



# **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**09197ΥΣ**

## **Σχεδίαση-Κατασκευή-Μέτρηση γραμμικού ενισχυτή UHF**

Με εφαρμογή στην τηλεόραση, αναλογική-ψηφιακή.

**ΦΟΙΤΗΤΗΣ:**

**ΓΙΑΝΤΣΙΟΣ ΚΩΝ/ΝΟΣ (502606)**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**

**ΛΑΖΑΡΙΔΗΣ ΠΑΥΛΟΣ**



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

...Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Λαζαρίδη Πάυλο για την πολύτιμη συμβολή και καθοδήγησή του στην διενέργεια της ακόλουθης πτυχιακής εργασίας, από την ανάληψή της στις 22/09/2009 έως την ολοκλήρωσή της στις 03/06/2010

Επίσης, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένεια μου που με στήριξε καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου καθώς και στους φίλους και συμφοιτητές μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το κεντρικό θέμα είναι η μελέτη, η σχεδίαση, η κατασκευή και η μέτρηση ενός ενισχυτή ο οποίος να λειτουργεί σε τάξη Α και να αποτελείται από μια βαθμίδα ενίσχυσης, η οποία να συνδυάζει αρκετά από τα πλεονεκτήματα, αναφορικά με τη λειτουργία του ενισχυτή, μιας κατασκευής με πολλές ενισχυτικές βαθμίδες.

Για τη μελέτη ενός τέτοιου ενισχυτή χρειάστηκε να προσομοιωθούν, να κατασκευαστούν και να μετρηθούν διάφοροι τύποι τρανζίστορ και κυκλωματικών διατάξεων ώστε να επιλεγθεί τελικά η μορφή που θα έχει το κύκλωμα για να αποδίδει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, καθώς και ο τύπος του τρανζίστορ που θα χρησιμοποιηθεί για να ανταποκρίνεται στις ανάγκες των εφαρμογών για τις οποίες σχεδιάστηκε,

Επιπλέον, για τη σχεδίαση ενός τέτοιου ενισχυτή, με ικανοποιητική απόδοση σε συχνότητες UHF, θα πρέπει να λάβουμε υπόψη κάποιες σημαντικές παραμέτρους ώστε το κύκλωμα να λειτουργεί σωστά και να μειώσουμε την πιθανότητα να επηρεάζεται από εξωτερικές πηγές σημάτων, από παρασιτικές χωρητικότητες των υλικών κατασκευής και ενδεχόμενους συντονισμούς των εξαρτημάτων. Έτσι υποδεικνύονται κάποιοι τρόποι για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων και τη βελτιστοποίηση της απόκρισης του ενισχυτή ώστε να ανταποκρίνεται ομαλά στις ιδιαιτερότητες των υψηλών συχνοτήτων.

Τέλος εξηγείται η διαδικασία κατασκευής και παρουσιάζεται η λειτουργία του κυκλώματος με ενδεικτικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις που έγιναν με τον αναλυτή φάσματος.

## SUMMARY

The main issue of this project is the study, the design, the construction and the measurement of an amplifier which can operate in class A. This amplifier, even if it is composed of only one amplification level, combines many advantages concerning the operation of an amplifier and it turns to be a construction with many amplification levels.

For the study of this amplifier, various types of transistors and layouts circuits were needed to be simulated, constructed & measured, so as the final form of the circuit to be provided, having the best possible results. Furthermore, the type of transistor that would be used was also set, in order to satisfy the needs for which had initially been designed.

Moreover, in order to design such an amplifier, as the one described above, and having satisfying output in UHF frequencies , some basic and significant parameters should be taken into consideration , so as the circuit may operate correctly. That should be done in order to reduce the possibilities for the circuit, to be affected by external sources of signals, parasitic capacities of construction materials and possible tunes of construction parts. In order to avoid this kind of cases and to succeed in the development of output of the amplifier, so as to smoothly correspond to the specialness of radio frequency signals, a variety of methods is suggested.

Finally, the process of the construction of the amplifier is also clearly described. In addition to this, the operation of the circuit is presented, by showing some indicating results which come up from the measurements that took place by spectrum analyzer.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>2</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>3</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>4</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....</b>	<b>5</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....</b>	<b>7</b>
1.1 ΚΑΝΑΛΙΑ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	7
1.2 ΔΙΑΔΟΣΗ ΥΨΗΣΥΧΝΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ.....	9
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΗΛΕΟΠΤΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>11</b>
2.1 ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ:ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ.....	11
2.2 ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗΣ.....	12
2.3 ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗΣ.....	14
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ.....</b>	<b>17</b>
3.1 ΑΠΛΑ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ.....	18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4:ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....</b>	<b>21</b>
4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΟΥ “RFSIM99”.....	22
4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ.....	26
4.3 ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ.....	29
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΒΑΘΜΙΔΩΝ....</b>	<b>30</b>
5.1 BF199.....	30
5.2 BFR96S.....	35
5.3 BFG135.....	40

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ.....</b>	<b>45</b>
6.1 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ.....	46
6.2 ΣΧΕΔΙΑΣΗ PCB.....	48
6.3 ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΔΙΑΦΑΝΕΙΑΣ.....	49
6.6 ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΥΠΕΡΙΩΔΕΣ ΦΩΤΙΣΜΟ.....	50
6.4 ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΧΑΛΚΩΣΗ.....	51
6.5 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ.....	53
6.7 ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΑΛΥΤΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ.....	54
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΒΕΛΤΙΣΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>55</b>
7.1 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.....	56
7.2 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.....	57
7.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕ ΤΟΝ ΑΝΑΛΥΤΗ ΦΑΣΜΑΤΟΣ.....	58
7.5 ΜΕΤΑΛΙΚΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗ ΠΛΑΚΕΤΑΣ.....	59
7.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΡΗΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗ ΘΩΡΑΚΙΣΗ.....	60
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>62</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>63</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα περιλαμβάνει ηλεκτρομαγνητικά κύματα από συχνότητες  $10^5$  Hz έως  $10^{19}$  Hz. Παρόλα αυτά η μετάδοση της πληροφορίας γίνεται σε ένα πολύ μικρότερο φάσμα συχνοτήτων. Οι συχνότητες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σύμφωνα με το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται:

- 1 GHz – 300 GHz (κυματοδηγοί, ραδιοζεύξεις)
- 500 KHz – 1GHz (ομοαξονικά καλώδια, ραδιοζεύξεις)
- 0.3KHz – 500KHz (γραμμές μεταφοράς)

### 1.1 Κανάλια τηλεοπτικής επίγειας μετάδοσης

TV bands	Channel No	Frequency Range MHz	Center Frequency MHz	Picture carrier fp MHz	Sound carrier fs MHz	Color carrier MHz	Frequency oscillator Fosc. MHz	Image frequency MHz
I VHF-L	2	47...54	50,5	48,25	53,75	52,68	87,15	126,05
	3	54...61	57,5	55,25	60,75	59,68	94,15	133,05
	4	61...68	64,5	62,25	67,75	66,68	101,15	140,05
III VHF-H	5	174...181	177,5	175,25	180,75	179,68	214,15	253,05
	6	181...188	184,5	182,25	187,75	186,68	221,15	260,05
	7	188...195	191,5	189,25	194,75	193,68	288,15	267,05
	8	195...202	198,5	196,25	201,75	200,68	235,15	274,05
	9	202...209	205,5	203,25	208,75	207,68	242,15	281,05
	10	209...216	212,5	210,25	215,75	214,68	249,15	288,05
	11	216...223	219,5	217,25	222,75	221,68	256,15	295,05
12	223...230	226,5	224,25	229,75	228,68	263,15	302,05	



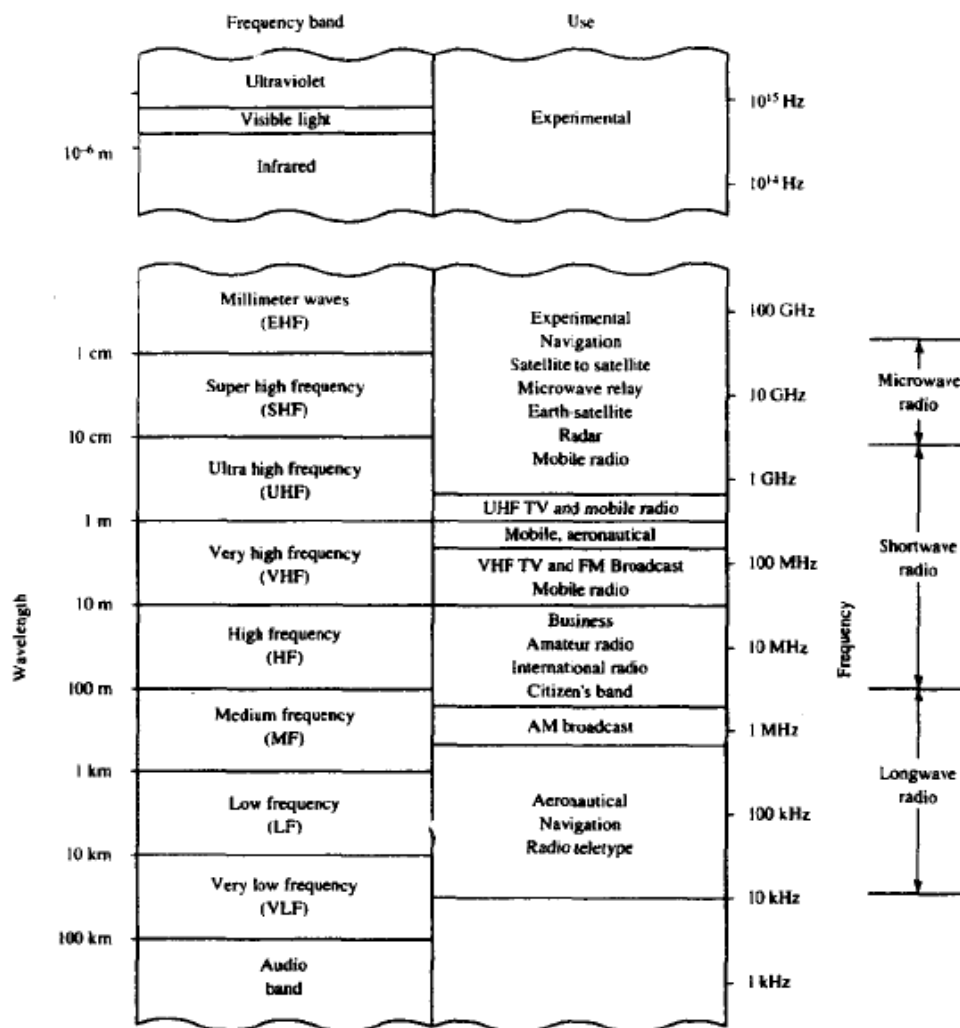
**IV-V  
UHF**

21	470...478	474	471,25	476,75	475,68	510,15	549,05
22	478...486	482	479,25	484,75	483,68	518,15	557,05
23	486...494	490	487,25	492,75	491,68	526,15	565,05
24	494...502	498	495,25	500,75	499,68	534,15	573,05
25	502...510	506	503,25	508,75	507,68	542,15	581,05
26	510...518	514	511,25	516,75	515,68	550,15	589,05
27	518...526	522	519,25	524,75	523,68	558,15	597,05
28	526...534	530	527,25	532,75	531,68	566,15	605,05
29	534...542	538	535,25	540,75	539,68	574,15	613,05
30	542...550	546	543,25	548,75	547,68	582,15	621,05
31	550...558	554	551,25	556,75	555,68	590,15	629,05
32	558...566	562	559,25	564,75	563,68	598,15	637,05
33	566...574	570	567,25	572,75	571,68	606,15	645,05
34	574...582	578	575,25	580,75	579,68	614,15	653,05
35	582...590	586	583,25	588,75	587,68	622,15	661,05
36	590...598	594	591,25	596,75	595,68	630,15	669,05
37	598...606	602	599,25	604,75	603,68	638,15	677,05
38	606...614	610	607,25	612,75	611,68	646,15	685,05
39	614...622	618	615,25	620,75	619,68	654,15	693,05
40	622...630	626	623,25	628,75	627,68	662,15	701,05
41	630...638	634	631,25	636,75	635,68	670,15	709,05
42	638...646	642	639,25	644,75	643,68	678,15	717,05
43	646...654	650	647,25	652,75	651,68	686,15	725,05
44	654...662	658	655,25	660,75	659,68	694,15	733,05
45	662...670	666	663,25	668,75	667,68	702,15	741,05
46	670...678	674	671,25	676,75	675,68	710,15	749,05
47	678...686	682	679,25	684,75	683,68	718,15	757,05
48	686...694	690	687,25	692,75	691,68	726,15	765,05
49	694...702	698	695,25	700,75	699,68	734,15	773,05
50	702...710	706	703,25	708,75	707,68	742,15	781,05
51	710...718	714	711,25	716,75	715,68	750,15	789,05
52	718...726	722	719,25	724,75	723,68	758,15	797,05
53	726...734	730	727,25	732,75	731,68	766,15	805,05
54	734...742	738	735,25	740,75	739,68	774,15	813,05
55	742...750	746	743,25	748,75	747,68	782,15	821,05
56	750...758	754	751,25	756,75	755,68	790,15	829,05
57	758...766	762	759,25	764,75	763,68	798,15	837,05
58	766...774	770	767,25	772,75	771,68	806,15	845,05
59	774...782	778	775,25	780,75	779,68	814,15	853,05
60	782...790	786	783,25	788,75	787,68	822,15	861,05
61	790...798	794	791,25	796,75	795,68	830,15	869,05
62	798...806	802	799,25	804,75	803,68	838,15	877,05
63	806...814	810	807,25	812,75	811,68	846,15	885,05
64	814...822	818	815,25	820,75	819,68	854,15	893,05
65	822...830	826	823,25	828,75	827,68	862,15	901,05
66	830...838	834	831,25	836,75	835,68	870,15	909,05
67	838...846	842	839,25	844,75	843,68	878,15	917,05
68	846...854	850	847,25	852,75	851,68	886,15	925,05
69	854...862	858	855,25	860,75	859,68	894,15	933,05

## 1.2 Διάδοση υψηλών σημάτων

Η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος συνδέεται με το μήκος κύματος μέσω της σχέσης  $c = \lambda f$ , όπου  $c$  η ταχύτητα του φωτός

Οι συχνότητες για τα ασύρματα ηλεκτρομαγνητικά κανάλια υπόκεινται στο περιορισμό του μήκους της κεραίας που πρέπει να είναι τουλάχιστον μεγαλύτερη από το 1/10 του μήκους κύματος λειτουργίας για αποτελεσματική μετάδοση. Έτσι το φάσμα συχνοτήτων των ασύρματων επικοινωνιών περιλαμβάνει συχνότητες από 10 KHz έως 100 GHz. Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα της ασύρματης μετάδοσης και τα εύρη συχνοτήτων λειτουργίας τους.



Εύρη συχνοτήτων για ασύρματα ηλεκτρομαγνητικά κανάλια

Στη παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε με την ενίσχυση τηλεπικοινωνιακών σημάτων στις περιοχές των VHF και UHF συχνοτήτων. Παρακάτω θα εστιάσουμε την προσοχή μας στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των περιοχών αυτών.

Οι UHF (ultra high frequency) αρχίζουν από τα 300 MHz και καταλήγουν στα 3000 MHz (Μήκος κύματος: 1m έως 100mm). Οι VHF (very high frequency) περιορίζονται ανάμεσα στα 30 MHz και στα 300MHz (Μήκος κύματος: 1m έως 10m)

Οι συχνότητες που ανήκουν στις VHF και UHF περιοχές του φάσματος, όταν διαδίδονται διαμέσου της ιονόσφαιρας, εμφανίζουν σχετικά μικρή απώλεια ισχύος. Καθώς η ιονόσφαιρα δεν ανακλά τα VHF και UHF ραδιοκύματα, η μετάδοση περιορίζεται τοπικά και αποτρέπεται η παρεμβολή σημάτων άλλων απομακρυσμένων μεταδόσεων. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται ευρέως στις δορυφορικές επικοινωνίες.

Ο κυρίαρχος τρόπος ηλεκτρομαγνητικής διάδοσης είναι η διάδοση με απευθείας οπτική επαφή ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη (line-of-sight propagation).

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό αυτών των περιοχών του φάσματος είναι η πολύ μεγάλη ακτίνα διάδοσης εξαιτίας του φαινομένου της τροποσφαιρικής αγωγής (tropospheric ducting) . Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει, όταν στην τροπόσφαιρα ένα στρώμα κρύου αέρα παγιδεύει ένα στρώμα θερμού αέρα σε μία μεγάλη περιοχή.

Η θερμοκρασία αυξάνεται και οδηγεί σε αύξηση του δείκτη διάθλασης, με αποτέλεσμα το σήμα να διαθλαστεί. Τέτοιες οριακές μεταβολές του δείκτη διάθλασης ανάμεσα σε αέριες μάζες διαφορετικής θερμοκρασίας και υγρασίας επιτρέπουν στο σήμα να διαδίδεται σε αποστάσεις πολλών εκατοντάδων χιλιομέτρων. Η διάδοση των UHF με τροποσφαιρική αγωγή γίνεται με πολύ αποδοτικό τρόπο. Καθώς μειώνεται η τιμή της συχνότητας, η διάδοση δυσχεραίνεται έως τις χαμηλές VHF. Από εκεί και πέρα η αποδοτικότητα της διάδοσης παύει να είναι ικανοποιητική.

Οι UHF ανακλώνται λιγότερο σε σχέση με τις VHF από την ιονόσφαιρα. Όσο αφορά στις VHF, στο E-στρώμα της ιονόσφαιρας μπορούν υπό συνθήκες να σχηματιστούν περιοχές φορτισμένων σωματίων τόσο πυκνές, ώστε να ανακλάσουν ατμοσφαιρικά κύματα. Αυτή η μέθοδος διάδοσης (sky-wave propagation) δεν είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στη VHF περιοχή συχνοτήτων. Επίσης τα UHF σήματα παραμορφώνονται περισσότερο από την υγρασία. Το κύριο πλεονέκτημα της UHF μετάδοσης σε σχέση με τη VHF είναι η μικρότερη συχνότητα και κατ' επέκταση το μικρότερο μήκος κύματος. Όπως είναι γνωστό, καθότι οι διαστάσεις των κεραιών εκπομπής και λήψης είναι ανάλογες του μήκους κύματος, οι κεραιές στη UHF περιοχή είναι σημαντικά μικρότερες.

Ο κοσμικός θόρυβος που απορροφάται από τις κεραιές λήψης και ο θερμικός θόρυβος που παράγεται στο δέκτη μειώνουν την αποδοτικότητα των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων σε αυτές τις συχνότητες. Αντίθετα, ο ατμοσφαιρικός θόρυβος και η παρεμβολή από ηλεκτρικές συσκευές επιδρά λιγότερο στις VHF και UHF περιοχές σε σχέση με περιοχές χαμηλότερων συχνοτήτων (π.χ. HF).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

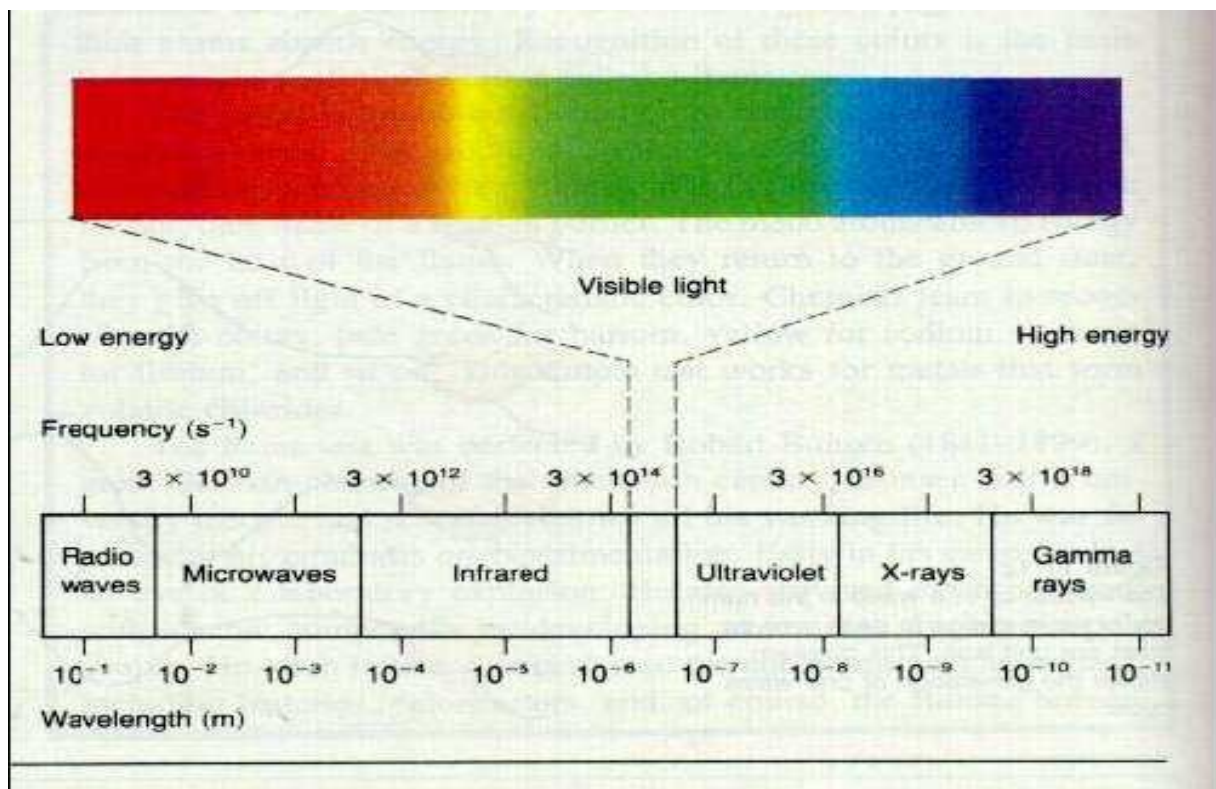
### ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΗΛΕΟΠΤΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

#### 2.1 Τηλεόραση: Τεχνικά χαρακτηριστικά και βασικά στοιχεία της μετάδοσης

Τα πρώτα τηλεοπτικά συστήματα χρησιμοποιώντας φως αναπαρήγαγαν με τη μορφή ασπρόμαυρων κινούμενων εικόνων ο, τι έβλεπε το ανθρώπινο μάτι. Σύντομα διαφάνηκε η αναγκαιότητα να προβληθεί έγχρωμη τηλεοπτική εικόνα. Προκειμένου να μην αχρηστευτούν οι πομποί και οι δέκτες της ασπρόμαυρης τηλεόρασης δημιουργήθηκαν συστήματα που υποστήριζαν τόσο την ασπρόμαυρη πληροφορία εικόνας όσο και την έγχρωμη.

