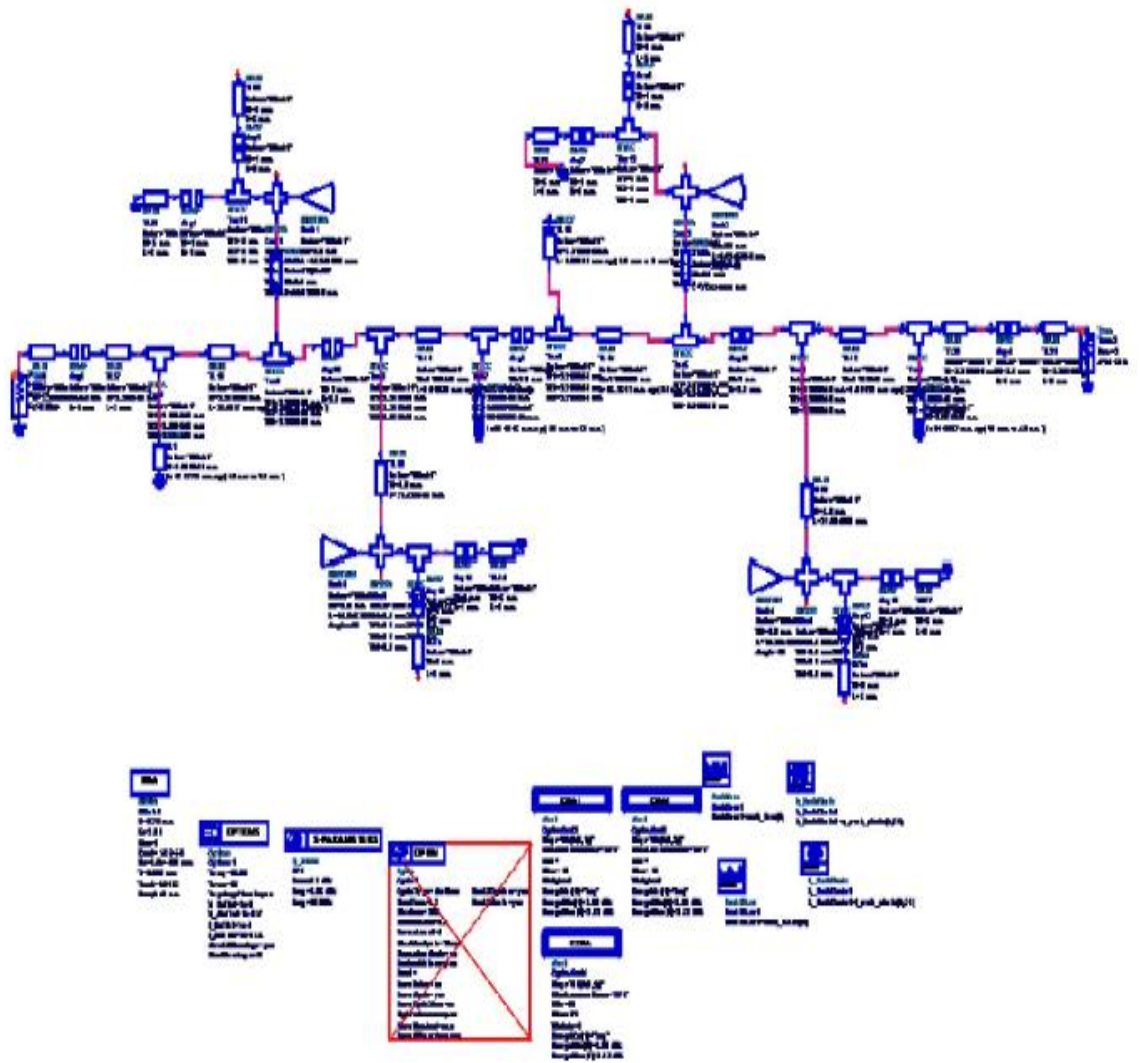
[7] Paul Horowitz, Winfield Hill, "Art of Electronics", Cambridge University Press, Second Edition.

[13] . I.D. Robertson, "MMIC Design", IEE 1995, ISBN 0-85296-816-7

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΣΧΕΔΙΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ



Σχέδιο 1. Πλήρης σχεδιασμός ενισχυτή δύο σταδίων



Σχέδιο 2. Τροποποιήσεις του αρχικού κυκλώματος

Οδηγός χρήσης λογισμικού ADS

ADS-Advanced System Design Software-Tutorials and Help files