Για αυτό τον σκοπό θεσμοθετήθηκαν πανευρωπαϊκοί κανόνες που εξασφάλισαν την αμοιβαία συμβατότητα των δύο διαφορετικών συστημάτων. Σήμερα ένα αξιόπιστο και αποτελεσματικό έγχρωμο τηλεοπτικό σύστημα προϋποθέτει την παραγωγή εικόνας με λαμπρότητα, με τα φυσικά της χρώματα. Επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο συνδυασμός των χρωμάτων και η φυσιολογία του ανθρώπινου ματιού.

Το ανθρώπινο μάτι διεγείρεται από την περιοχή συχνοτήτων που καλείται οπτικό φάσμα, το οποίο βρίσκεται γύρω από τους  $5 \cdot 10^9$  MHz (σχήμα). Το ορατό φως συνορεύει από αριστερά με τις υπέρυθρες και από δεξιά με τις υπεριώδεις.



## 2.2 Αναλογικά συστήματα τηλεόρασης

### Γενικά

Στις δεκαετίες του '50 και του '60 υιοθετήθηκαν αναλογικά έγχρωμα συστήματα τηλεόρασης: National Television System Committee (NTSC) στις Η.Π.Α. και στην υπόλοιπη Αμερική, Phase Alternation Line (PAL) και Sequentiel Couleur Avec Memoire (SECAM) στην Ευρώπη.

Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται παγκόσμια και σε πολλές περιπτώσεις ο ίδιος δέκτης μπορεί να υποστηρίξει περισσότερα του ενός.

Κατά τις επόμενες δεκαετίες, η πρόοδος της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων πρόσφερε την αναβάθμιση των συστημάτων έγχρωμης τηλεόρασης και νέους, φθηνούς δέκτες.

Πλέον η ποιότητα της εικόνας θεωρείται αποδεκτή για την άνετη παρακολούθηση της ψυχαγωγικής τηλεόρασης.

<b>NTSC</b> National Television System Committee	
Lines/Field	525/60
Horizontal Frequency	15.734 kHz
Vertical Frequency	60 Hz
Color Subcarrier Frequency	3.579545 MHz
Video Bandwidth	4.2 MHz
Sound Carrier	4.5 MHz

Τεχνικά χαρακτηριστικά του NTSC

## PAL Phase Alternating Line

SYSTEM	PAL	PAL N	PAL M
Line/Field	625/50	625/50	525/60
Horizontal Freq.	15.625 kHz	15.625 kHz	15.750 kHz
Vertical Freq.	50 Hz	50 Hz	60 Hz
Color Sub Carrier	4.433618 MHz	3.582056 MHz	3.575611 MHz
Video Bandwidth	5.0 MHz	4.2 MHz	4.2 MHz
Sound Carrier	5.5 MHz	4.5 MHz	4.5 MHz

Τεχνικά χαρακτηριστικά του PAL

## SECAM Sequential Couleur Avec Memoire or Sequential Color with Memory

SYSTEM	SECAM B,G,H	SECAM D,K,K1,L
Line/Field	625/50	625/50
Horizontal Frequency	15.625 kHz	15.625 kHz
Vertical Frequency	50 Hz	50 Hz
Video Bandwidth	5.0 MHz	6.0 MHz
Sound Carrier	5.5 MHz	6.5 MHz

Τεχνικά χαρακτηριστικά SECAM

## 2.3 Ψηφιακά συστήματα τηλεόρασης

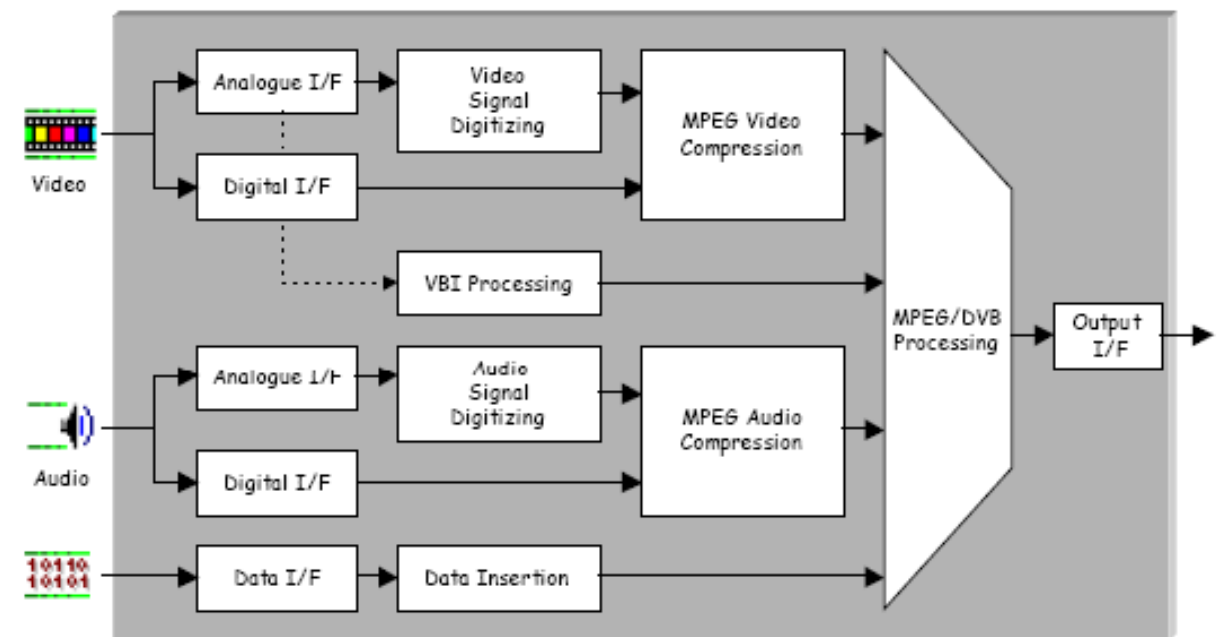
### Γενικά

Η ψηφιακή τηλεόραση είναι ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση και λήψη κινούμενων εικόνων και ήχων με τη μορφή ψηφιακών σημάτων, τα οποία υπερέχουν από τα αναλογικά σήματα της παραδοσιακής αναλογικής τηλεόρασης.

Τα ψηφιακά σήματα, σε αντίθεση με τα αναλογικά, είναι ανθεκτικά στο θόρυβο και σε γραμμικές και μη γραμμικές παραμορφώσεις, ενώ μπορούν να συμπιεστούν και να αποτελέσουν αντικείμενο επεξεργασίας.

Η ψηφιακή τηλεόραση είναι κατάλληλη για τη μετάδοση σημάτων υψηλής ευκρίνειας HD. Σήμερα χρησιμοποιούνται δύο πρότυπα για την τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV) : 1280 × 720 pixels με προοδευτική σάρωση (οι γραμμές κάθε πλαισίου (frame) σαρώνονται σειριακά από πάνω έως κάτω) και 1920 × 1080 pixels με συμπλεκόμενη σάρωση (αρχικά σαρώνονται οι περιττές γραμμές κάθε πλαισίου και έπειτα οι άρτιες γραμμές προκειμένου να υποδιπλασιαστεί το απαιτούμενο εύρος ζώνης).

Το δεύτερο πρότυπο δεν είναι διαδεδομένο, γιατί ελάχιστες χώρες διαθέτουν το απαραίτητο τεχνολογικό υπόβαθρο. Καθένα από αυτά τα πρότυπα υποστηρίζει εικόνα διαστάσεων 16:9.



Ψηφιοποίηση και συμπίεση σήματος

Στα ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα υπάρχει ένας κωδικοποιητής (encoder) που μετασχηματίζει την πληροφορία με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, ώστε να βελτιστοποιηθεί η ανίχνευση του σήματος στην έξοδο (output).

Ο αποκωδικοποιητής πραγματοποιεί την αντίστροφη διαδικασία για να μπορέσει να βγάλει τη βέλτιστη απόφαση και σύμφωνα με τα σήματα που είναι διαθέσιμα να εξακριβώσει ότι πράγματι ένα μήνυμα στάλθηκε από τον πομπό.

Ένας διαμορφωτής παράγει στην έξοδο του ένα σήμα το οποίο προκύπτει από τη μετατροπή μίας εκ των παραμέτρων του σε σχέση με την τάση εισόδου. Δηλαδή μπορεί το πλάτος, η συχνότητα, ή η φάση ενός σήματος να είναι ευθέως ανάλογα προς την τάση εισόδου του διαμορφωτή.

Στο δέκτη, αντίστοιχα προς τον αποκωδικοποιητή, υπάρχει διαμορφωτής που πραγματοποιώντας την αντίστροφη διαδικασία δίνει το σήμα στην αρχική του μορφή.

Η σημασία του διαμορφωτή και του κωδικοποιητή έγκειται στο να προετοιμάσουν το σήμα για αποτελεσματική μετάδοση σύμφωνα με τις συνθήκες που ορίζονται από το μέσο μετάδοσης.

Γενικά η ασύρματη μέθοδος επικοινωνίας χρησιμοποιεί χαμηλής ισχύος ηλεκτρομαγνητικά κύματα για τη μετάδοση δεδομένων ανάμεσα σε συσκευές χωρίς τη χρήση καλωδίων.

Η επίγεια ψηφιακή τηλεόραση (DTTV ή DTT) είναι μια εφαρμογή της ψηφιακής τεχνολογίας που παρέχει μεγαλύτερο αριθμό καναλιών και καλύτερη ποιότητα εικόνας και ήχου (AC3, Dolby ψηφιακό) μέσω μιας συμβατικής κεραίας αντί μιας δορυφορικής σύνδεσης.

Για παράδειγμα, στο ίδιο κανάλι UHF μπορούν να εκπέμπουν μέχρι και 4 κανάλια με συμβατική ποιότητα εικόνας (SDTV), ή ένα κανάλι με εικόνα υψηλής ευκρίνειας (HDTV). Η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία είναι η ATSC στη Βόρεια Αμερική, η ISDB-T στην Ιαπωνία, και η DVB-T στην Ευρώπη και την Αυστραλία.

Το ISDB-T είναι παρόμοιο με το DVB-T και μπορεί να γίνει χρήση των ίδιων δεκτών και διαμορφωτών.



## **Το πρότυπο DVB-T**

Σχετικά με τη μεταφορά των στοιχείων όσον αφορά έναν ενιαίο μεταφορέα ραδιοσυχνότητας (RF), λειτουργεί με το διαχωρισμό του ρεύματος ψηφιακών στοιχείων σε έναν μεγάλο αριθμό πιο αργών ψηφιακών ρευμάτων, κάθε ένα από τα οποία διαμορφώνει ψηφιακά ένα σύνολο στενών παρακείμενων συχνοτικών μεταφορέων.

Τα πρότυπα dnb-t δημοσιεύονται ως EN 300 744, πλαισιώνοντας δομή, κωδικοποίηση καναλιών και διαμόρφωση για την ψηφιακή επίγεια τηλεόραση.

Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα τέτοιου προτύπου είναι το ETSI TS 101 154, με προδιαγραφή για τη χρήση της τηλεοπτικής και ακουστικής κωδικοποίησης στην αναμετάδοση των εφαρμογών βασισμένων στο ρεύμα μεταφορών mpeg-2, που δίνει τις λεπτομέρειες της χρήσης DVB των μεθόδων κωδικοποίησης πηγής για mpeg-2 και πιο πρόσφατα, για h.264/mpeg-4 AVC καθώς επίσης και τα ακουστικά κωδικοποιημένα συστήματα.

## **Πλεονεκτήματα ψηφιακής τηλεόρασης**

Η ψηφιακή τηλεόραση παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με την αναλογική τηλεόραση. Τα σημαντικότερα είναι:

- Κάθε κανάλι απαιτεί μικρότερο εύρος ζώνης. Έτσι, το φάσμα περιλαμβάνει περισσότερα τηλεοπτικά κανάλια.
- Παρέχονται τηλεοπτικές υπηρεσίες υψηλής ευκρινείας, υπηρεσίες πολυμέσων, διαδραστικές υπηρεσίες, υπηρεσίες πολυεκπομπής προγραμμάτων (περισσότερα του ενός προγράμματα σε ένα κανάλι), ηλεκτρονικός οδηγός τηλεόρασης.
- Προσφέρεται βελτιωμένη ποιότητα εικόνας και ήχου και καλύτερη λήψη από την αναλογική τηλεόραση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

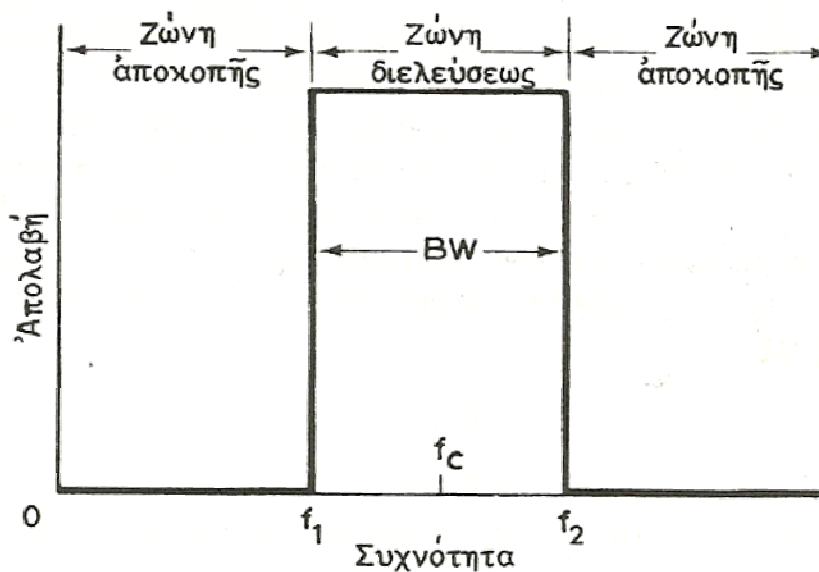
### ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΕΝΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

Οι συντονισμένοι ενισχυτές βρίσκουν εφαρμογές στις περιπτώσεις που θέλουμε να ενισχύσουμε ένα σήμα ορισμένης συχνότητας ή μια περιοχή συχνοτήτων.

Συντονισμένους ενισχυτές βρίσκουμε στα κυκλώματα του ραδιοφώνου και της τηλεόρασης. Οι ενισχυτές αυτοί λέγονται και ενισχυτές **επιλεγόμενης περιοχής συχνοτήτων**.

Ο ενισχυτής πρέπει λοιπόν να συντονιστεί ώστε να ενισχύει μια ορισμένη περιοχή συχνοτήτων. Για την περιοχή αυτή θα πρέπει η απολαβή να είναι μεγάλη, ενώ για κάθε άλλη περιοχή θα πρέπει θεωρητικά να είναι μηδέν. Στην περίπτωση αυτή μιλάμε για ιδανικά συντονισμένο ενισχυτή.

Στο σχήμα φαίνεται η απολαβή ως συνάρτηση της συχνότητας για ένα ιδανικά συντονισμένο ενισχυτή. Για κάθε συχνότητα μικρότερη της  $f_1$  η απολαβή είναι μηδέν, καθώς επίσης και για κάθε συχνότητα μεγαλύτερη της  $f_2$ .



Η απολαβή ενός ιδανικά συντονιζόμενου ενισχυτή ως συνάρτηση της συχνότητας.

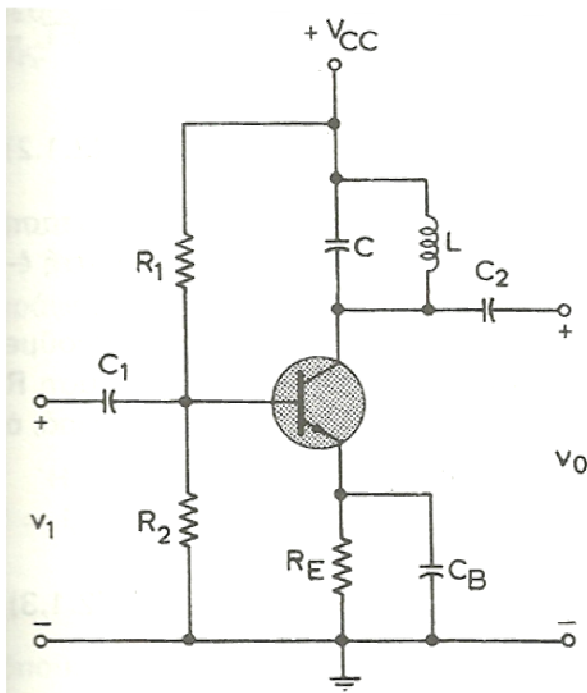
Ο ενισχυτής ενισχύει εξίσου όλες τις συχνότητες μεταξύ  $f_1$ - $f_2$ . Η περιοχή αυτή των συχνοτήτων λέγεται **εύρος ζώνης διέλευσης συχνοτήτων** και συμβολίζεται με το BW- (Band-Width). Δηλαδή,  $BW=f_2-f_1$ . Η κεντρική συχνότητα  $f_c$  ορίζεται από τη σχέση:

$$f_c = \frac{f_2 + f_1}{2}$$

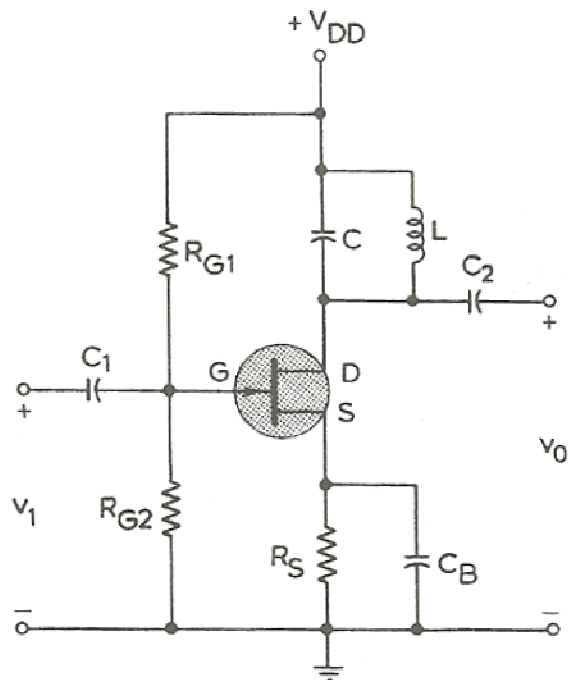
Ο ιδανικά συντονισμένος ενισχυτής δεν υπάρχει στην πράξη, γι' αυτό στη συνέχεια μελετάμε μερικούς συντονισμένους ενισχυτές που βρίσκουμε σε πραγματικές εφαρμογές.

### 3.1 Απλά συντονισμένοι ενισχυτές:

Για να κατασκευάσουμε ένα συντονισμένο ενισχυτή χρησιμοποιούμε ως ενεργό στοιχείο τρανζίστορ (BJT) ή FET. Παρακάτω φαίνονται δυο τυπικά κυκλώματα συντονισμένων ενισχυτών με τρανζίστορ και FET αντίστοιχα. **Βασικό εξάρτημα του συντονισμένου ενισχυτή είναι το συντονισμένο κύκλωμα L-C.**



Απλά συντονιζόμενος ενισχυτής με τρανζίστορ.



Απλά συντονιζόμενος ενισχυτής με FET.

Οι τρεις αντιστάσεις και στα δυο κυκλώματα έχουν σκοπό να δημιουργούν την κατάλληλη πώλωση.

Οι πυκνωτές C1 και C2 έχουν ως σκοπό να απομονώσουν το συνεχές (dc) από την πηγή και το φορτίο αντίστοιχα. Ο πυκνωτής CB ονομάζεται **πυκνωτής διελεύσεως** και έχει ως σκοπό να βραχυκυκλώνει την RE στις συχνότητες του σήματος. Για το λόγο αυτό ο συγκεκριμένος πυκνωτής έχει μεγάλη τιμή.

Όλοι οι πυκνωτές εκτός από τον C, έχουν μεγάλη τιμή και λειτουργούν σαν βραχυκυκλώματα στις συχνότητες που λειτούργει ο ενισχυτής, οπότε δεν λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό των διαφορών μεγεθών του ενισχυτή.

Η συχνότητα συντονισμού  $f_0$  του κυκλώματος L-C είναι:

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Το συντονισμένο πλέον κύκλωμα παρουσιάζει έναν συντελεστή ποιότητας  $Q_0$ . Ο συντελεστής ποιότητας αυτός για τη συχνότητα συντονισμού εξαρτάται κυρίως από τα R, L του πηνίου και δίνεται από τη σχέση:

$$Q_0 = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{2\pi f_0 L}{R} = \frac{1}{2\pi f_0 R C}$$

Έτσι το Q μετρά στην πράξη την ποιότητα ενός πηνίου και είναι αδιάσειστο μέγεθος. Αν γνωρίζουμε το Q ενός πηνίου και την αυτεπαγωγή του μπορούμε να βρούμε την ωμική του αντίσταση.

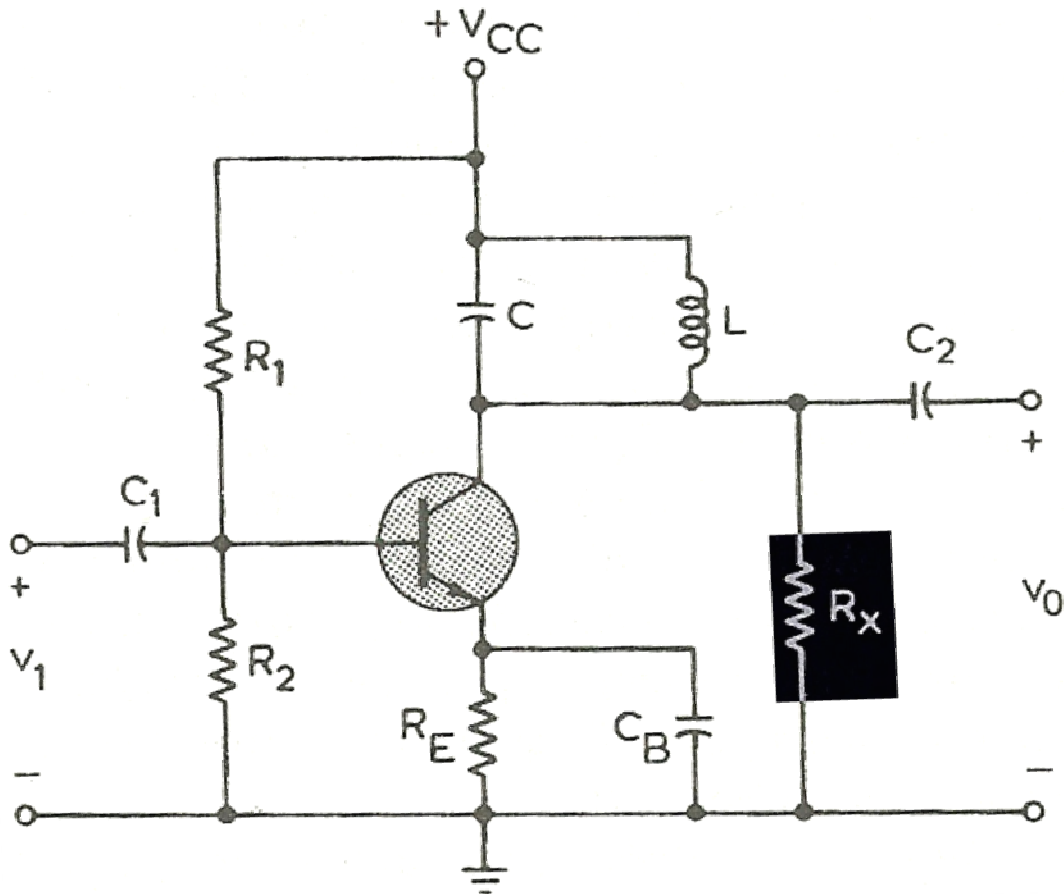
Το συντονισμένο κύκλωμα ενός ενισχυτή μπορεί να συντονιστεί στην κεντρική συχνότητα μεταβάλλοντας τη χωρητικότητα ή την αυτεπαγωγή.

Η ανάλυση που έγινε παραπάνω αφορούσε τρανζίστορ υψηλών συχνοτήτων, του οποίου η εσωτερική χωρητικότητα είναι πολύ μικρή.

Γενικά, για να σχεδιάσουμε ένα συντονισμένο ενισχυτή πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη και την εσωτερική χωρητικότητα του τρανζίστορ.

Σε ένα απλά συντονισμένο ενισχυτή μπορούμε επίσης να ρυθμίσουμε το εύρος ζώνης(BW). Για να αυξήσουμε το BW πρέπει να ελαττώσουμε τον ενεργό συντελεστή ποιότητας( $Q_e$ ) ή συντελεστή ποιότητας με φορτίο ο οποίος είναι πάντα μικρότερος του  $Q_0$ , δηλαδή του συντελεστή ποιότητας χωρίς φορτίο.

Για το λόγο αυτό προσθέτουμε μια αντίσταση  $R_x$  μεταξύ συλλέκτη και γείωσης.



Με την προσθήκη της  $R_x$  μεταβάλλεται η αντίσταση του συντονισμένου κυκλώματος L-C και συγκεκριμένα μειώνεται, εφόσον η  $R_x$  συνδέεται παράλληλα με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση του ενεργού συντελεστή ποιότητας ( $Q_e$ ) και κατ'έπекταση αύξηση του BW.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Προσομοίωση απόκρισης ενισχυτών

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε ένα πρόγραμμα προσομοίωσης της απόκρισης διαφόρων κυκλωμάτων ενισχυτών σε μια προσπάθεια να βελτιστοποιήσουμε τις παραμέτρους για καλύτερη ενίσχυση με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ενισχυτικών βαθμίδων έτσι όπως τα δίνει ο κατασκευαστής.

Το πρόγραμμα που θα χρησιμοποιήσουμε λέγεται “RFSIM99”. Είναι ένα ερασιτεχνικό freeware πρόγραμμα το οποίο δημιουργήθηκε σε μια προσπάθεια για διευκόλυνση στην κατασκευή ενισχυτικών βαθμίδων, αφού μας επιτρέπει να έχουμε μια πιο συγκεκριμένη εικόνα για τις δυνατότητες του ενεργητικού στοιχείου ενίσχυσης που θα επιλέξουμε για την κατασκευή.

Αυτό, σε συνδυασμό με την ευκολία στη χρήση κάνει το RFSIM99 ένα αρκετά καλό εργαλείο που παρά τις περιορισμένες δυνατότητές του θα μας δώσει αρκετά ικανοποιητικά και αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η λειτουργία του έχει να κάνει με τις S2P παραμέτρους των ενισχυτικών βαθμίδων οι οποίες δίνονται από την κατασκευάστρια εταιρεία. Στις εφαρμογές που ακολουθούν χρησιμοποιούμε τρανζίστορ για την ενίσχυση των σημάτων, τα χαρακτηριστικά των οποίων ποικίλουν, άρα και οι S2P παράμετροί τους, ανάλογα με τις ανάγκες τις κάθε εφαρμογής.

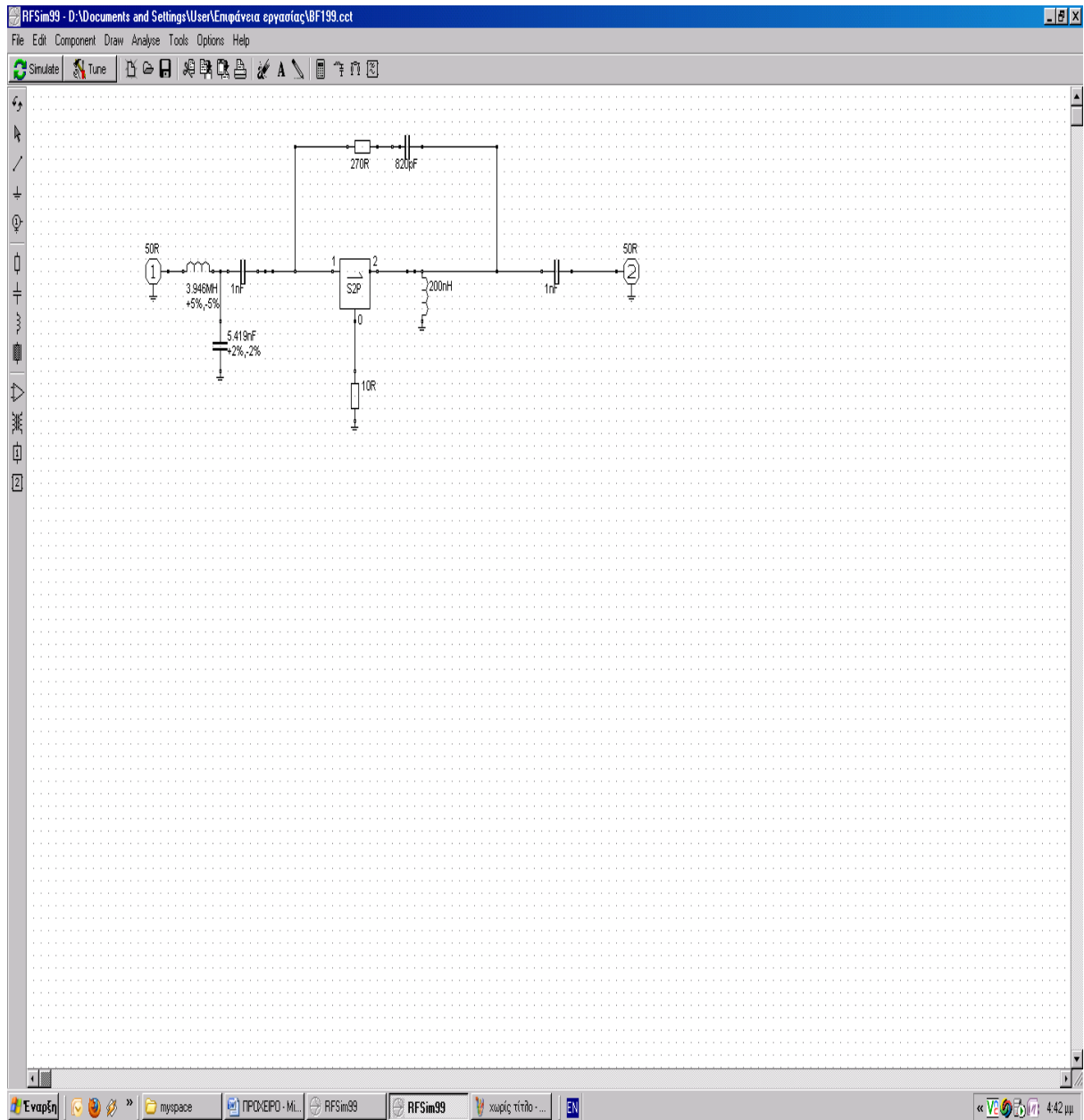
Ένα παράδειγμα αρχείου S2P παραμέτρων είναι το εξής:

```
! BF199, Manuf. CDIL, code "~729 BF199 C E B", distributor www.reichelt.de
! Si NPN RF Transistor
! VCE = 10 V IC = 7 mA
! Common Emitter S-Parameters: 29.09.2003
# GHz S MA R 50
! f S11 S21 S12 S22
!GHz MAG ANG MAG ANG MAG ANG MAG ANG
!0.025 0.0000 0.0 13.410 163.0 0.0067 00.0 0.0000 0.0
0.050 0.7260 -40.7 11.480 144.0 0.0058 77.0 0.8750 -5.8
0.100 0.5120 -67.6 8.660 117.0 0.0108 72.3 0.8250 -3.6
0.200 0.3520 -121.6 4.900 98.9 0.0166 85.4 0.8410 -10.9
!0.400 0.0000 00.0 0.000 00.0 0.0000 00.0 0.0000 0.0
!0.800 0.0000 00.0 0.000 00.0 0.0000 00.0 0.0000 0.0
```

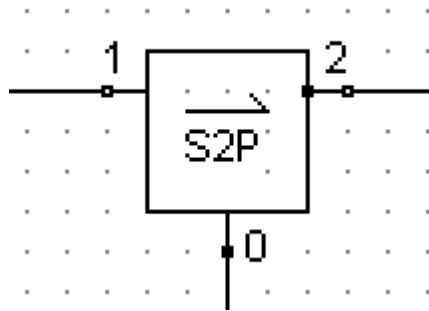
## 4.1 Παρουσίαση του “RFSIM99”

Στο αριστερό τμήμα του project υπάρχει μια γραμμή εργαλείων από όπου επιλέγουμε τα στοιχεία που χρειαζόμαστε ώστε να κατασκευάσουμε το κύκλωμα που θέλουμε να προσομοιώσουμε.

Η σχεδίαση έχει την παρακάτω μορφή:



Το τρανζίστορ που χρησιμοποιούμε απεικονίζεται ως: S parameter 2 ports στοιχείο.



Πάνω σε αυτό συνδέονται μόνο τα εξαρτήματα τα οποία είναι ικανά να επηρεάσουν το σήμα και την ενίσχυση του, ενώ όσα εξαρτήματα αφορούν τις πολώσεις του κυκλώματος παραλείπονται.

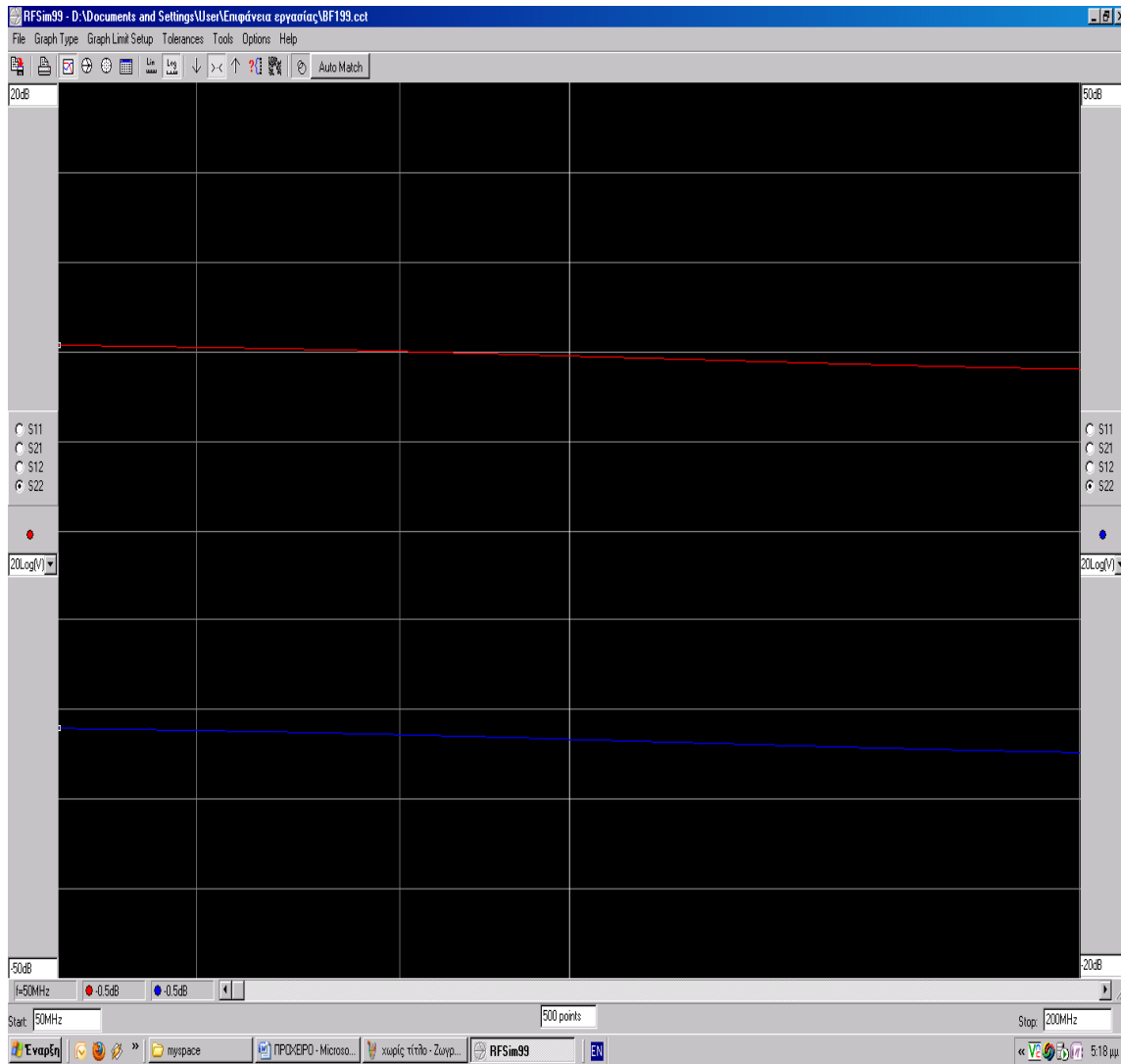
Κάνοντας ‘διπλό κλικ’ πάνω στο στοιχείο το πρόγραμμα μας ζητά να «φορτώσουμε» το S2P αρχείο του:

Freq(Hz)	S11Mag	S11Ang	S21Mag	S21Ang	S12Mag	S12Ang	S22Mag	S22Ang
50MHz	0.726	-40.700°	11.480	144.000°	0.006	77.000°	0.875	-5.800°
100MHz	0.512	-67.600°	8.660	117.000°	0.011	72.300°	0.825	-3.600°
200MHz	0.352	-121.600°	4.900	98.900°	0.017	85.400°	0.841	-10.900°



Αφού γίνει αυτό σωστά, επιλεγούμε από τη γραμμή εργαλείων το 'simulate' ώστε να προσομοιώσει το πρόγραμμα τα δεδομένα που του δώσαμε.

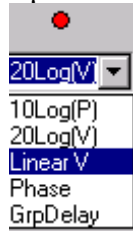
Έπειτα ελαχιστοποιούμε και επαναφέρουμε το παράθυρο του προγράμματος για να δούμε το αποτέλεσμα, σχηματικά πλέον:



Εδώ φαίνεται η ιδανική απόκριση του ενισχυτή χωρίς παρασιτικές χωρητικότητες, ατέλειες σχεδίασης ή ανεπιθύμητους συντονισμούς.

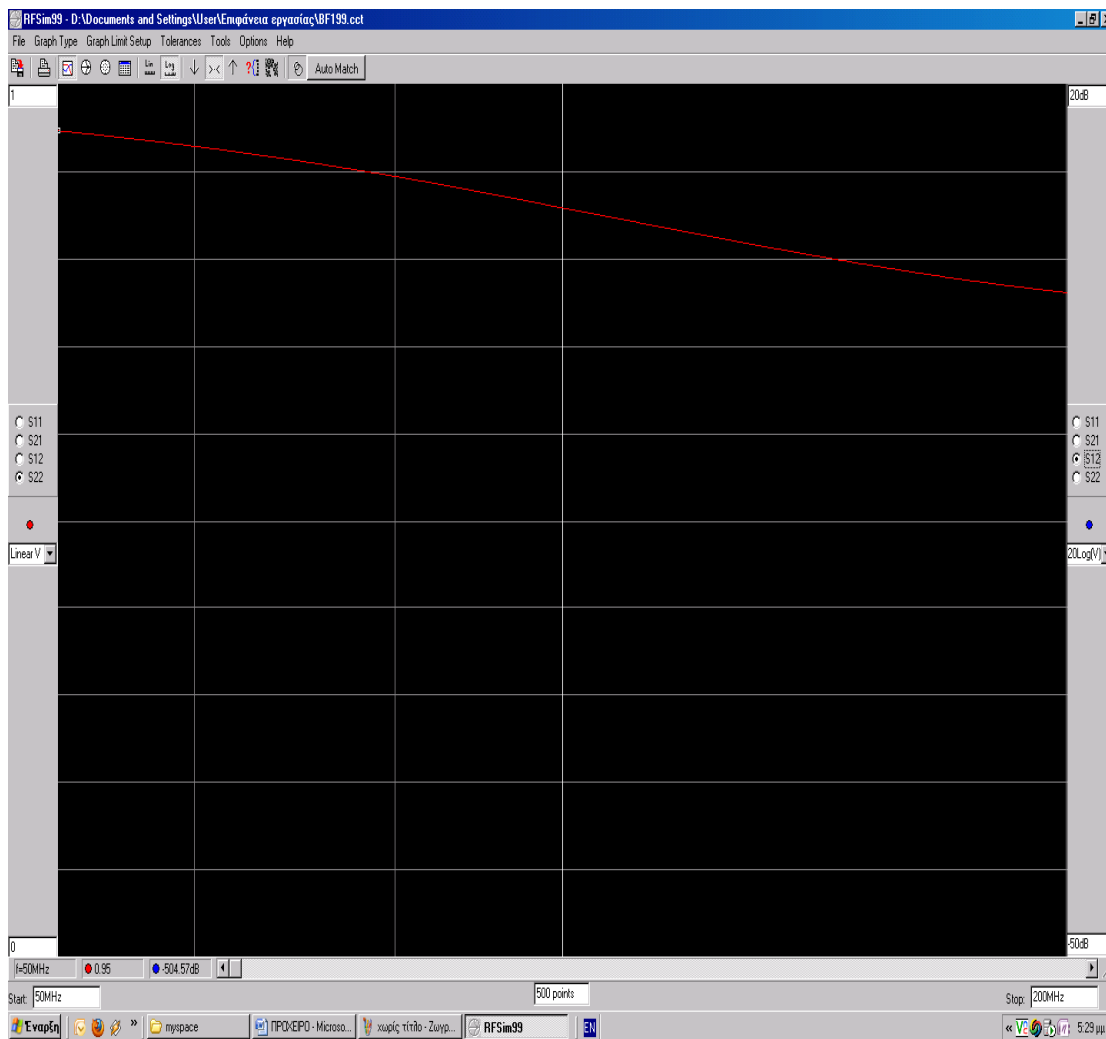
Το πρόγραμμα ως προεπιλογή, ανάλογα με τις S2P παραμέτρους που του δίνουμε, προσομοιώνει μέσα σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων το οποίο μπορούμε εύκολα να το επαναπροσδιορίσουμε.

Επίσης, μπορούμε να δούμε εκτός από την απεικόνιση σε db και τις τιμές τις τάσης για τις



συχνότητες αυτές.

Η γραφική παράσταση είναι της μορφής:



## 4.2 Κατηγορίες ενισχυτών

Οι ενισχυτές χωρίζονται σε κλάσεις A, B, AB, C, D, E, F ανάλογα με το σημείο πόλωσης (*bias point*) και τη γωνία αγωγής (*conduction angle*).

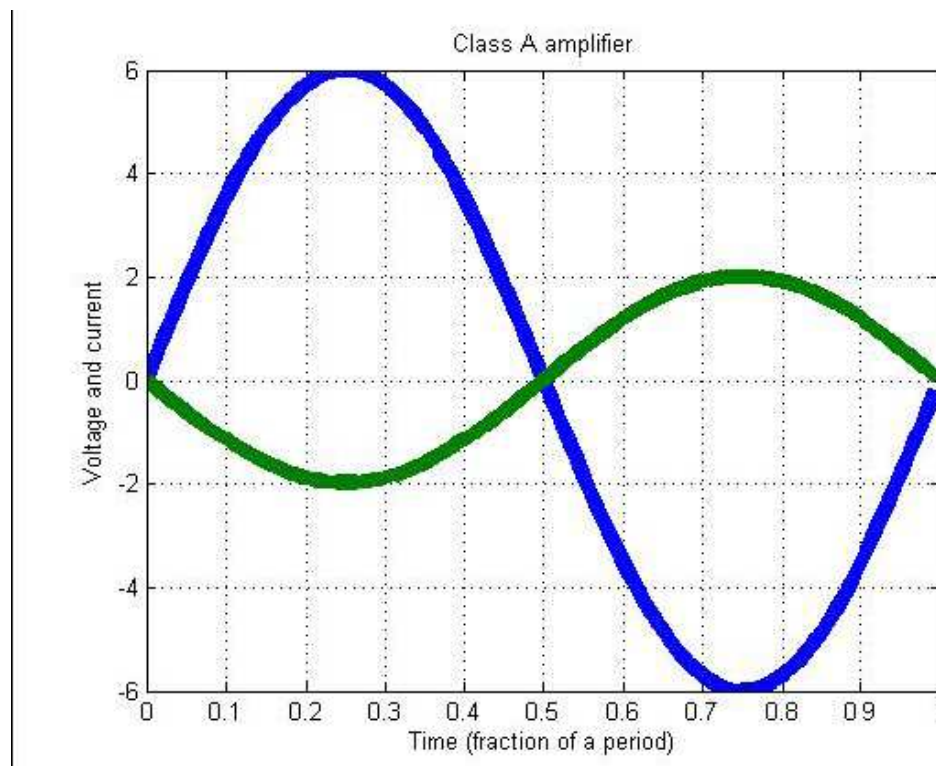
Ένας εναλλακτικός τρόπος που προτάθηκε από τον S. Jeon είναι η διάκριση τους σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με τη **γραμμικότητα** τους δηλαδή σε **γραμμικούς** και **μη γραμμικούς** ενισχυτές.

Γραμμικοί ή ενισχυτές διαγωγιμότητας είναι οι ενισχυτές των κλάσεων **A, AB, B, C** αφού η το πλάτος της εξόδου είναι ανάλογο του πλάτους εισόδου και η διαφορά φάσης ανάμεσα σε είσοδο και έξοδο παραμένει σταθερή.

Ο πιο γραμμικός είναι ο A και ο λιγότερο γραμμικός ο C. Όμως όσο μειώνεται η γραμμικότητα τόσο αυξάνεται η απόδοση. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι τάξης A μπορούν να επιτύχουν απόδοση μόλις μέχρι 50% ενώ οι C μπορούν να προσεγγίσουν τιμές μέχρι 90%. Στη συνέχεια θα γίνει μια συνοπτική παρουσίαση των τάξεων των ενισχυτικών βαθμίδων.

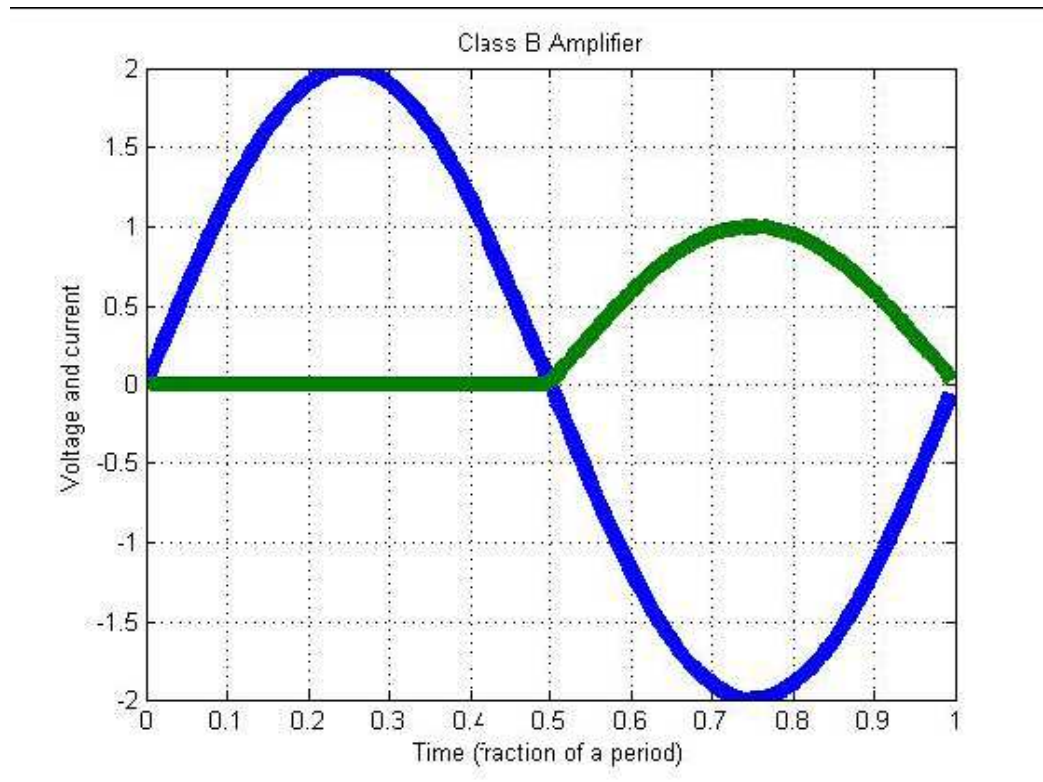
### Γραμμικοί Ενισχυτές:

**Τάξη A :** Είναι ο πιο γραμμικός τύπος ενισχυτή. Το transistor άγει συνεχώς ( γωνία αγωγής 360° ) και συνεπώς το transistor καταναλώνει συνεχώς ισχύ.



(Ενισχυτής A τάξης : γραμμική αναλογία ανάμεσα σε είσοδο και έξοδο)

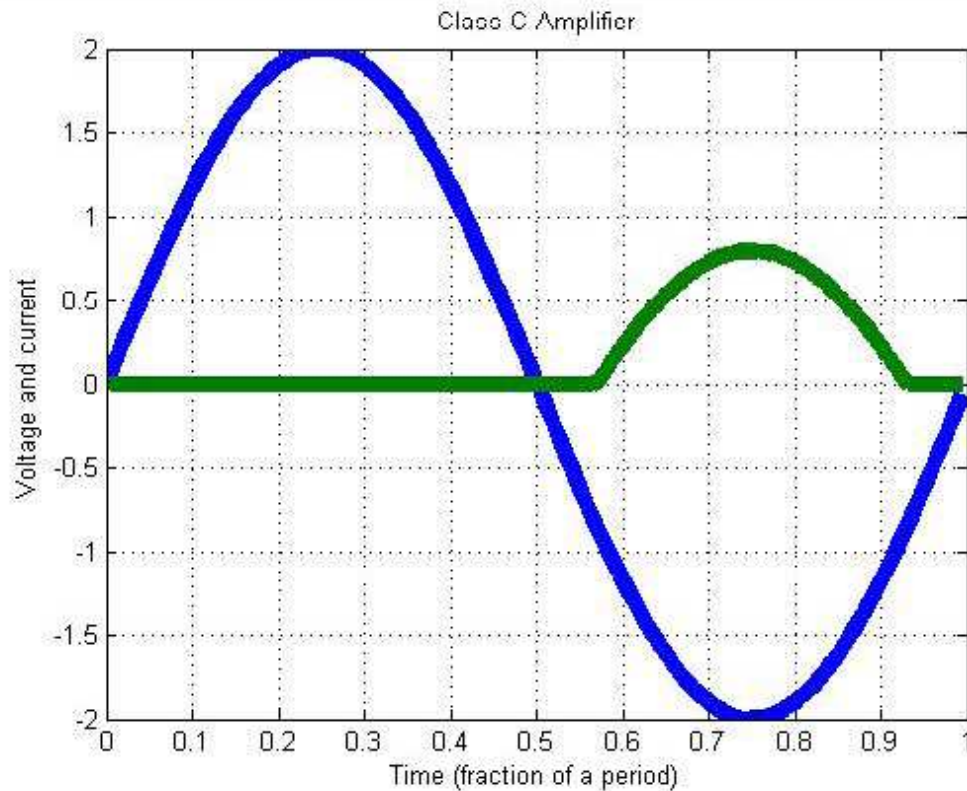
**Τάξη B:** Το transistor πολώνεται ώστε να άγει στην μισή περίοδο (γωνία αγωγής  $180^\circ$ ). Έχουμε μέγιστη απόδοση 78.5%. Επειδή συνήθως δουλεύει σε διάταξη push-pull έχουμε το πρόβλημα της IMD (intermodulation distorting-παραμόρφωσης ενδοδιαμόρφωσης) κυρίως για μικρό σήμα εισόδου.



( Ενισχυτής B τάξης : λιγότερο γραμμικός άλλα πιο αποδοτικός από τον A τάξης)

**Τάξη AB :** Τύπος ενισχυτή ανάμεσα στον A και το B με γωνία αγωγής ανάμεσα σε  $180^\circ$  και  $360^\circ$ . Συνυφαίνει τα πλεονεκτήματα των A και B και χρησιμοποιείται ως ενδιάμεση κατάσταση.

**Τάξη C:** Το βασικό χαρακτηριστικό του είναι γωνία αγωγής μικρότερη από  $180^\circ$ . Είναι γραμμικοί αλλά όχι όσο οι A ή οι B. Μπορεί να επιτύχει μεγάλη απόδοση, μέχρι και 89%-90%.



(Ενισχυτής C τάξης : Οριακή μορφή γραμμικού ενισχυτή.)

### Μη γραμμικοί ενισχυτές:

Εδώ δεν υπάρχει κάποια αναλογία ανάμεσα σε είσοδο και έξοδο.

Πρέπει όμως η απόκριση της εξόδου να μπορεί να περιγράψει τις αλλαγές κατάστασης στην είσοδο (μεταβολές από ON σε OFF κ.ο.κ.).

Η έξοδος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τροφοδοσία και από τα κυκλώματα πόλωσης (shaping network), προσαρμογής (matching network) και φιλτραρίσματος (band pass filter BPF).

Τάση και ρεύμα περιέχουν αρμονικές οπότε καθίσταται επιτακτική η καταστολή τους με κατάλληλο ζωνοπερατό φίλτρο.

### 4.3 Γενικά χαρακτηριστικά ενισχυτών

#### Επιπτώσεις της μη γραμμικότητας:

- Αλλαγή του σημείου πόλωσης του κυκλώματος.
- Ενίσχυση ή ελάττωση του ονομαστικού κέρδους σε μια συχνότητα  $f$ .
- Δημιουργία αρμονικών στα πολλαπλάσια της συχνότητας  $f$ .
- Αναδιαμόρφωση : Δημιουργία συχνοτήτων που είναι ο γραμμικός συνδυασμός των συχνοτήτων εισόδου.

Για να δείξουμε το πόσο γραμμικός είναι ένας ενισχυτής μπορούμε να το εκφράσουμε με μεγέθη όπως το P1DB, το OIP2 και το OIP3

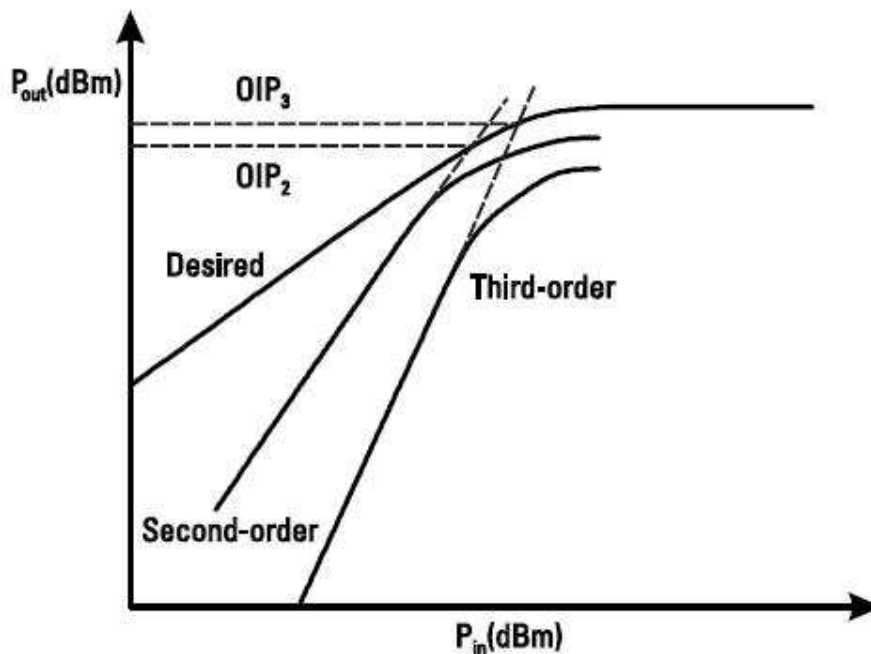
Αναλυτικότερα:

**P1DB:** Η ισχύς όπου το σήμα ενισχύεται κατά ένα dB λιγότερο από το ονομαστικό κέρδος του ενισχυτή

**OIP2:** Η ισχύς εισόδου όπου το επιθυμητό σήμα και η δεύτερη αρμονική έχουν ίδια ισχύ.

**OIP3:** Η ισχύς εισόδου όπου το επιθυμητό σήμα και η τρίτης τάξης αναδιαμόρφωση έχουν ίδια ισχύ.

Εννοείται ότι είναι επιθυμητή η λειτουργία πριν από τα σημεία OIP2 και OIP3.



( ισχύς στη θεμελιώδη συχνότητα και στις αρμονικές)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### Εισαγωγή στην κατασκευή ενισχυτικών βαθμίδων

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε συγκεκριμένα με ενισχυτές τάξης Α εφόσον η ενίσχυση τηλεοπτικών σημάτων απαιτεί τη μέγιστη γραμμικότητα και ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων του σήματος εξόδου του ενισχυτή, τόσο για τα αναλογικά σήματα, αλλά πολύ περισσότερο για τα ψηφιακά. Όλα τα κυκλώματα με τα οποία θα πειραματιστούμε στην παρούσα εργασία αφορούν τη λειτουργία ενεργών ενισχυτικών στοιχείων σε τάξη Α.

Στα επόμενα κεφάλαια θα προσομοιωθούν, με το πρόγραμμα που παρουσιάστηκε παραπάνω και θα κατασκευαστούν κυκλώματα ενισχυτών τα οποία θα λειτουργούν σε διαφορετικές συχνοτικές περιοχές με σκοπό να αποκομιστούν κάποια συμπεράσματα για τις δυνατότητες διαφόρων τρανζίστορ, ώστε να έχουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα και να γίνει η καλύτερη επιλογή για την τελική κατασκευή. Τα τρανζίστορ τα οποία θα χρησιμοποιήσουμε είναι τα ακόλουθα:

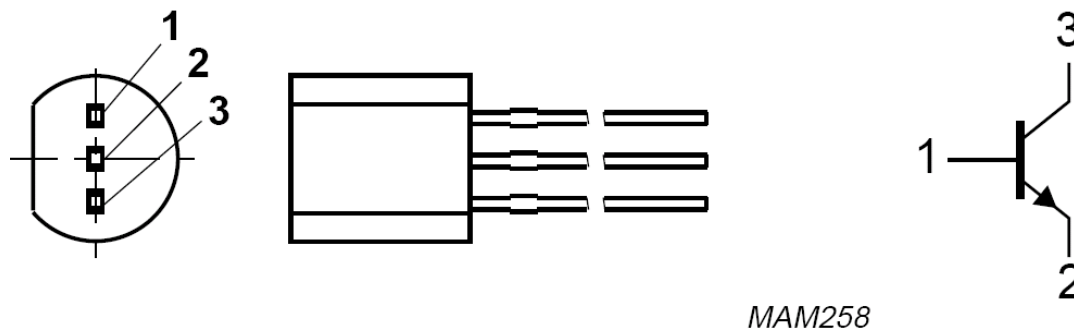
BF199 NPN medium frequency transistor

BFR96S Silicon NPN RF transistor

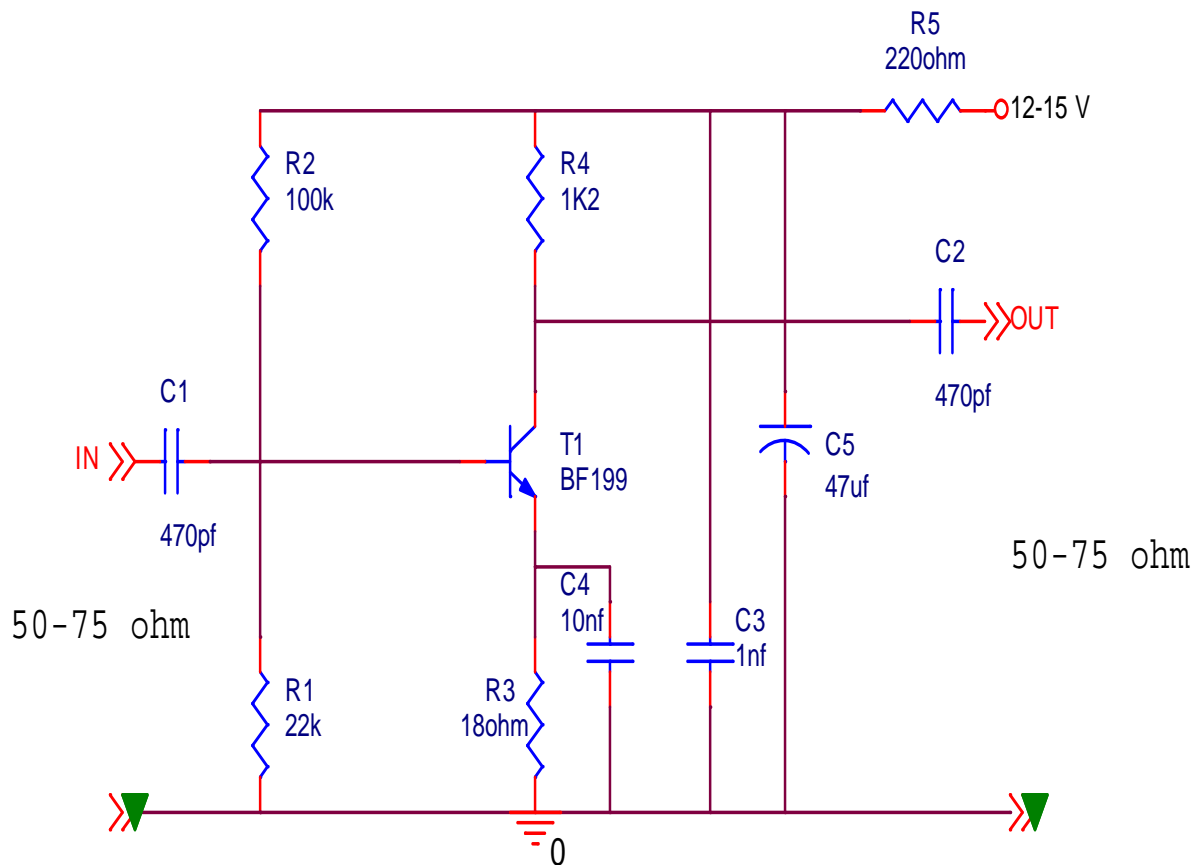
BFG135 NPN Wideband transistor

#### 5.1 BF199

Το πρώτο κύκλωμα χρησιμοποιεί το BF199 το οποίο είναι ένα τρανζίστορ χαμηλής ισχύος, με ονομαστική ισχύ 500 mW και ονομαστική οριακή συχνότητα ενίσχυσης 550 MHz.

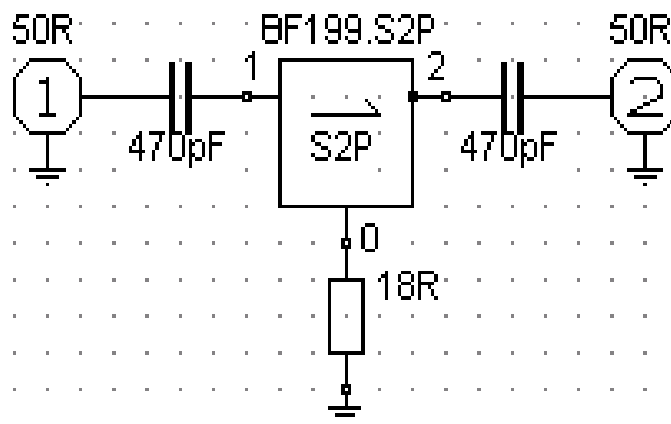


Το κύκλωμα που χρησιμοποιήθηκε για τη λειτουργία του BF199 απεικονίζεται παρακάτω:

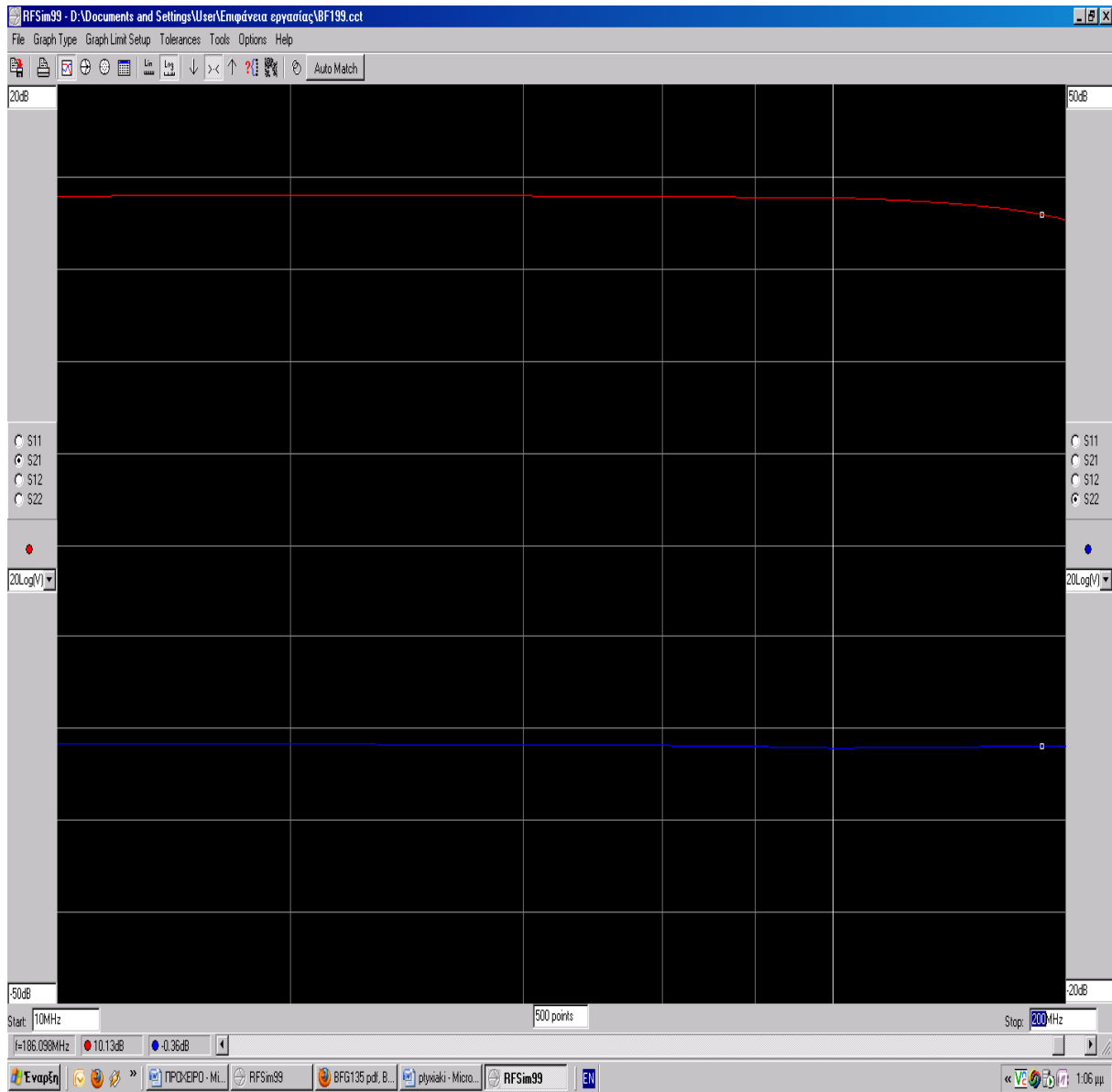




Για την προσομοίωση της λειτουργίας του τρανζίστορ, όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτηση των στοιχείων πόλωσης, όποτε το σχηματικό που προκύπτει είναι το εξής:

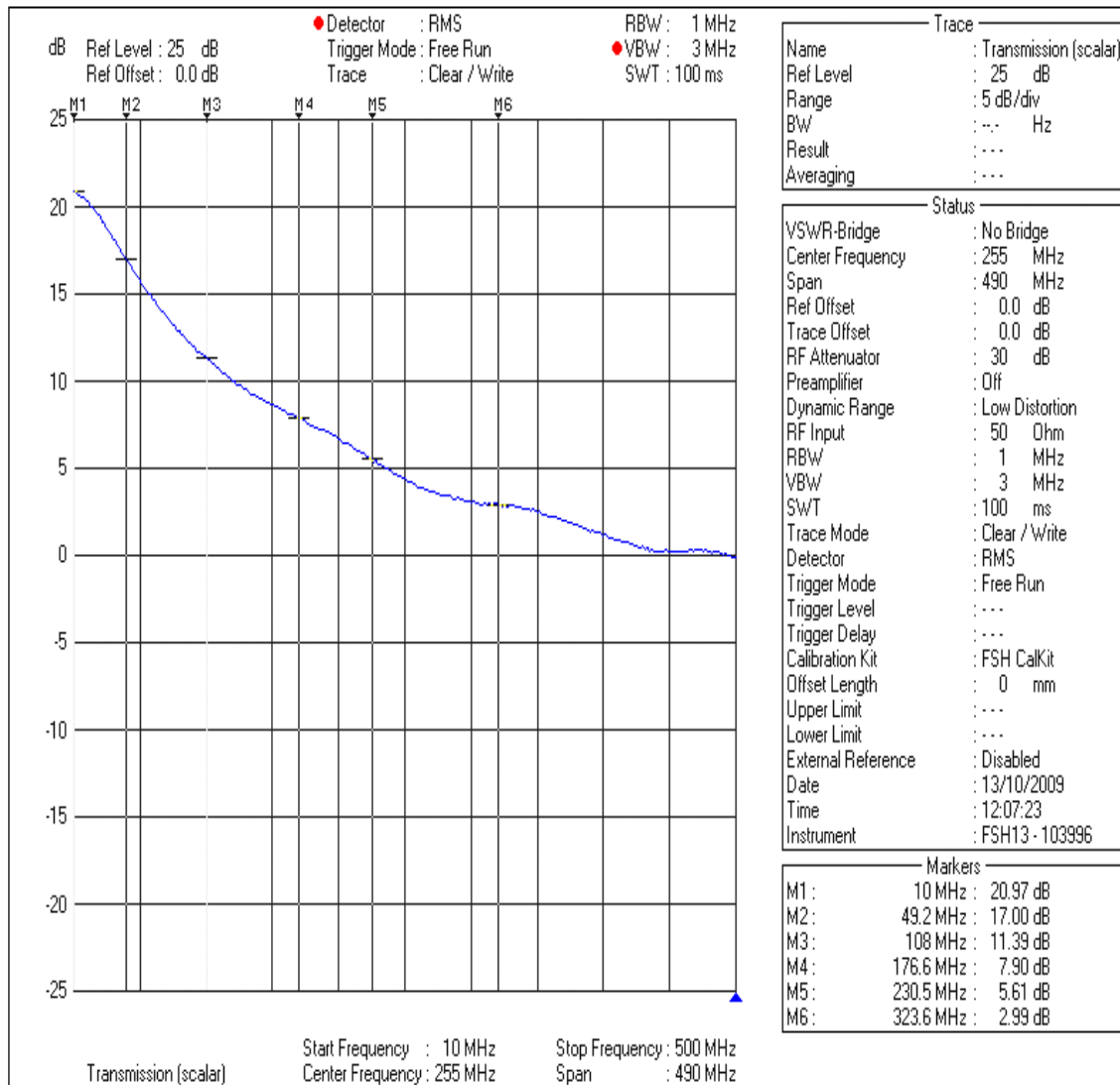


Έχοντας «φορτώσει» το S2P αρχείο του BF199 μπορούμε να προχωρήσουμε στην προσομοίωση και να δούμε το γραφικό αποτέλεσμα.



Όπως μπορούμε να δούμε το πρόγραμμα βάζει συχνότητες προσομοίωσης από 10-200 MHz, οι οποίες απέχουν πολύ από τις ονομαστικές τιμές που δίνονται στα DATA SHEET του τρανζίστορ. Παρόλα αυτά φαίνεται ότι η απόδοση του εξαρτήματος αρχίζει να μειώνεται ακόμη και πριν από τα 200 MHz.

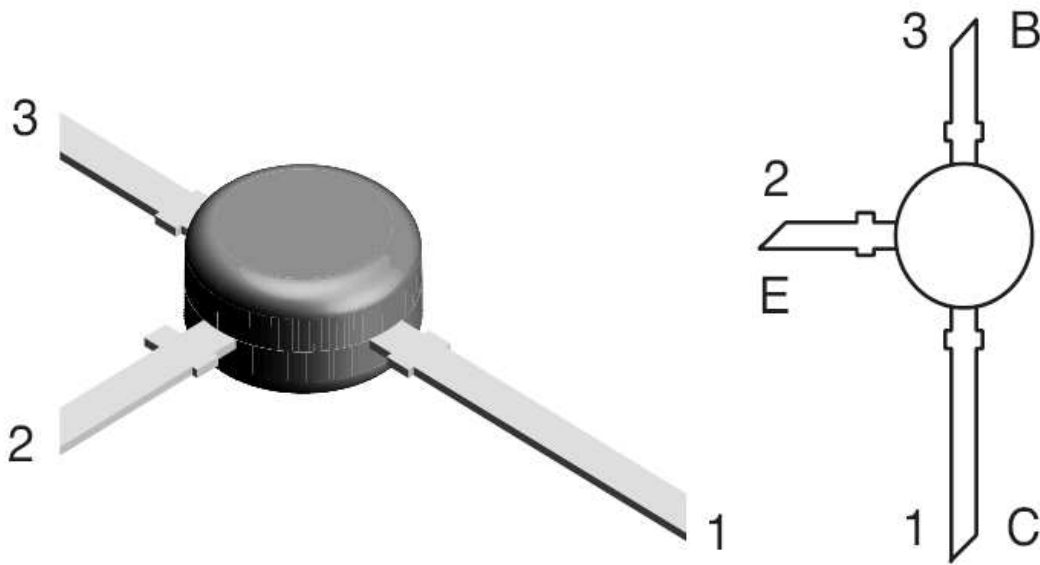
Εδώ μπορούμε να δούμε το αποτέλεσμα από τον αναλυτή φάσματος μετά την κατασκευή του κυκλώματος. Οι συχνότητες μέσα στις οποίες γίνεται η μέτρηση είναι 10-500MHz, διακρίνοντας ότι όπως είδαμε και κατά την προσομοίωση, μετά τα 200MHz έχουμε μεγάλες απώλειες.



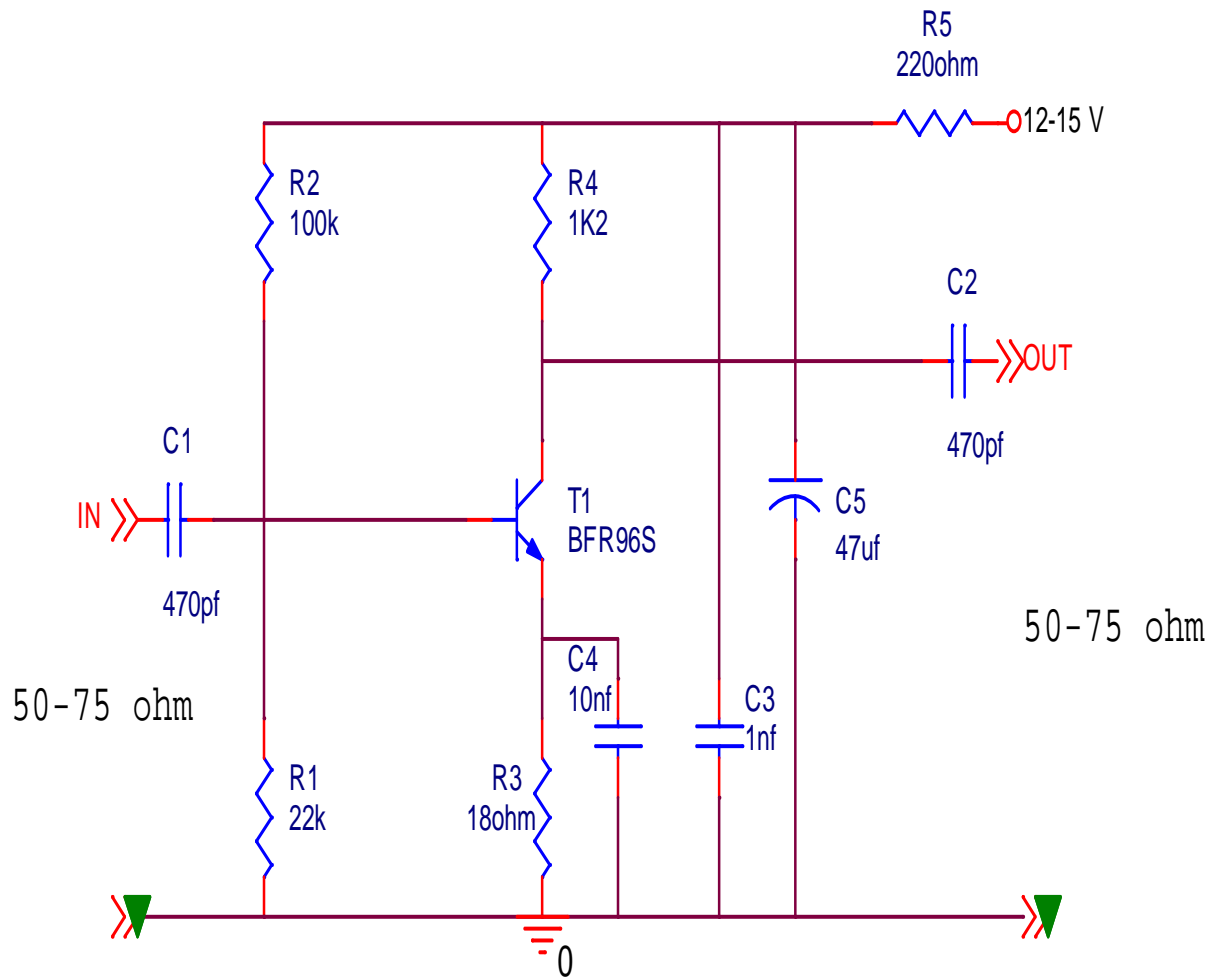
Μέτρηση του BF199

## 5.2 BFR96S

Το τρανζίστορ που χρησιμοποιούμε παρακάτω είναι ένα επίσης χαμηλής ισχύος, με ονομαστική ισχύ 700 mW και σύμφωνα με τον κατασκευαστή, χρησιμοποιείται ως wide band ενισχυτής κεραίων.

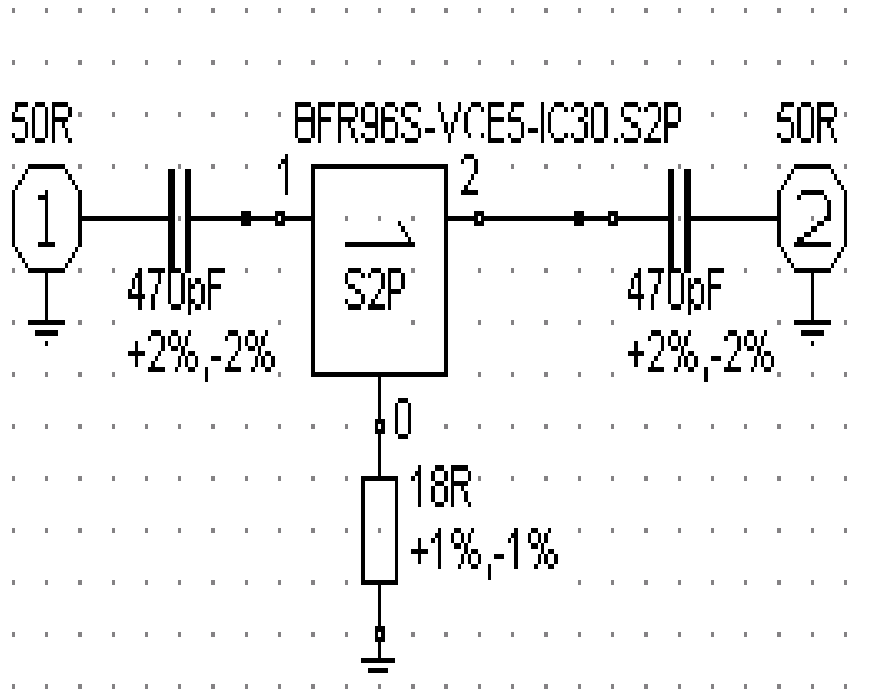


Το κύκλωμα το οποίο επιλέγουμε να δουλέψουμε παραμένει το ίδιο εφόσον οι πολώσεις λειτουργούν ικανοποιητικά και για το συγκεκριμένο τρανζίστορ.

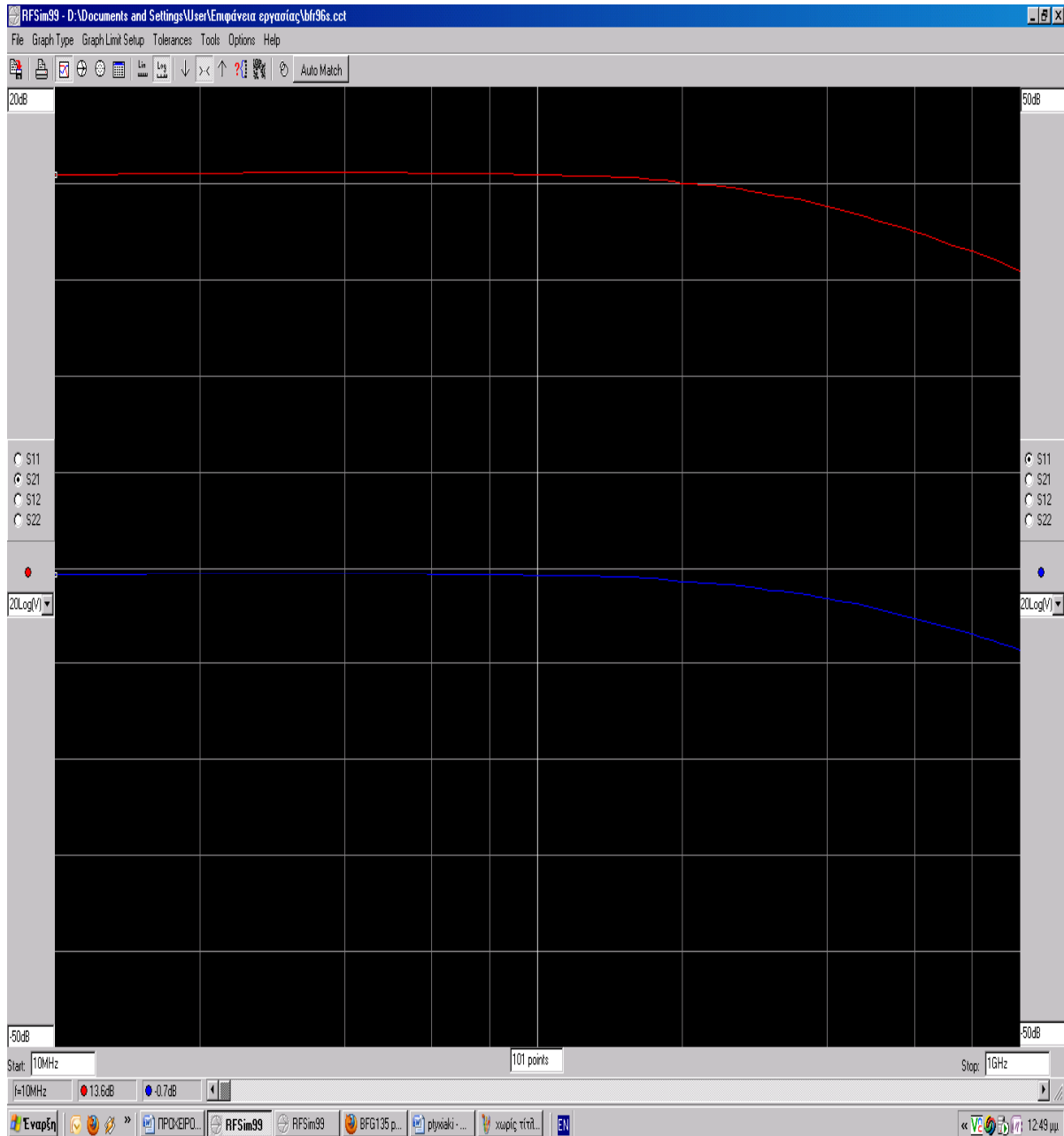


$V_e=0.1V$   $Q(V_{cq}=7.2V, I_{cq}=5.6mA)$

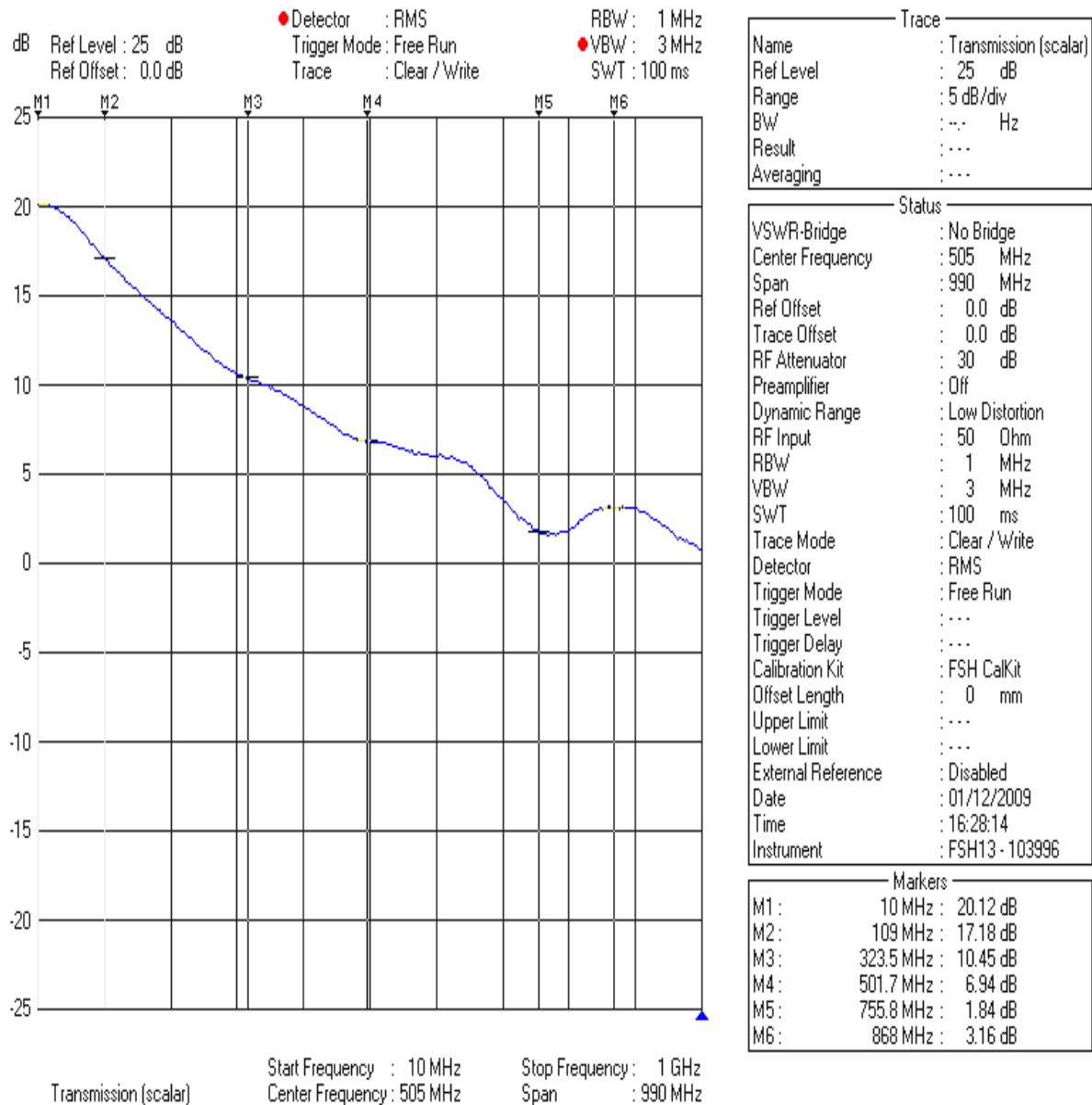
Όπως και πριν, με «φορτωμένο» το S2P αρχείο του BFR96S προσομοιώνουμε τη συμπεριφορά του τρανζίστορ σε συχνότητες έως 1GHz.



Εδώ μπορούμε να δούμε ότι στη συχνότητα των 10 MHz από όπου ξεκινά και η προσομοίωση έχουμε μια αρκετά ικανοποιητική ενίσχυση η οποία μένει σχεδόν σταθερή ως τα 200MHz οπότε και αρχίζει να μειώνεται έντονα.



Το αποτέλεσμα της μέτρησης φαίνεται παρακάτω, όπου δείχνει να έχει σχεδόν μηδενική ενίσχυση (1.84db) το τρανζίστορ στα 750-770MHz.



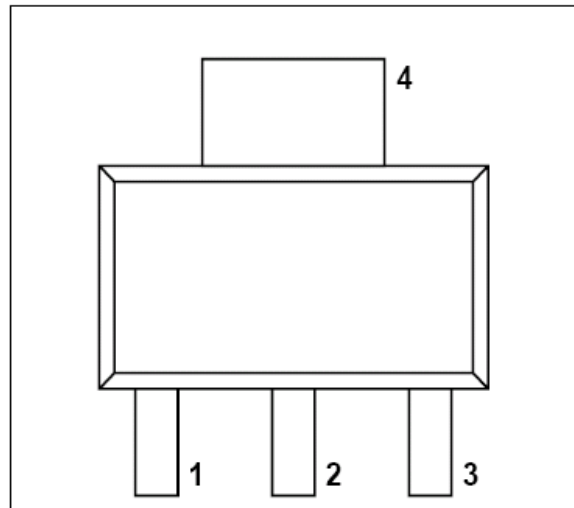
### Μέτρηση του BFR96S



### 5.3 BFG135

Ένα τρανζίστορ με αρκετά ικανοποιητική δυνατότητα ρεύματος συλλέκτη, της τάξης των 150mA, σε συνδυασμό με την ελάχιστη δυνατή παραμόρφωση του σήματος εισόδου και ονομαστική ισχύ 1W.

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	emitter
4	collector

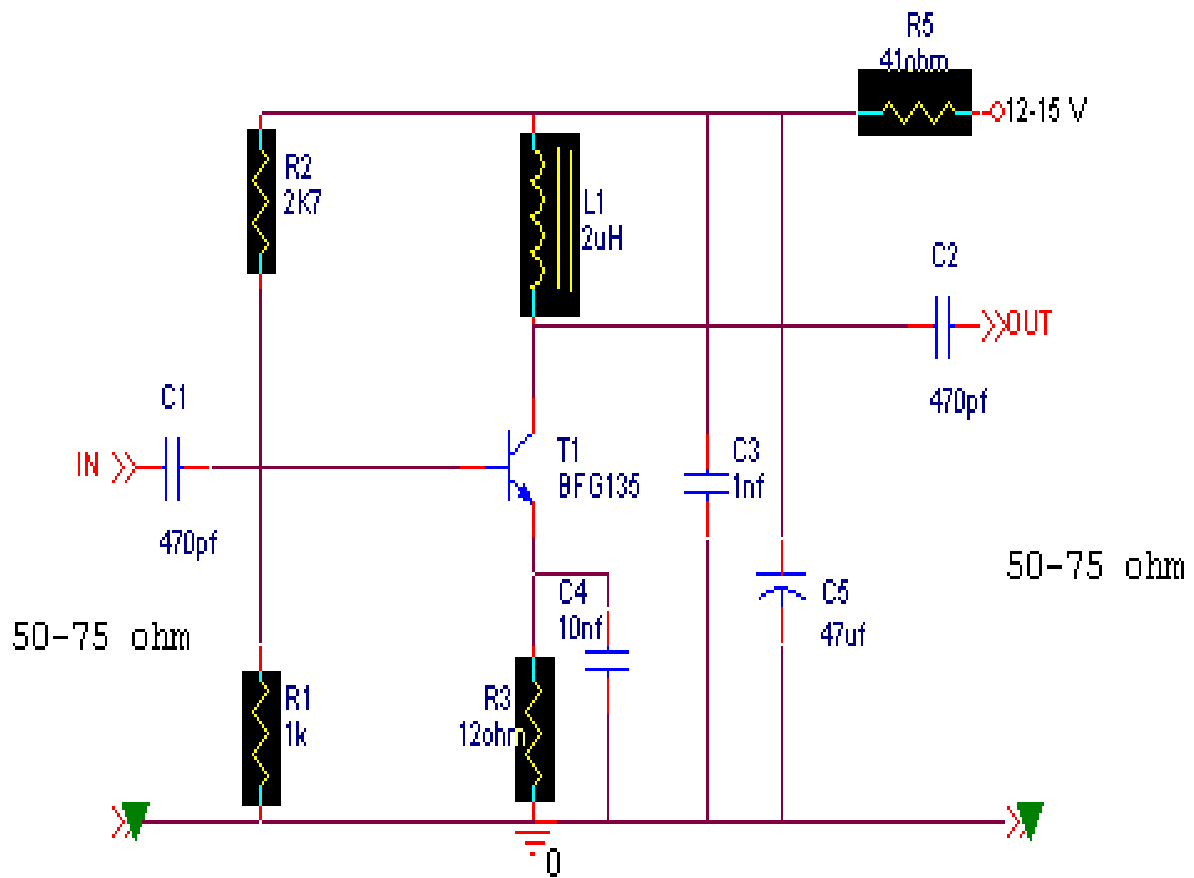


Για το συγκεκριμένο τρανζίστορ έγιναν κάποιες διαφοροποιήσεις στο παραπάνω κύκλωμα που χρησιμοποιήθηκε για τα άλλα δυο τρανζίστορ σχετικά με τα εξαρτήματα που αφορούν την πόλωση του και για τη συχνотική του απόκριση.

Πρώτα από όλα αλλάχτηκαν οι αντιστάσεις πόλωσης διότι το ρεύμα που διοχετευόταν στο τρανζίστορ μέσα από αυτές δεν επαρκούσε για την πόλωση του με αποτέλεσμα να οδηγείται στην αποκοπή.

Επίσης, τοποθετήθηκε ένα πηνίο L σαν ανάδραση στο συλλέκτη του τρανζίστορ σε μια προσπάθεια να βελτιστοποιηθεί η απόκριση του και να αποφευχθεί πιθανός συντονισμός με αποτέλεσμα την πρόκληση παραμορφώσεων του σήματος εισόδου.

Η μορφή του κυκλώματος μετά τις τροποποιήσεις απεικονίζεται παρακάτω:



Vcc=15V

Vc=9.9V

Vb=2.3V

Ve=1.5V

Icq=125mA

Vcc=12V

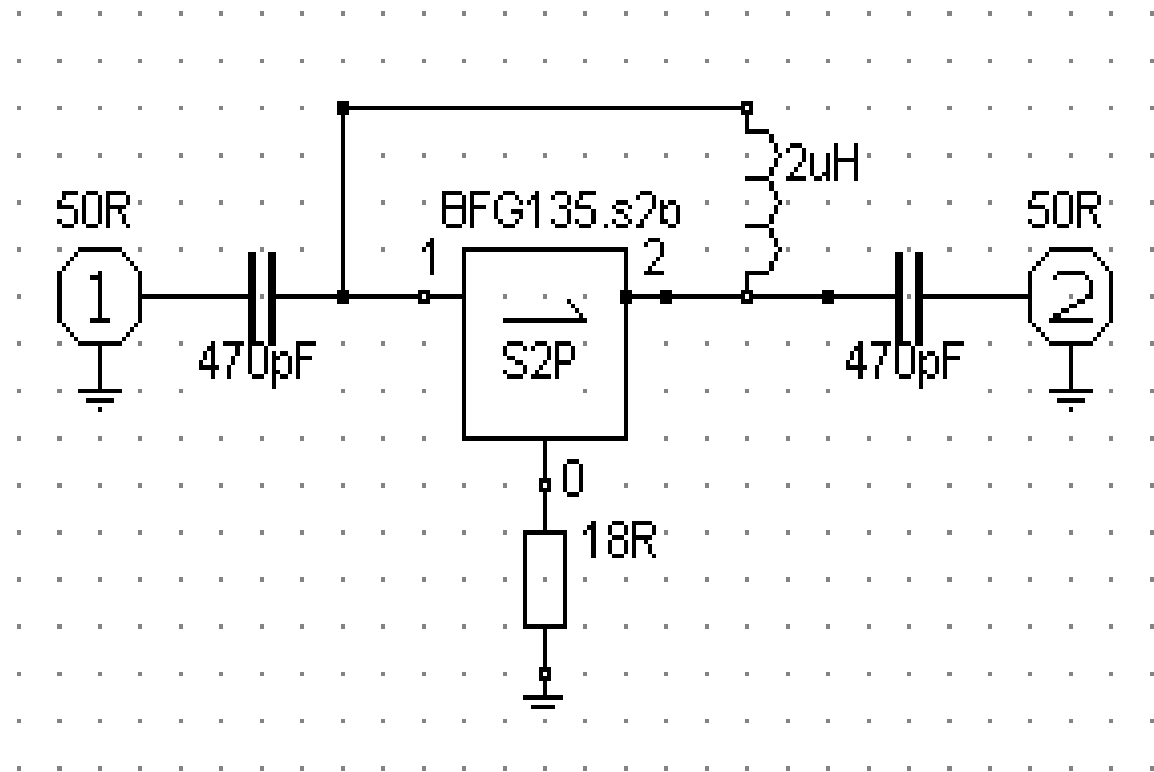
Vc=8.2V

Vb=2V

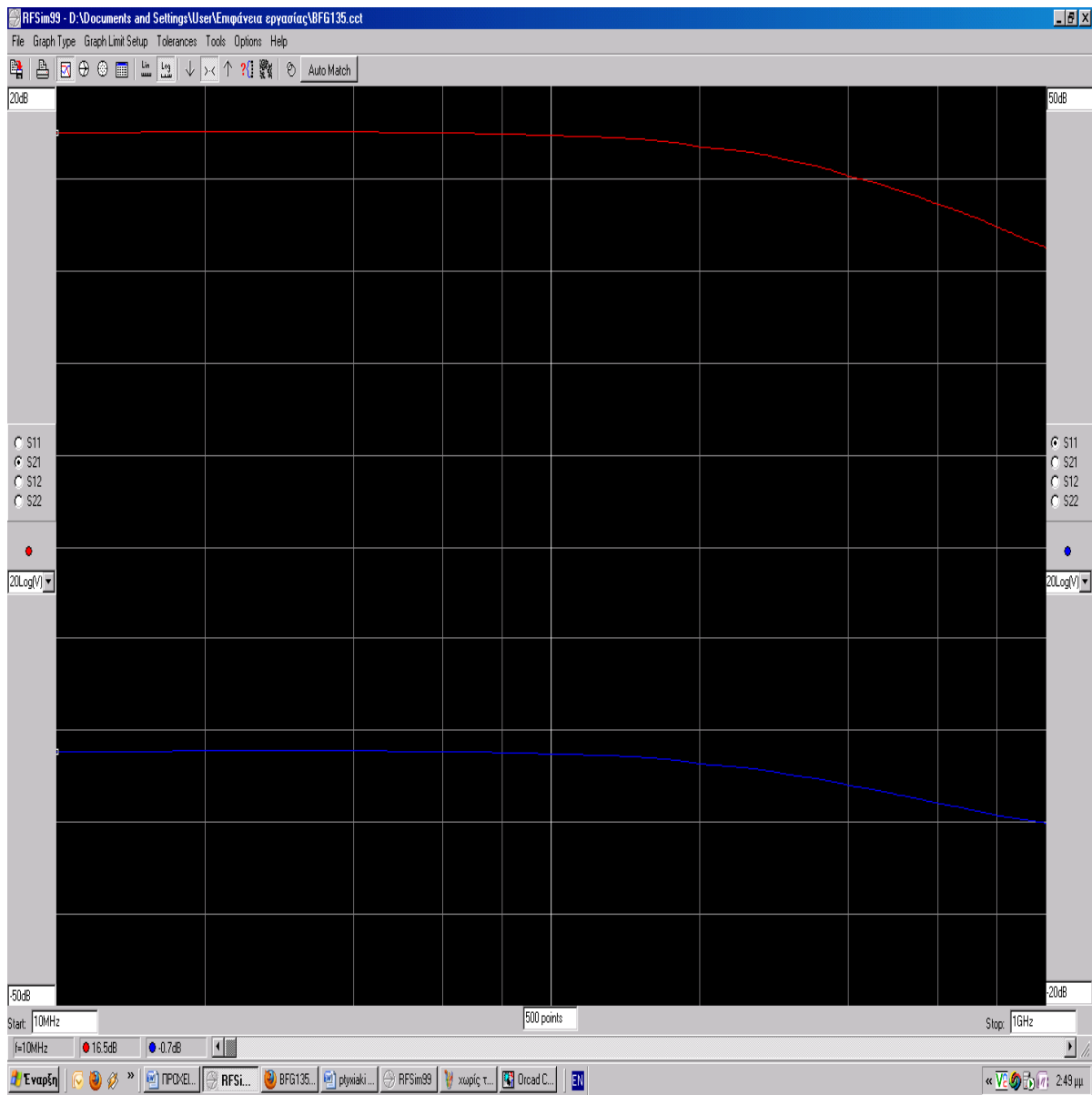
Ve=1.2V

icq=100mA

Οι αλλαγές στο κύκλωμα θα πρέπει να σχεδιαστούν και κατά την προσομοίωση εφόσον το πηνίο που προστέθηκε επηρεάζει τη συμπεριφορά του κυκλώματος σχετικά με τη συχνотική του απόκριση.

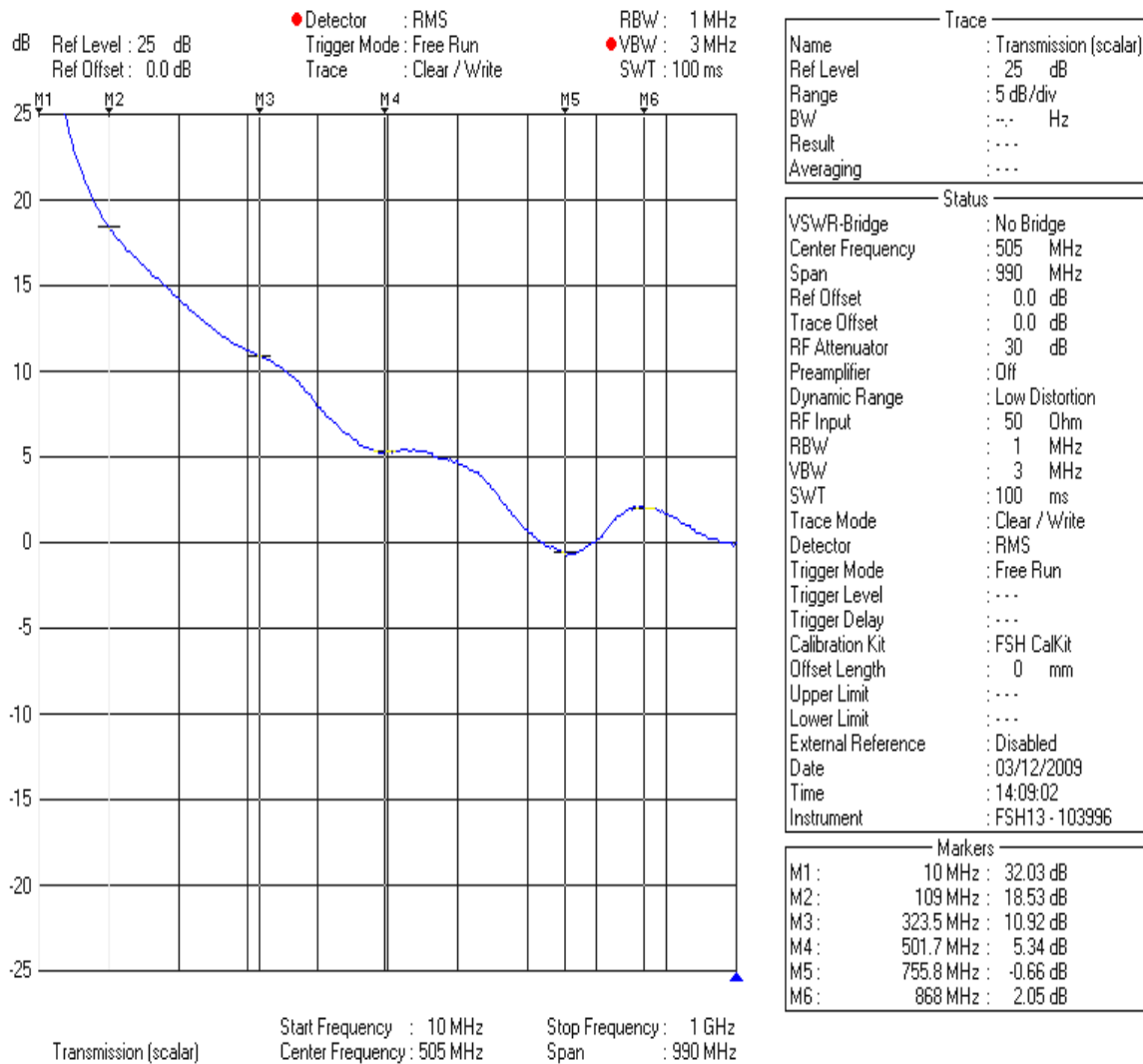


Επαναλαμβάνοντας τη διαδικασία, «φορτώνουμε» το S2P αρχείο του BFG135 και βλέπουμε τη συνολική απόκριση του κυκλώματος σε συχνότητες από 10MHz έως 1GHz.



Εδώ βλέπουμε ότι η ενίσχυση στις χαμηλές συχνότητες (10MHz) είναι πολύ καλή. Ακόμη μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι σε σχέση με το transistor BFR96S υπάρχει περισσότερη σταθερότητα στην ενίσχυση για μεγαλύτερη περιοχή συχνοτήτων.

## Μέτρηση με τον αναλυτή φάσματος



## Μέτρηση του BFG135

Όπως φαίνεται στην απεικόνιση έχουμε κάποια απόκλιση σε σχέση με τις τιμές της προσομοίωσης.

Μπορούμε να παρατηρήσουμε μια βύθιση γύρω από τα 750MHz η οποία οφείλεται στην κατασκευή της πλακέτας ή σε κάποιο συντονισμό μεταξύ των εξαρτημάτων, προβλήματα που θα προσπαθήσουμε να λύσουμε παρακάτω.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Σχεδίαση και κατασκευή κυκλώματος ενισχυτή

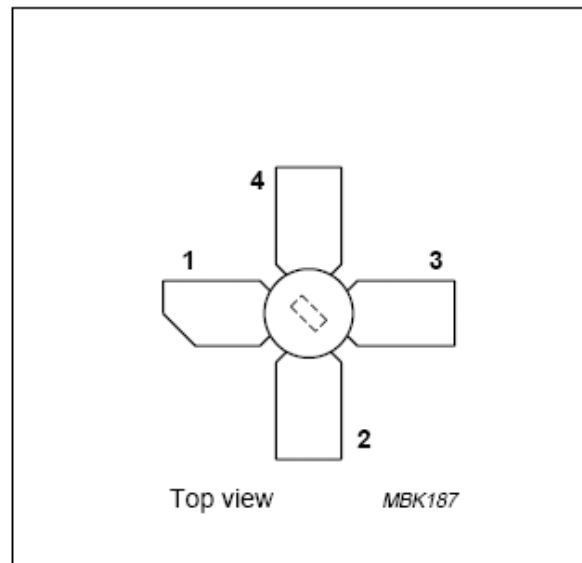
Από τα πειραματικά αποτελέσματα και τις μετρήσεις που έγιναν στα παραπάνω κυκλώματα είδαμε τη συμπεριφορά των εξαρτημάτων σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος συχνοτήτων καθώς και τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν τα υψηλ συχνά σήματα.

Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε ένα τρανζίστορ που συνδυάζει πολλά από τα πλεονεκτήματα που είδαμε στα προηγούμενα.

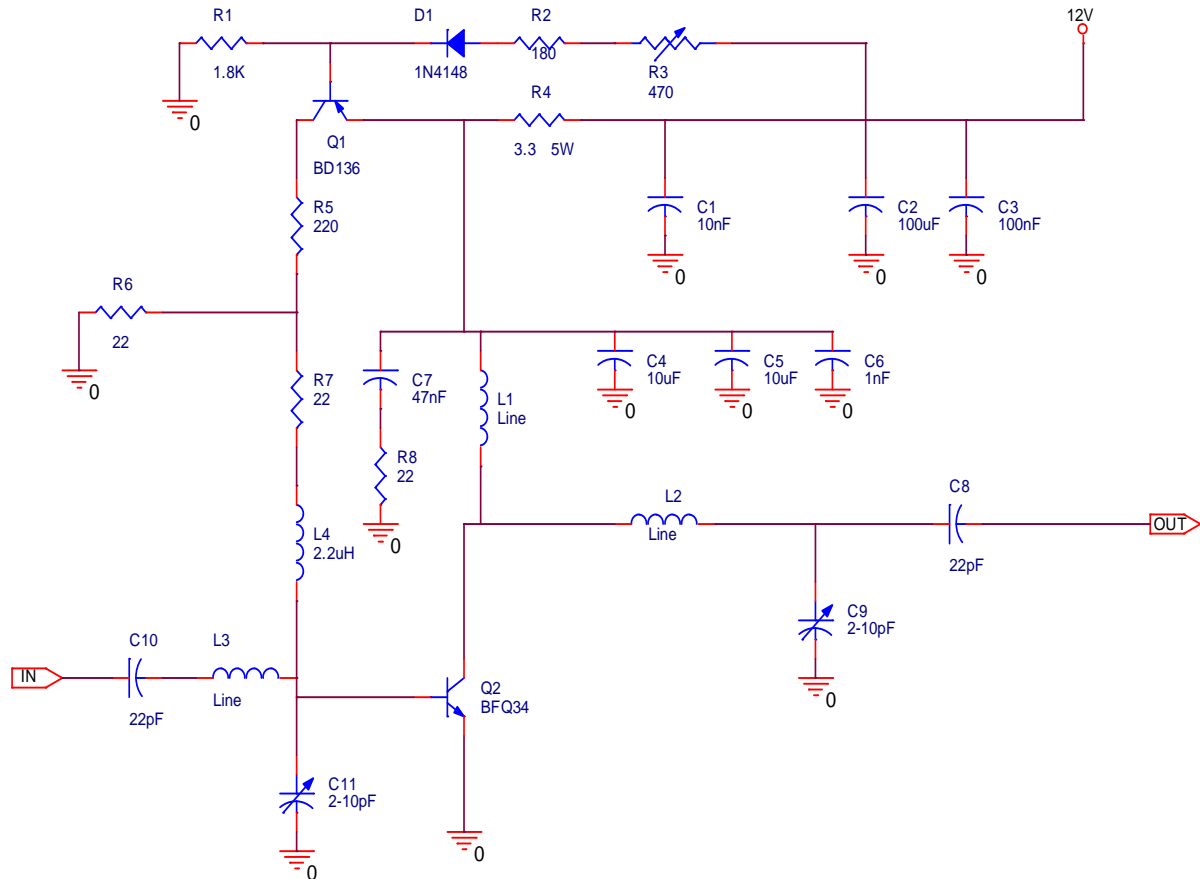
Το **BFQ34**, ένα NPN wideband τρανζίστορ με ονομαστική ισχύ 2.7 W και ρεύμα συλλέκτη 150 mA.

#### PINNING

PIN	DESCRIPTION
Code: BFQ34/01	
1	collector
2	emitter
3	base
4	emitter



## 6.1 ΣΧΗΜΑΤΙΚΟ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗ

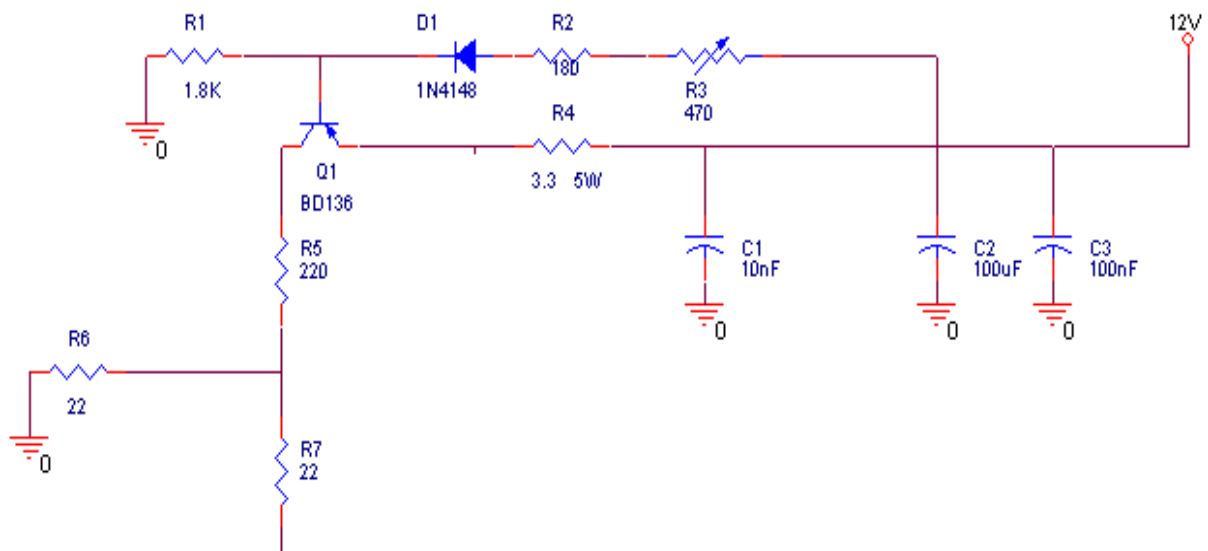


Όπως και στα προηγούμενα κυκλώματα το εργαλείο σχεδίασης είναι το Capture του Orcad Family Release 9.2.

Στο κύκλωμα της εισόδου υπάρχουν δυο μεταβλητοί πυκνωτές 4-30 pF για το συντονισμό του κυκλώματος. Η προσαρμογή του τρανζίστορ στη γραμμή εισόδου γίνεται με τη βοήθεια του μεταβλητού, των σταθερών πυκνωτών και των γραμμών μεταφοράς.

Το ίδιο κύκλωμα χρησιμοποιείται και για το κύκλωμα της εξόδου.

Το τρανζίστορ για να δουλέψει σε τάξη Α χρειάζεται ένα επιπλέον κύκλωμα πόλωσης για τη βάση του bfq34 ώστε να αποφύγουμε τις διακυμάνσεις από την τάση τροφοδοσίας. Αυτό αποτελείται από ένα επιπλέον τρανζίστορ (BD136) ένα τριμερ και κάποιες αντιστάσεις, όπως φαίνεται παρακάτω.

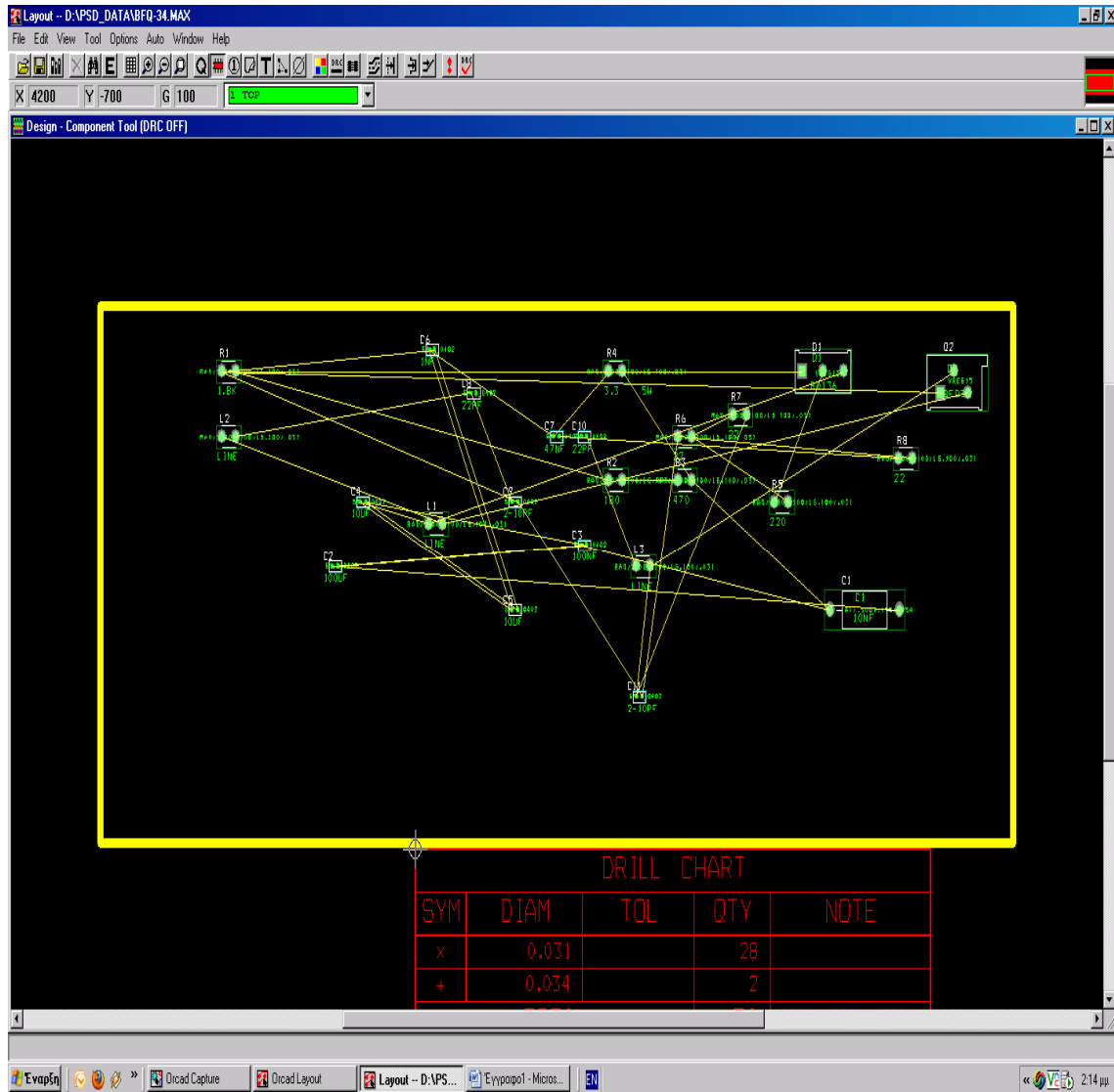


Η δίοδος είναι για προστασία των τρανζίστορ του κυκλώματος από ανάστροφη τάση. Το ρεύμα στο BD136 καθώς και στο bfq34 ρυθμίζονται από το ποτενσιόμετρο R3. Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται για τη γείωση των παρασιτικών χωρητικότητων από την τάση τροφοδοσίας. Τέλος μέσω ενός διαιρητή τάσης αποτελούμενο από τις αντιστάσεις R5, R6, R7, επιτυγχάνουμε την πόλωση του τρανζίστορ.



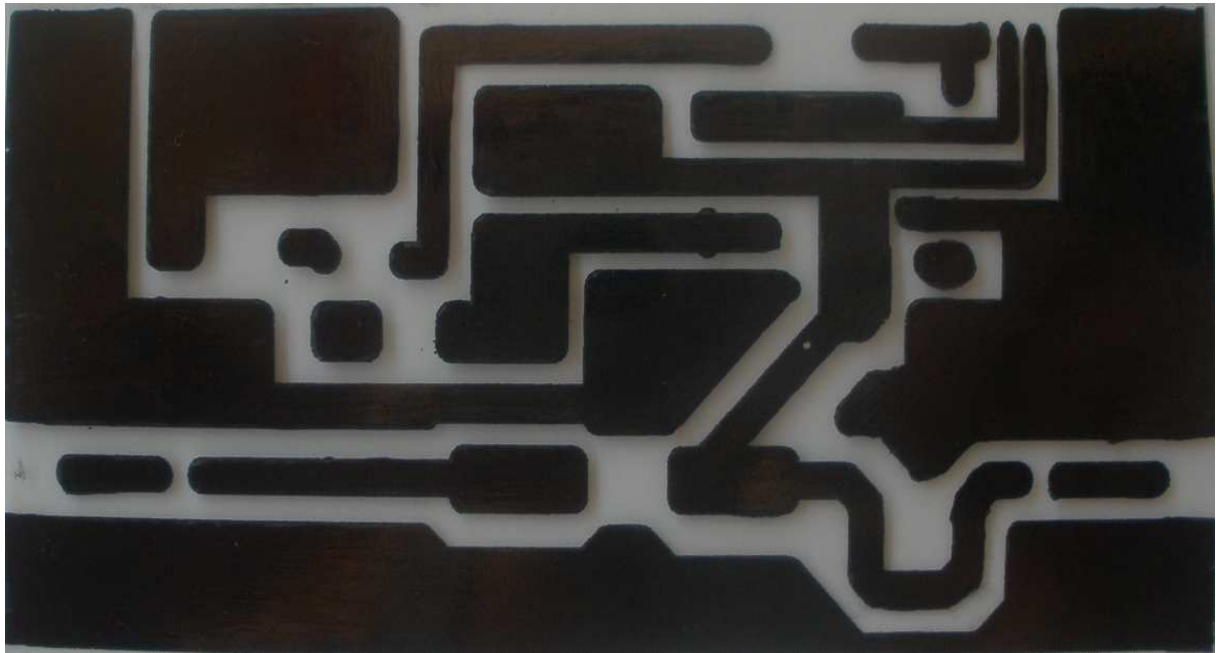
## 6.2 Σχεδίαση PCB

Στη συνέχεια αποτυπώνουμε το κύκλωμα σε μορφή PCB με το εργαλείο Layout του Orcad Family Release 9.2.



### 6.3 Εκτύπωση διαφάνειας

Αφού έχει γίνει η σχεδίαση του PCB εκτυπώνεται σε διαφάνεια με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία κυκλώματος σε πλακέτα με φωτοευαίσθητη επιφάνεια.



Το μελάνι της εκτύπωσης πρέπει να είναι ανεξίτηλο ή να ξανασχεδιαστεί με το χέρι η διαφάνεια με ανεξίτηλο μαρκαδόρο, για να μην περάσει το υπεριώδες φως από μέσα του κατά την έκθεση της πλακέτας σε αυτό ώστε να μείνει ανέπαφη η φωτοευαίσθητη επιφάνεια και ο χαλκός σε εκείνα τα σημεία.

#### 6.4 Έκθεση σε υπεριώδες φωτισμό



Η έκθεση στο υπεριώδες γίνεται με σκοπό να φωτιστούν τα σημεία εκείνα που στη συνέχεια θα αποχαλκωθούν ώστε να δημιουργηθούν οι κατάλληλοι αγωγοί και συνδέσεις

Ο χρόνος έκθεσης της πλακέτας ποικίλει ανάλογα με την ισχύ της λυχνίας και την απόσταση που έχει από τη φωτοευαίσθητη επιφάνεια.

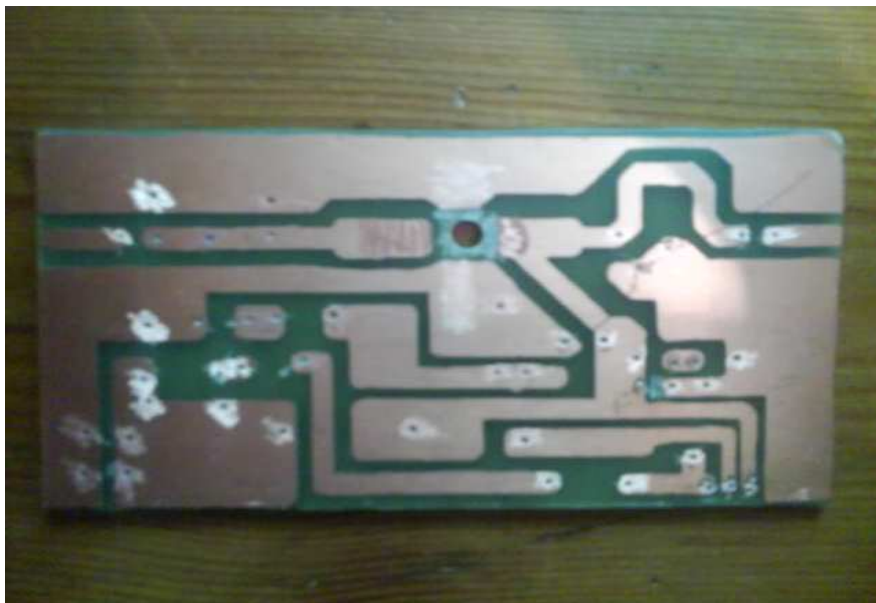
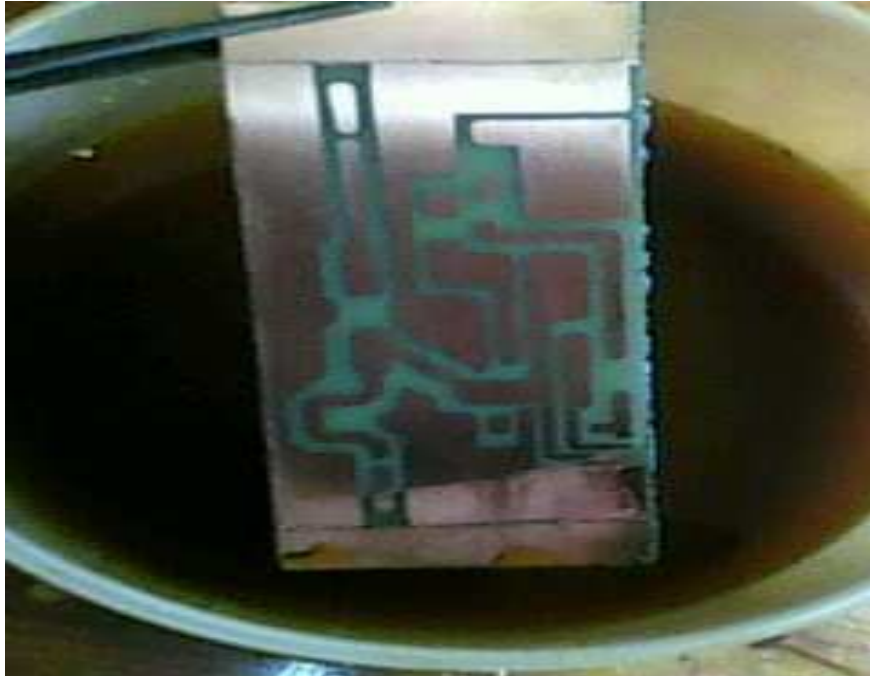
Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρειάστηκαν 4-5 λεπτά σε λυχνία 125 W.

### 6.5 Εμφάνιση και αποχάλκωση

Η εμφάνιση της πλακέτας γίνεται σε ένα ειδικό διάλυμα που περιέχει 7-10 γραμμάρια καυστική σόδα και ένα λίτρο νερό. Το διάλυμα αυτό αφαιρεί στα σημεία που φωτίστηκε την φωτοευαίσθητη επικάλυψη που έχει η πλακέτα και εμφανίζει το κύκλωμα αφήνοντας εκτεθειμένο το χαλκό.



Αφού γίνει σωστά η εμφάνιση της πλακέτας, ακολουθεί το στάδιο της αποχάλκωσης. Η αποχάλκωση γίνεται με τριχλωριούχο σίδηρο διαλυμένο σε νερό, σε ένα μείγμα με αναλογία 1 προς 2. Η πλακέτα τοποθετείται μέσα σε αυτό όταν είναι πλέον ομοιογενές και αποχάλκωνεται σε 30-40 λεπτά περίπου.



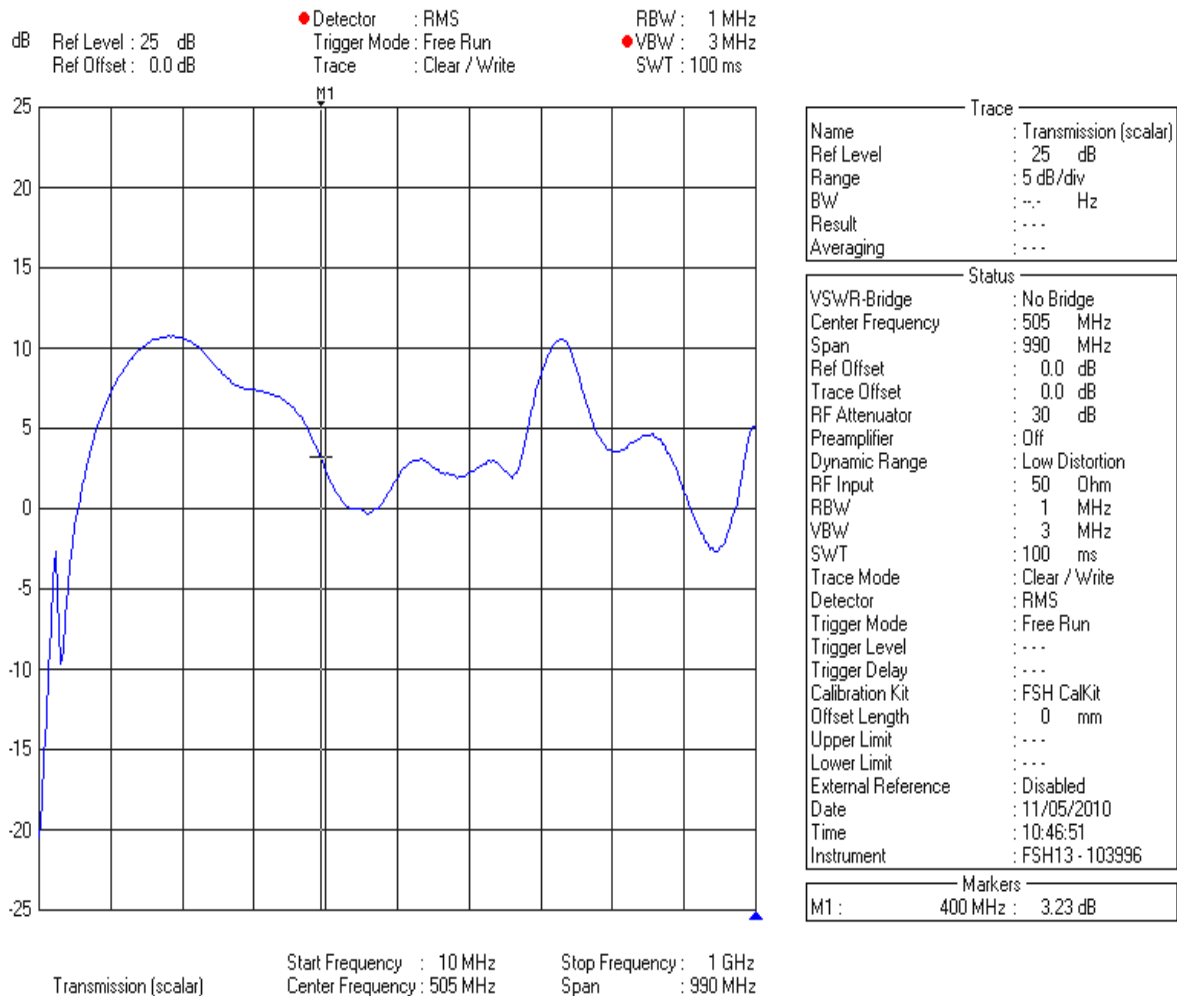
## 6.6 Τοποθέτηση υλικών

Η κολλήσεις των υλικών γίνονται επιφανειακά από την επάνω πλευρά της πλακέτας εφόσον επιλέχτηκε η χρήση πλακέτας διπλής όψης της οποίας η κάτω επιφάνεια παρέμεινε πλήρως επιχλωμένη για καλύτερη γείωση των παρασιτικών σημάτων.



Στην κάτω πλευρά της πλακέτας υπάρχει μια ψύκτρα η οποία είναι βιδωμένη πάνω στο τρανζίστορ ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απαγωγή θερμότητας από αυτό.

## 6.7 Μέτρηση της κατασκευής με τον αναλυτή φάσματος



### Μέτρηση του BFQ34

Όπως φαίνεται καθαρά από το σχήμα, υπάρχει μια βύθιση του σήματος εξόδου στις συχνότητες των 400-500 MHz καθώς επίσης και μια καθόλου ικανοποιητική απόδοση σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων.

Αυτό οφείλεται σε παράγοντες όπως η κακή ποιότητα της πλακέτας, ο συντονισμός μεταξύ κάποιων εξαρτημάτων και η ανεπαρκής γείωση των παρασιτικών χωρητικοτήτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### Βελτιστοποίηση κατασκευαστικής δομής κυκλώματος

Στο τελευταίο κύκλωμα που κατασκευάστηκε διαπιστώθηκε έντονη η ύπαρξη ατελειών που οδηγούν στη μη αποδεκτή συμπεριφορά του κυκλώματος σε σχέση με αυτή για την οποία σχεδιάστηκε.

Παρακάτω επιλέγουμε να ξανακατασκευάσουμε το κύκλωμα με κάποιες βασικές διαφοροποιήσεις ώστε να πετύχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

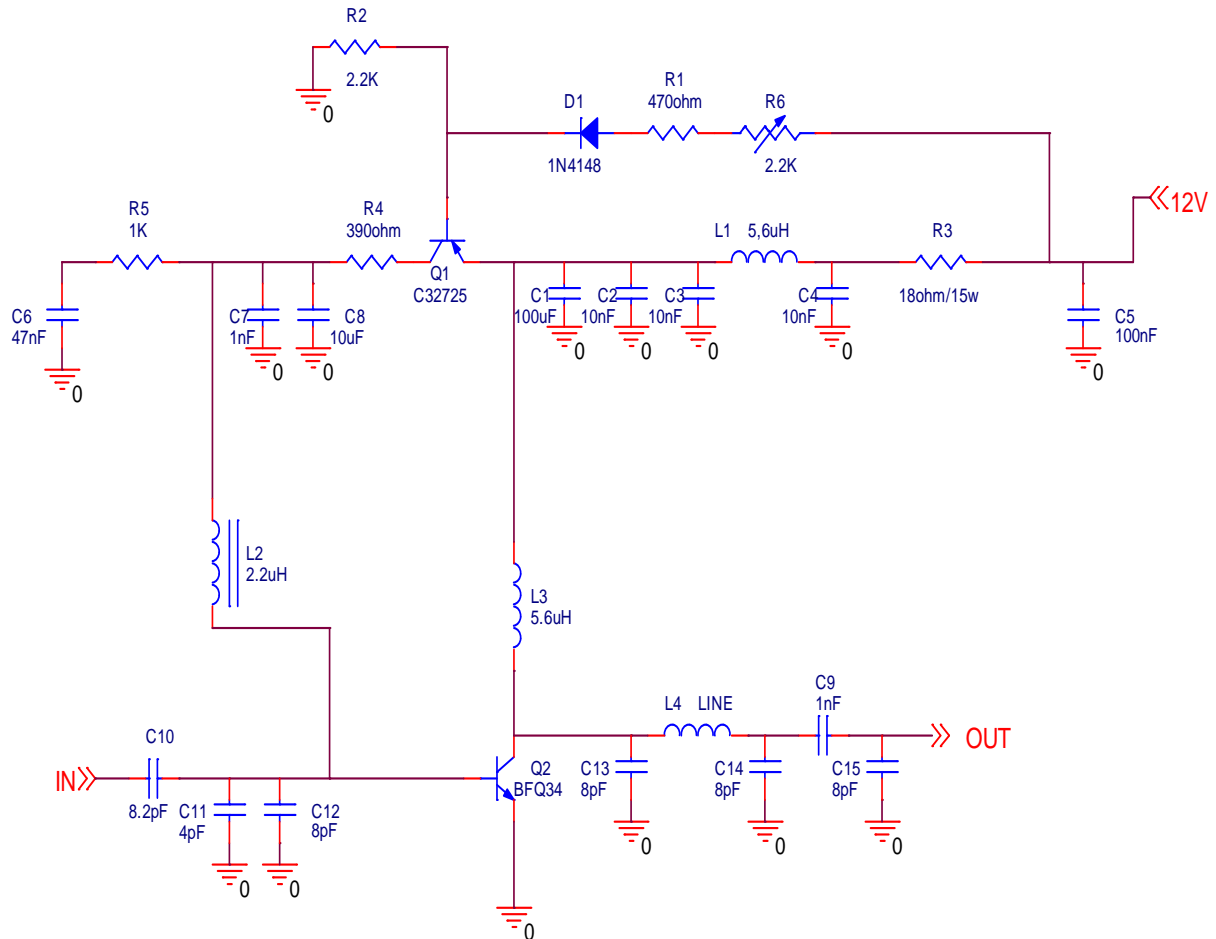
Πρώτα από όλα, γίνεται αλλαγή στον τύπο της πλακέτας. Στη μάντα των UHF, η εποξική πλακέτα έχει ικανοποιητική συμπεριφορά, δεν υπάρχει ανάγκη χρήσης πλακέτας PTFE (Teflon) όπως στις υψηλότερες συχνότητες (> 1.3, 2.4 GHz κλπ). Η εποξική πλακέτα διπλής όψης, αντίθετα με την PTFE, μπορεί να ευρεθεί εύκολα στα καταστήματα ηλεκτρονικών και σχεδιάζεται και αποχαλκώνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο που γίνεται σε μια απλή πλακέτα χαλκού. Η πλακέτα διπλής όψης που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή είναι πάχους 1/16" (1.58mm) PCB, με "ε" (διηλεκτρική σταθερά του PCB) = 5. Η κάτω επιφάνεια, όπως έχουμε πει προηγουμένως, δεν αποχαλκώνεται αλλά χρησιμοποιείται ολόκληρη η χάλκινη πλευρά σαν "RF γείωση". Η μέθοδος αυτή έχει εξαιρετική συμπεριφορά στις υψηλές συχνότητες, ειδικότερα στις συχνότητες άνω των VHF.

Επιπλέον τροποποιούμε τη δομή των υλικών και τις τιμές κάποιων εξαρτημάτων για την καλύτερη δυνατή απόδοση. Τοποθετούνται περισσότεροι πυκνωτές για τη γείωση των παρασιτικών σημάτων και κάποιοι από αυτούς επιλέγεται να είναι SMD κατασκευής ώστε να εξαλείψουμε το πρόβλημα του συντονισμού και των παρασιτικών χωρητικότητας.

Στους πυκνωτές εξόδου και εισόδου αφού έγινε μέτρηση με τους μεταβλητούς τοποθετηθήκαν σταθεροί πυκνωτές με τιμή που πειρατικά έδινε την καλύτερη δυνατή απόκριση.



## 7.1 Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος



Το εργαλείο σχεδίασης είναι το Capture του Orcad Family Release 9.2.

$$V_b=0.83V \quad V_c=11.2V \quad V_{bc}=6V \quad I_{cq}=250mA$$

Στο κύκλωμα σταθεροποίησης αντικαταστάθηκε το ποτενσιόμετρο με ένα των  $2.2K\Omega$  για μεγαλύτερο εύρος ρύθμισης του ρεύματος. Επίσης αντικαταστάθηκε και το τρανζίστορ BD136 με το C32725 για να παρέχεται περισσότερη σταθερότητα στο ρεύμα πόλωσης του ενισχυτή.

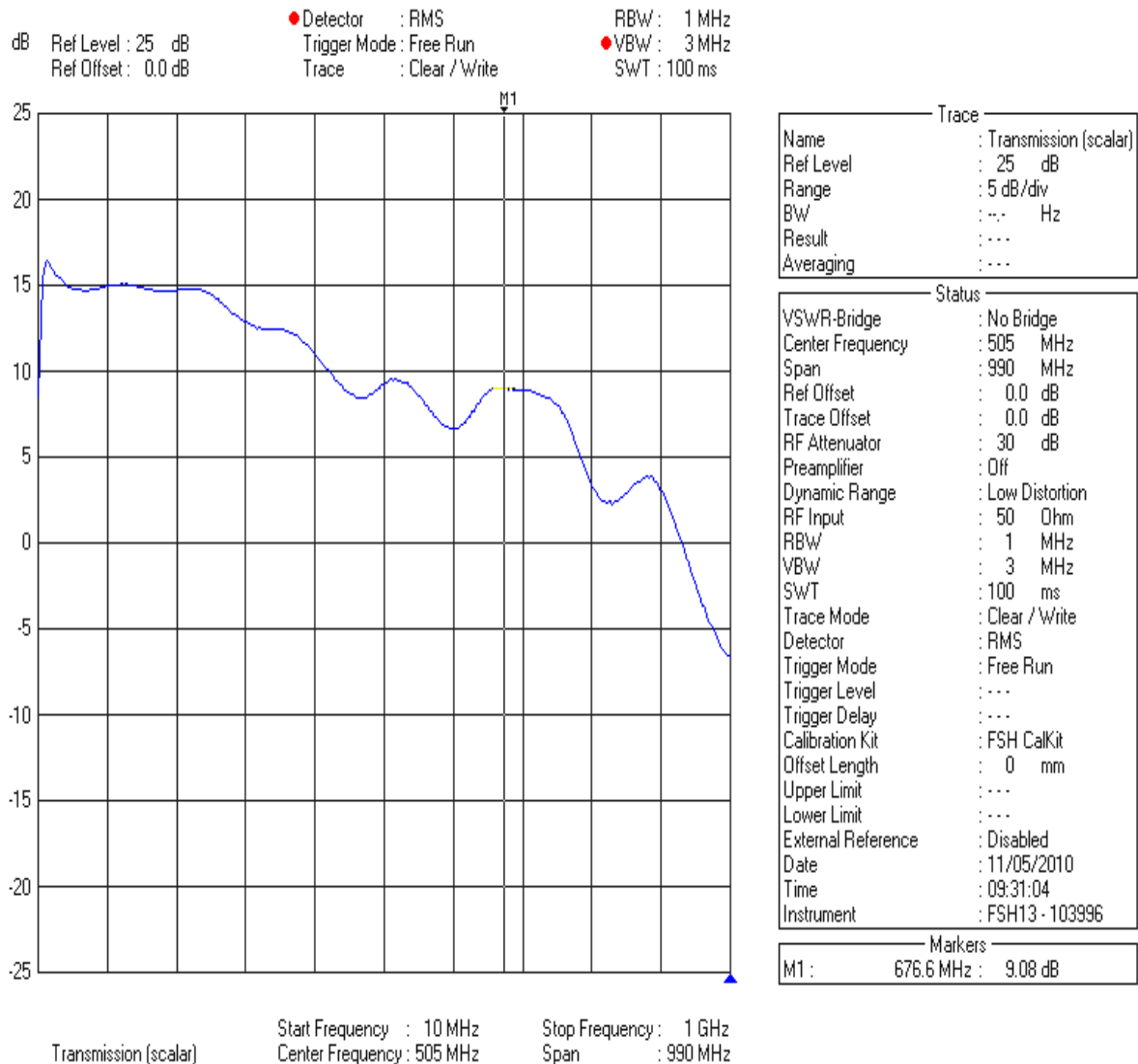
## 7.2 Τοποθέτηση των υλικών

Τα βήματα της σχεδίασης, της εμφάνισης και της αποχάλκωσης της πλακέτας είναι ακριβώς τα ίδια όπως παρουσιάστηκαν προηγουμένως.



Η κάτω πλευρά της πλακέτας (RF γείωση) είναι πάνω στη μεταλλική επιφάνεια που αποτελεί μέρος της θωράκισης της κατασκευής και όλο μαζί βιδώνεται στην ψύκτρα του τρανζίστορ.

### 7.3 Μέτρηση με τον αναλυτή φάσματος

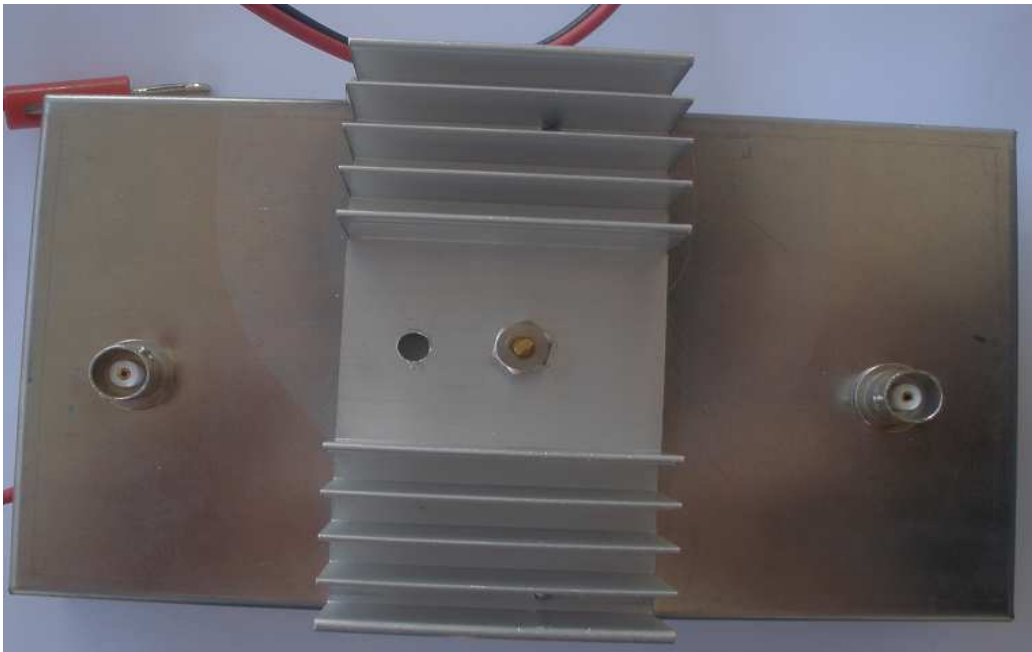


#### Μέτρηση του BFQ34

Εδώ φαίνεται η απόκριση του ενισχυτή, σαφώς πιο βελτιωμένη από την προηγούμενη κατασκευή και μπορούμε να δούμε ότι στις συχνότητες γύρω από τα 700MHz έχουμε μια ενίσχυση της τάξης των 9 db, ενώ αρχίζει να πέφτει έντονα από εκεί και περά.

#### 7.4 Μεταλλική θωράκιση πλακέτας

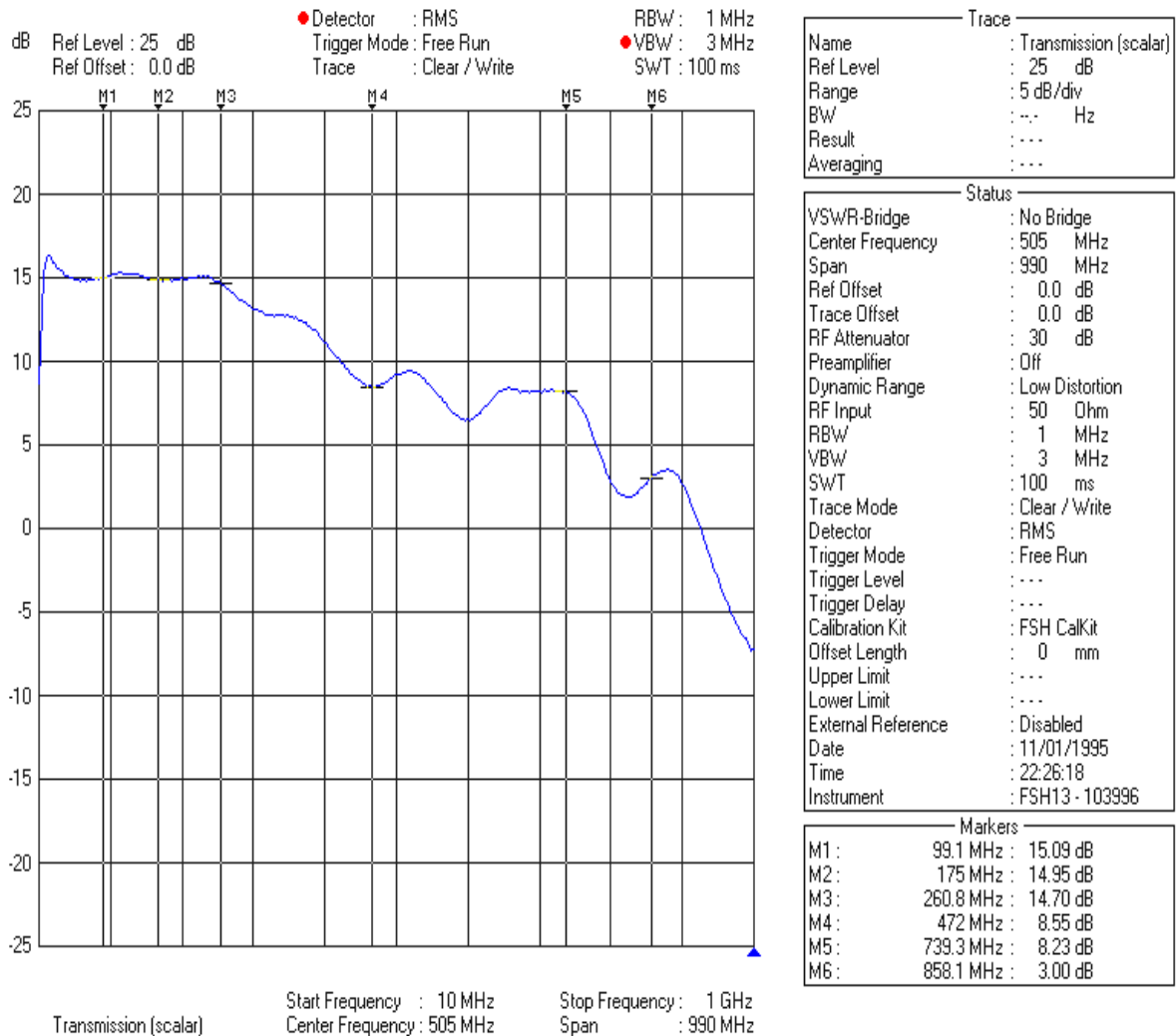
Για την καλύτερη γείωση της κατασκευής και την εξασφάλιση της μη επίδρασης εξωτερικών σημάτων στη λειτουργία του ενισχυτή, η πλακέτα τοποθετείται μέσα σε μεταλλικό κουτί το οποίο αποτελεί και την ενιαία γείωση της πλακέτας.



Επίσης μπορούμε να δούμε την κάτω πλευρά της κατασκευής, όπου φαίνονται τα δύο BNC βύσματα τα οποία χρησιμοποιούνται σαν είσοδο και έξοδο του ενισχυτή.

## 7.5 Πειραματική μέτρηση μετά τη θωράκιση

Έχοντας τοποθετήσει κάποια markers μπορούμε να δούμε την απόδοση του ενισχυτή σε συγκεκριμένες συχνοτικές περιοχές.



Μέτρηση του BFQ34

Στις συχνότητες έως και 175 MHz στις οποίες είναι τα κανάλια της μπάντας των FM (87.5MHz-108MHz) καθώς και τα κανάλια των VHF L-I (κανάλια 2,3,4, συχνότητες 47-68MHz) βλέπουμε μια ενίσχυση σχεδόν σταθερή που φτάνει τα 15 db.

Στη μπάντα των VHF H-III (κανάλια 5-12, συχνότητες 174-230MHz) βλέπουμε ότι ξεκινά με μια ενίσχυση των 14.95 db και συνεχίζει σταθερή έως τη συχνότητα των 260 MHz όπου είναι στα 14.7 db και ήδη έχει αρχίσει να μειώνεται.

Για την μπάντα των UHF VI-V (κανάλια 21-69, συχνότητες 470-862MHz) έχουμε μια ενίσχυση 8.55db η οποία διατηρείται σχεδόν σταθερή, με κάποιες μικρές διακυμάνσεις, έως τη συχνότητα των 740 MHz όπου αρχίζει να μειώνεται έντονα, καταλήγοντας να ενισχύει τα τελευταία κανάλια της μπάντας με μόλις 3 db.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι έχουμε πετύχει μια ικανοποιητική ενίσχυση σε ένα αρκετά ευρύ φάσμα συχνοτήτων ξεκινώντας από τα 47MHz και φτάνοντας έως τα 740MHz με την ενίσχυση φυσικά να μειώνεται αισθητά όσο ανεβαίνει η συχνότητα του σήματος.

Όλες οι μετρήσεις της παρούσας εργασίας έγιναν με τον αναλυτή φάσματος:

«Rohde & Schwarz FSH-3, 100KHz – 3GHz»

## Συμπεράσματα

Ολοκληρώνοντας την κατασκευή και μέτρηση ενός ενισχυτή όπως αυτός, με τέτοιο εύρος συχνοτήτων και ιδιαίτερα στη προσπάθεια να καλύψουμε μια περιοχή σαν τα UHF, διαπιστώνουμε πρώτα από όλα τη δυσκολία κατασκευής κυκλωματικών διατάξεων που να ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στις υψηλές συχνότητες.

Όπως είδαμε σε αυτές τις συχνότητες και η παραμικρή λεπτομέρεια έχει σημασία για την παραμόρφωση του σήματος. Το είδος της πλακέτας, οι κολλήσεις, το μήκος από τα ποδαράκια των εξαρτημάτων, το οποίο πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερο γιατί μπορεί δημιουργηθεί ένα ανεπιθύμητο πηνίο, οι ανοχές των υλικών, η θωράκιση που είναι μια σημαντική προϋπόθεση για την ομαλή και ανεπηρέαστη από εξωτερικούς παράγοντες λειτουργία του ενισχυτή, είναι μερικά από τα βασικά ζητήματα που έπρεπε να ληφθούν υπόψη κατά τη διαδικασία της κατασκευής.

Επιπλέον το γεγονός ότι με μια μόνο βαθμίδα ενίσχυσης έγινε μια προσπάθεια και να καλυφτεί ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων και να έχουμε μια καλή ενίσχυση του σήματος θέτει ακόμη πιο στενά περιθώρια στις επιλογές των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΣΥΓΓΡΑΜΜΑΤΑ

1. Τζιόλας Δ. Έγχρωμη τηλεόραση (Θεωρία-Βλάβες-Επισκευή), Τζιόλα 5<sup>η</sup> έκδοση (1996)
2. Χαραλ. Δ.Κανελλοπούλου, Ηλεκτρονικά κυκλώματα, Ευγενιάδου 1<sup>η</sup> έκδοση (1954)
3. Σ.Α Πακτίκη, Κυκλώματα παλμών και διακοπών
4. Balanis C. Antenna theory, second edition, Wiley and Sons, Ltd, (1997)
5. Stremmer, Introduction to communication systems, third edition
6. Rondey B. Faber, Electronic amplifier
7. Koen Mertens, Performance study of CMOS power amplifiers
8. George Clayton-Steve Winder, Operational amplifiers (2003)

## ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

1.Ψαχουλιάς Γεώργιος <<Ηλεκτρομαγνητική μοντελοποίηση στις VHF και UHF περιοχές συχνοτήτων>>. Δεκέμβριος 2007 του τμήματος 'Ηλεκτρολόγων μηχανικών και τεχνολογίας υπολογιστών'.

2.Χαψάλης Θεολόγης «Μελέτη ενισχυτών τάξης E σε συχνότητες 1-2.5 GHz»  
Νοέμβριος 2007 Αριστοτέλειο πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης πολυτεχνική σχολή.

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

<http://lookfwd.doit4me.gr/ge99149/electronics/pcb.htm>

<http://www.alldatasheet.com/>

Επίσης η Wikipedia, η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια του διαδικτύου, χρησιμοποιήθηκε ως πηγή για πληροφορίες που αφορούν στα συστήματα μετάδοσης τηλεοπτικών σημάτων και στις αρχές ενίσχυσης σημάτων.